(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 334 308**

(21) Número de solicitud: 200801046

(51) Int. Cl.:

G08G 1/017 (2006.01)

G08G 1/04 (2006.01)

G08G 1/056 (2006.01)

(12) PATENTE DE INVENCIÓN B1

(22) Fecha de presentación: **11.04.2008**

(43) Fecha de publicación de la solicitud: **08.03.2010**

Fecha de la concesión: **31.01.2011**

(45) Fecha de anuncio de la concesión: **10.02.2011**

(45) Fecha de publicación del folleto de la patente: **10.02.2011**

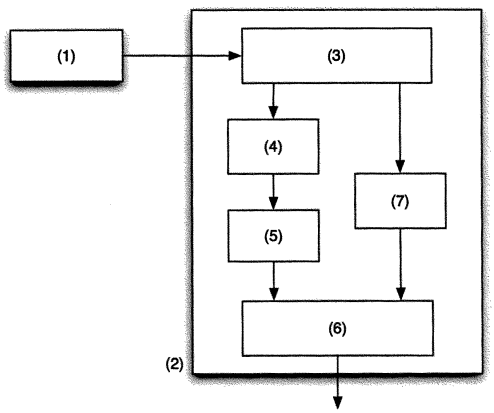
(73) Titular/es: **Universidad de Alcalá**
Plaza de San Diego, s/n
28801 Alcalá de Henares, Madrid, ES
Universidad de Vigo

(72) Inventor/es: **Alexandre Cortizo, Enrique;**
Gil Pita, Roberto;
Torres Guijarro, María Soledad;
Sobreira Seoane, Manuel;
Pena Giménez, Antonio y
Rosa Zurera, Manuel

(74) Agente: **No consta**

(54) Título: **Sistema para la detección de vehículos que circulan por una vía a partir del sonido.**

(57) Resumen:
Sistema para la detección de vehículos que circulan por una vía a partir del sonido.
El sistema objeto de la invención tiene la finalidad de analizar el sonido captado por uno o varios micrófonos y detectar el tipo de vehículo o vehículos que circulan por la vía y la velocidad a la que lo hacen. Los datos obtenidos permiten conocer el número de vehículos de cada clase que circulan por una vía. Además, se puede conocer la velocidad a la que circulan los vehículos y puede determinarse el sentido de circulación. El sistema consiste en uno o varios micrófonos para la captura del sonido (1), y una tarjeta electrónica (2) compuesta por los siguientes bloques: un conversor analógico/digital (3), un sistema dedicado a la clasificación de los sonidos compuesto por un bloque de extracción de características (4) y un algoritmo de clasificación lineal (5), un algoritmo para la estimación de la velocidad del vehículo (7) y un módulo de comunicaciones (6).



ES 2 334 308 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

Venta de fascículos: Oficina Española de Patentes y Marcas. Pº de la Castellana, 75 – 28071 Madrid

DESCRIPCIÓN

Sistema para la detección de vehículos que circulan por una vía a partir del sonido.

Sector de la técnica

La presente invención se refiere a un sistema de clasificación automática de sonidos que, mediante el uso de uno o varios micrófonos y una placa electrónica para la captura y procesado de señales, es capaz de decidir qué tipo de vehículo (ligero o pesado) circula por una o varias vías utilizando para ello algoritmos de procesado de señales sonoras. El sistema es capaz asimismo de estimar la velocidad a la que circula dicho vehículo.

El sistema captura, por medio de un conversor analógico/digital, la señal de audio procedente del micrófono. Esta señal se procesa para extraer las características necesarias por el algoritmo de clasificación, que es el encargado de decidir la clase a la que pertenece el vehículo grabado. El sistema devuelve a su salida el tipo de vehículo detectado así como la hora de paso de dicho vehículo. Por otra parte, el sistema estima, mediante las señales de los micrófonos, la velocidad a la que circula el vehículo y el sentido de circulación.

