

UTILIZACIÓN DE PARÁMETROS PSICOACÚSTICOS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFORT EN DIFERENTES ACTIVIDADES Y SITUACIONES

PACS: 43.55.Cs, 43.55.Gx

Segura, Jaume¹; Cerdá, Salvador²; Planells, Ana²; Catalá, Pablo²; Romero, J.²; Cibrián, Rosa³; Barba, Arturo²; Giménez A.²

¹ETSE – Universitat de València, Avda Universitat, s/n

²E.T.S.I. Industriales, Univ. Politécnica de València, Camí de Vera s/n

³Facultat de Medicina – Universitat de València

{jsegura@uv.es, salcerjo@mat.upv.es, agimenez@fis.upv.es, radmonse@upvnet.upv.es, romerof@fis.upv.es, rosa.m.cibrian@uv.es, arbarse@doctor.upv.es }

RESUMEN

La apreciación y descripción subjetiva de diferentes entornos acústicos es un factor vital en el desarrollo de actividades en un entorno dado que implique la percepción de cierto agrado o molestia. Tradicionalmente, se han vinculado los parámetros psicoacústicos a la evaluación de esta percepción sonora, la cual está a su vez vinculada al confort acústico. En este trabajo, se han evaluado diferentes parámetros de calidad sonora en relación a diferentes actividades y entornos, basados en modelos psicoacústicos considerados en diferentes entornos (p.e. en eventos lúdico festivos y zonas públicas, en locales de restauración, en ejecuciones musicales, etc). Un análisis de escalamiento dimensional nos ha permitido establecer 4 tipologías que se deberían considerar como tipologías de referencia a la hora de establecer un índice de confort acústico.

Palabras clave: Calidad sonora, campo sonoro, acústica ambiental y arquitectónica.

ABSTRACT

Perception and subjective description of acoustic environment is very important when developing an activity in a given environment involving the perception of a certain pleasantness or annoyance. Psychoacoustic parameters have traditionally been linked to the assessment of that sound perception, linked in turn to the acoustic comfort. In this work, different parameters of sound quality are assessed in relation to different activities and environments, based on psychoacoustic models considered in multiple environments (e.g. in recreational and public areas, in dining premises, in musical performance, etc). Multidimensional scaling produces 4 typologies that must be considered as a reference in order to determine a sound quality index.

Keywords: sound quality, sound field, environmental and architectural acoustics.

1 Introducción

El objetivo de este trabajo es encontrar una serie de parámetros que permitan la clasificación de los sonidos. Para ellos hemos optado por un análisis espectral de una larga serie de sonidos que hemos utilizado en estudios sobre psicoacústica [1,2]. Se grabaron 60 sonidos con un DAT TASCAM a 44.1k Hz de frecuencia de muestreo. De cada uno de ellos se obtuvieron los parámetros psicoacústicos relativos a su intensidad, aspereza, tonalidad, fuerza de la fluctuación y agudeza de acuerdo con Zwicker [3] (Zwicker y Fastl 1999) analizados con el sistema Sound Quality de Brüel & Kjaer. El análisis espectral, en tercio de octavas, ha sido realizado con el programa Artemis.

A partir del análisis espectral se ha realizado un análisis de multiescalado cuyo resultado se presenta en la sección 5. La interpretación de las dimensiones obtenidas se ha realizado buscando correlaciones con los parámetros psicoacústicos obtenidos para los sonidos estudiados.

2 Análisis espectral

Análisis se refiere a la acción de descomponer algo complejo en partes simples o identificar en ese algo complejo las partes más simples que lo forman. Como se sabe, hay una base o fundamento físico para modelar la luz, el sonido o las ondas de radio en superposición de diferentes frecuencias. Un proceso que cuantifique las diversas intensidades de cada frecuencia se llama análisis espectral. Matemáticamente el análisis espectral está relacionado con una herramienta llamada transformada de Fourier o análisis de Fourier. Ese análisis puede llevarse a cabo para pequeños intervalos de tiempo, o menos frecuentemente para intervalos largos, o incluso puede realizarse el análisis espectral de una función determinista. Además la transformada de Fourier de una función no sólo permite hacer una descomposición espectral de los formantes de una onda o señal oscilatoria, sino que con el espectro generado por el análisis de Fourier incluso se puede reconstruir (sintetizar) la función original mediante la transformada inversa. Para poder hacer eso, la transformada no solamente contiene información sobre la intensidad de determinada frecuencia, sino también sobre su fase. Esta información se puede representar como un vector bidimensional o como un número complejo. En las representaciones gráficas, frecuentemente sólo se representa el módulo al cuadrado de ese número, y el gráfico resultante se conoce como espectro de potencia o densidad espectral de potencia.

Es importante recordar que la transformada de Fourier de una onda aleatoria, mejor dicho estocástica, es también aleatoria. Un ejemplo de este tipo de onda es el ruido ambiental. Por tanto para representar una onda de ese tipo se requiere cierto tipo de promediado para representar adecuadamente la distribución frecuencial. Para señales estocásticas digitalizadas de ese tipo se emplea con frecuencia la transformada de Fourier discreta. Cuando el resultado de ese análisis espectral es una línea plana la señal que generó el espectro se denomina ruido blanco.