Estado de la técnica

El estándar internacional ISO 1996-2, "Acoustics: Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of environmental noise levels" establece en su punto 6.2.1 que para medir el nivel equivalente de presión sonora debido a ruido de tráfico es necesario contar el número de vehículos que pasan durante el intervalo de medida. Asimismo se establece que la medición debe realizarse teniendo en cuenta al menos dos clases de vehículos, "pesados" y "ligeros", entendiendo por pesados a todos aquellos cuyo peso exceda los 3500 Kg. Para realizar esta labor se puede contar con una persona encargada de "clasificar" a mano los vehículos mientras se realiza la medida. Otras alternativas para detectar el tipo de vehículo son el uso de cámaras de vídeo o la instalación de una báscula que determine el peso del vehículo. Aunque la norma especifica que sólo es necesario tener en cuenta, al menos, dos clases de vehículos, la presente invención contempla la posibilidad de clasificar entre un número mayor de clases. Para ello basta con entrenar el algoritmo de clasificación para adaptarse a esta nueva situación.

En la patente americana 5,619,616 se define un sistema de clasificación de vehículos que utiliza una entrada de audio pasiva a una red neuronal. La primera reivindicación se refiere a un sistema que aplica una función de lógica difusa al espectro de energía y utiliza el vector resultante como entrada a una red neuronal que es la encargada de designar la clase de dicho vector.

La presente invención utiliza parámetros relacionados con el timbre de la señal para generar un vector, que será utilizado por un clasificador lineal de cara a designar la clase de dicho vector. La principal ventaja del método propuesto radica en el reducido coste computacional, lo que permite su implementación en plataformas hardware de bajo coste. Asimismo, se utiliza un clasificador determinista al contrario que las redes neuronales. La presente invención permite la clasificación de los vehículos en un número arbitrario de clases, incluyendo clases mixtas como "paso simultáneo de turismo y vehículo pesado". Para ello tan solo es necesario entrenar el clasificador acorde con la situación prevista.

La ventaja del método propuesto consiste en que con un simple micrófono, o varios, si se quiere estimar la velocidad, se puede determinar el tipo de vehículo que circula por la vía, pudiéndose así realizar todas las estadísticas que sean necesarias. Además debe considerarse la posibilidad de que alguno de los micrófonos del sistema se utilice también para medir el nivel de presión sonora (SPL).

Explicación de la invención

El sistema desarrollado para la detección de vehículos a partir del sonido está compuesto por: un micrófono (1) que es el encargado de convertir las señales de presión sonora en señales eléctricas, un conversor analógico/digital (3) que convierte la señal analógica en un conjunto discreto de valores para representar los niveles de la presión sonora. La frecuencia de muestreo del conversor analógico digital puede variar dependiendo de la situación.

Posteriormente, por una parte, el bloque de extracción de características (4) transforma la señal digital obtenida del conversor analógico/digital en un vector de valores dependientes del tipo de vehículo que circula por la vía. Este vector es utilizado por un algoritmo de clasificación lineal (5) para tomar la decisión final del tipo de vehículo del que se trata.

Por otra parte, el bloque de estimación de la velocidad (7) mide la frecuencia fundamental de la señal de uno de los micrófonos en el instante de paso del vehículo y en un instante posterior. A partir de la diferencia de los valores de estas frecuencias se estima la velocidad a la que circula el vehículo por la vía.

Finalmente estos datos son transmitidos por el bloque de comunicaciones (6) junto con la hora a la que se ha producido el paso.

Descripción de los dibujos

La figura 1 muestra un diagrama de bloques de la invención. El sistema consiste en uno o varios micrófonos para la captura del sonido (1), y una placa electrónica (2) compuesta por los siguientes bloques: un conversor analógico/digital (3), un sistema dedicado a la clasificación de los sonidos compuesto por un bloque de extracción de características (4) y un algoritmo de clasificación lineal (5), un algoritmo para la estimación de la velocidad del vehículo (7) y un módulo de comunicaciones (6).

La figura 2 muestra un esquema en planta del montaje de la invención. En una vía con varios carriles (8) (en la figura se muestran solo dos carriles, uno en cada sentido), se instalan los micrófonos (1) y la placa electrónica (2) conectada a ellos (en la figura sólo se representan dos micrófonos). El sistema así es capaz de evaluar el tipo de vehículo y la velocidad a la que circulan para los vehículos (11) y (12).

Modo de realización

El bloque de extracción de características (4) transforma los niveles de presión acústica digitalizados en un vector de valores que serán utilizados por el clasificador para determinar la clase a la que pertenece el sonido. La señal de audio se analiza por tramas de corta duración, calculando para cada una de ellas su transformada rápida de Fourier (FFT, Fast Fourier Transform), que es como sigue:

$$H_i[k] = \sum_{n=0}^{N-1} h[n] e^{-j(2\pi/N)kn}$$

Donde

i representa el número de trama, k representa el número de muestra de la FFT y

N el tamaño, en muestras, de la trama.

A partir de la FFT, se extrae, para cada trama, el siguiente valor numérico:

$$X_i = \frac{\sum_{k=0}^{M-1} a_k |H_i[k]|^2}{\sum_{k=0}^{M-1} b_k |H_i[k]|^2}$$

donde $M = {}^{N}/_{2}$, y α_k y b_k son coeficientes que se pueden variar dependiendo de la situación.

A partir de aquí, cada un número de tramas T, se calcula la media y la desviación típica de los parámetros X_i, como sigue:

$$\mu = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{T} X_i$$

$$\sigma = \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^{T} (X_i - \mu)^2 \right)^{1/2}$$

Estos parámetros serán los que se introduzcan al clasificador (5), encargado de determinar la clase a la que pertenece el sonido. La realización preferida de este clasificador es la propuesta, consistente en un clasificador lineal de mínimos cuadrados. Este clasificador, para el caso de tener que distinguir entre tres clases, realiza su decisión en base al resultado de la siguiente operación lineal:

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_{11} & w_{21} & b_1 \\ w_{12} & w_{22} & b_2 \\ w_{13} & w_{23} & b_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \mu \\ \sigma \\ 1 \end{pmatrix}$$

El sonido se decide que pertenece a la clase *k* si el valor de y_k es el mayor de los tres valores.

A partir de un conjunto de grabaciones de sonidos previamente etiquetadas con su correspondiente clase, es posible determinar el valor de los coeficientes w_{ij} y b_i, que minimizan el error cuadrático medio. Para ello podemos representar la expresión anterior de forma más compacta como:

$$Y = V.Q$$

donde V es la matriz con los coeficientes a calcular, y Q una matriz con los valores de los parámetros μ y σ de cada grabación de sonido:

$$Q = \begin{pmatrix} \mu_1 & \mu_2 & \mu_3 & \cdots & \mu_A \\ \sigma_1 & \sigma_2 & \sigma_3 & \cdots & \sigma_A \\ 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

Si definimos una matriz T que contenga la clase a la que pertenece cada una de las grabaciones, como por ejemplo (los valores de esta matriz dependerán de las clases concretas a las que pertenezcan las grabaciones):

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \cdots & 1 \\ 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 \end{pmatrix}$$

De esta manera, el valor óptimo para la matriz V viene dado por:

$$V = T \cdot Q^T \cdot \left(Q \cdot Q^T\right)^{-1}$$

Otra posible realización del clasificador puede ser el discriminante lineal de Fisher.

Finalmente, el bloque de comunicaciones (6) se encargará de transmitir o almacenar el resultado de esta clasificación para su posterior procesado por parte de otro sistema o para la extracción de estadísticas sobre los resultados obtenidos.

Por otra parte, el bloque dedicado a la estimación de la velocidad (7), analiza las señales obtenidas el conversor analógico digital (3) y, estima la velocidad del vehículo. La realización preferida para este bloque es el uso de la información proporcionada por el efecto Doppler. Para ello, se estima la frecuencia fundamental del sonido en el instante de paso frente al micrófono, f_o. Posteriormente, se estima la frecuencia fundamental del sonido después de haber pasado frente al micrófono, obteniéndose un valor f_1. Con esto, es posible obtener la velocidad del vehículo despejando en la ecuación:

$$f_1 = f_0 \cdot \left(\frac{1}{1 + \frac{v}{c}} \right)$$

Donde *v* representa la velocidad del vehículo, y *c* la velocidad de propagación del sonido. Para estimar el instante de paso del vehículo frente al micrófono basta con localizar el máximo de la señal, mientras que para determinar la dirección de circulación del vehículo la realización preferida consiste en utilizar las señales de dos micrófonos, calculando el valor máximo de la correlación entre ambas definida como:

$$\hat{R}_{xy}[m] = \begin{cases} \sum_{n=0}^{N-m-1} x[n+m]y^*[n] & m \geq 0 \\ \hat{R}_{yx}^*[-m] & m < 0 \end{cases}$$

Dependiendo de si el máximo de la correlación se encuentra en un valor positivo o negativo de *m*, se puede deducir que el vehículo se acerca o se aleja.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de detección de vehículos a partir de su sonido, el cual comprende:

a. Uno o varios micrófonos.

b. Un conversor analógico a digital.

c. Un bloque de extracción de características.

d. Un clasificador lineal que utilice a su entrada estadísticos tomados cada cierto tiempo del vector de características.

e. Un bloque para la estimación de la velocidad de paso del vehículo.

2. Sistema de clasificación de vehículos de acuerdo con la reivindicación 1ª que comprenda varios micrófonos para mejorar la precisión de las estimas realizadas.

3. Sistema de clasificación de vehículos de acuerdo con la reivindicación 1ª que utiliza, en lugar de un micrófono, la señal obtenida a partir de un sonómetro o un analizador de acústica para posteriormente ser procesada.

4. Sistema de clasificación de vehículos de acuerdo con la reivindicación 1ª **caracterizado** porque calcula la velocidad a la que circulan los vehículos por la vía.

5. Sistema de clasificación de vehículos de acuerdo con la reivindicación 4ª **caracterizado** porque calcula el sentido de circulación de los vehículos.

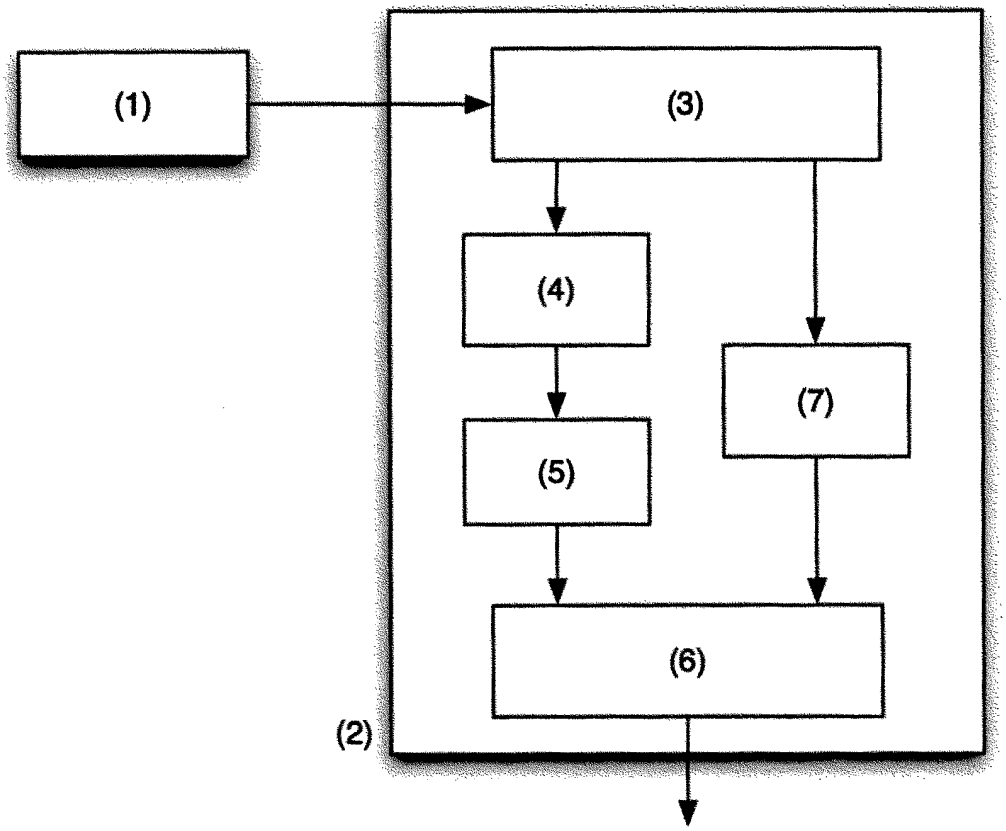


Figura 1

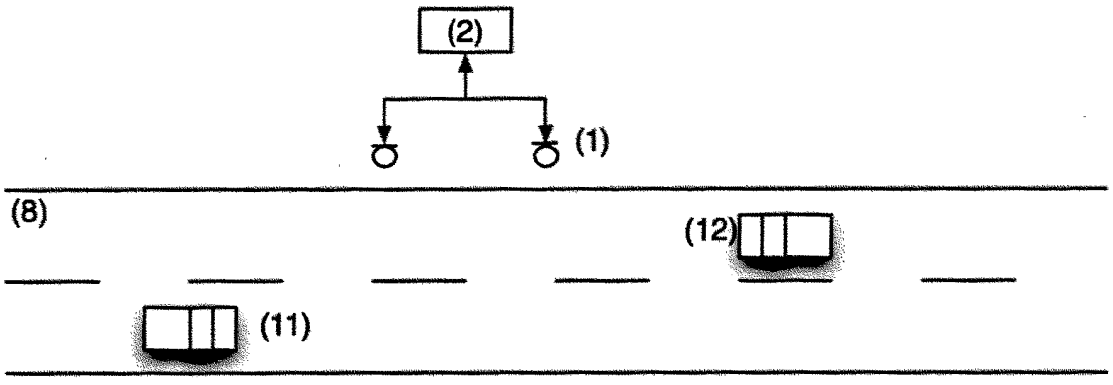


Figura 2

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) ES 2 334 308

(21) Nº de solicitud: 200801046

(22) Fecha de presentación de la solicitud: **11.04.2008**

(32) Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

(51) **Int. Cl.:** Ver hoja adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	(56) Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	US 5798983 A (KUHN et al.) 25.08.1998, columna 7, línea 18 - columna 10, línea 54; figuras.	1-4
A		5
A	JP 5325090 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES) 10.12.1993, resumen; figuras. Extraída de la base de datos PAJ en EPOQUE.	1-5
A	EP 1168274 A1 (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 02.01.2002, párrafos [0037-0069]; figuras 1-4.	1-5
A	US 4122432 A (KRUPP GMBH) 24.10.1978, todo el documento.	1-5
A	JP 5081595 A (0KI ELECTRIC IND CO LTD) 02.04.1993, resumen; figuras. Extraída de la base de datos PAJ en EPOQUE.	1-5

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría
A: refleja el estado de la técnica
O: referido a divulgación no escrita
P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud
E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones ☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe	Examinador	Página
22.02.2010	P. Pérez Fernández	1/4

CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

G08G 1/017 (2006.01)
G08G 1/04 (2006.01)
G08G 1/056 (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G08G

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

INVENES, EPODOC

OPINIÓN ESCRITA

Nº de solicitud: 200801046

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 22.02.2010

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones	1-5	**SÍ**
	Reivindicaciones		**NO**
Actividad inventiva	Reivindicaciones	5	**SÍ**
(Art. 8.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones	1-4	**NO**

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de **aplicación industrial.** Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión:

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como ha sido publicada.

1. Documentos considerados:

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 5798983 A	25-08-1998

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

Falta de Actividad Inventiva

El documento D01 anula la Actividad Inventiva de la reivindicación independiente nº 1 y la de las reivindicaciones dependientes nº 2-4 según el Art 8 de la Ley 11/86 de Patentes.

Se establece el documento D01 como el más próximo del estado de la técnica.

Reivindicación nº 1

El documento D01 hace referencia a "un sistema de sensores acústicos para la detección de vehículos y la monitorización de autopistas de múltiples carriles" y contiene:

- una matriz de sensores acústicos (micrófonos) (10) (ver columna 7, líneas 23-25).

- un conversor analógico-digital (50) (ver columna 9, líneas 1-6).

- medios de procesamiento de detección de vehículos (220) (ver columna7, líneas 44-49).

- un boque para la estimación de la velocidad (ver columna 10, líneas 38-54).

La diferencia de D01 con el documento en estudio reside en que en D01 no se menciona que exista un clasificador lineal. Esta característica resultaría obvia para un experto en la materia, por lo que, la reivindicación independiente nº 1, carece de Actividad Inventiva.

Reivindicación nº 2

La reivindicación nº2 aparece mencionada en el documento D01 (ver columna 7, líneas 23-25). Por ello, la reivindicación nº 2, en dependencia de la reivindicación nº 1, carece también de Actividad Inventiva.

Reivindicación nº 3

La característica de la reivindicación nº 3 es simplemente una de las varias posibilidades evidentes que un experto en la materia seleccionaría según las circunstancias, sin el ejercicio de Actividad Inventiva, para resolver el problema planteado. Por consiguiente, la reivindicación nº 3, en dependencia de la reivindicación nº 1, carece de Actividad Inventiva.

Reivindicación nº 4

La reivindicación nº 4 aparece mencionada en el documento D01 (ver columna 10, líneas 38-54). Por lo tanto, la reivindicación nº4, en dependencia de la reivindicación nº 1, carece de Actividad Inventiva.