3 Escalamiento multidimensional (MDS)

El escalamiento multidimensional, más conocido como MultiDimensional Scaling (MDS) [4], tiene sus orígenes a principios de siglo XX en el campo de la Psicología. Surge cuando se pretendía estudiar la relación que existía entre la intensidad física de ciertos estímulos con su intensidad subjetiva. El MDS es una técnica de representación espacial que trata de visualizar sobre un mapa un conjunto de estímulos (firmas, productos, candidatos políticos, ideas u otros artículos) cuya posición relativa se desea analizar. El propósito del MDS es transformar los juicios de similitud o preferencia llevados a cabo por una serie de individuos sobre un conjunto de objetos o estímulos en distancias susceptibles de ser representadas en un espacio multidimensional. El MDS está basado en la comparación de objetos o de estímulos, de forma que si un individuo juzga a los objetos A y B como los más similares entonces las técnicas de MDS colocarán a los objetos A y B en el gráfico de forma que la distancia entre ellos sea más pequeña que la distancia entre cualquier otro par de objetos.

En la actualidad, el MDS puede ser apto para gran cantidad de tipos diferentes de datos de entrada (tablas de contingencia, matrices de proximidad, datos de perfil, correlaciones, etc.). El MDS puede ayudar a determinar:

- qué dimensiones utilizan los encuestados a la hora de evaluar a los objetos.
- cuántas dimensiones utilizan.
- la importancia relativa de cada dimensión.
- cómo se relacionan perceptualmente los objetos.

Existen otras técnicas multivariantes, como son el análisis factorial y el análisis cluster, que persiguen objetivos muy similares al MDS pero que difieren en una serie de aspectos. Sin embargo, la utilización de alguna de estas técnicas no supone que no se pueda utilizar el escalamiento multidimensional, sino que esta última técnica puede servir como alternativa o bien como complemento a las otras técnicas multivariantes. En definitiva, el MDS es una técnica multivariante que crea un gráfico aproximado a partir de las similitudes o preferencias de un conjunto de objetos [5].

4 Metodología

Se grabaron 60 sonidos naturales con un DAT TASCAM a 44.1k Hz de frecuencia de muestreo. Los sonidos fueron analizados con el software Sound Quality de Brüel & Kjaer para determinar los descriptores psicoacústicos: intensidad (loudness), agudeza (sharpness), aspereza (roughness), fuerza de fluctuación (fluctuation strength) y tonalidad (tone to noise ratio y prominent ratio). Los sonidos fueron igualados en nivel equivalente. Al igualarlos en nivel equivalente los parámetros relativos a la intensidad diferían poco entre sí (specific loudness media = 11 son; desviación típica = 2,5), en cualquier caso lejos de los 20 sonos que pueden ser considerados como molestos. Los demás parámetros psicoacústicos, independientes en mayor o menor medida de la intensidad, variaban de valores mínimos a elevados. Los sonidos grabados corresponden a objetos y fuentes sonoras naturales de la experiencia cotidiana (motores, electrodomésticos, transportes, ruido blanco y rosa, instrumentos musicales).

A partir de estos registros del sonido ambiental y mediante la determinación de una serie de parámetros psicoacústicos (loudness, roughness, sharpness, tonalidad y fluctuation strength) podemos establecer un criterio comparativo de calidad del ambiente de un local a partir del cálculo del modelo de molestia/placer en cada uno de ellos. El cálculo de estos parámetros se ha realizado mediante el software de Head Acoustics, ARTEMIS. Éste es un software para grabación, análisis y reproducción, desarrollado para llevar a cabo tareas en el campo de la acústica y las vibraciones de forma rápida y eficiente.

4.1 Loudness y loudness específico

El loudness es el valor de sensación de la percepción humana al volumen de sonido. Mediante este parámetro se puede entender la sensación humana de volumen sonoro en escala lineal. La unidad del loudness es el "sonio" (derivado del latín "sonare"). Esta unidad se establece por definición como un tono sinusoidal de frecuencia 1 kHz con un nivel de 40 dB. La escala del loudness se caracteriza por el hecho que un tono que se percibe con el doble de loudness sobre la escala de loudness viene denotado como el valor doble de sonios. El loudness de tonos simples y sonidos complejos se determina en tests auditivos mediante comparación del loudness con el tono sinusoidal a 1 kHz. La determinación del loudness de señales estacionarias ha sido especificada en la norma ISO 532 B. [3]

4.2 Roughness

El parámetro de roughness se utiliza en evaluación subjetiva de impresiones sonoras y para diseño de sonidos. Con un roughness mayor, las emisiones de ruido se perciben como más perceptibles y normalmente como más agresivas y molestas, incluso si, por ejemplo, el loudness o el nivel de presión sonora con filtro A permanecen invariables. Su unidad básica es el 'asper'

La impresión de aspereza (roughness) se produce siempre que existe un involucramiento variable temporalmente en una banda crítica, por ejemplo, cuando los tonos muestran una estructura temporal debida a una variación de su amplitud o frecuencia. Si estas variaciones se producen muy lentamente (por debajo de 10 Hz), el oído humano es capaz de captar los cambios que producen en una impresión de pulsación o beat. Aumentando la frecuencia de la variación, se pueden percibir otras impresiones sonoras, como el "R-roughness" (alrededor de 20 Hz), la cual cambia la impresión de roughness real, donde el oído no es capaz de localizar los cambios temporales particulares. Los sonidos con variaciones de involucramiento entre 20 y 300 se perciben como asperos. Por encima de estas frecuencias, la línea espectral principal y las bandas laterales de tonos puros de amplitud modulada resulta audible como tonos individuales. El roughness depende de la frecuencia central, la frecuencia de modulación y la profundidad de modulación. El nivel de señal sólo tiene una influencia menor sobre la impresión de roughness.

Aumentando la profundidad de modulación, la impresión de roughness es más fuerte. La dependencia con la frecuencia de modulación tiene una característica pasabanda, i.e. la impresión de roughness decrece fuertemente hacia frecuencias muy altas o muy bajas. Esta impresión maximiza en una frecuencia de modulación cerca de 70Hz. [3]

4.3 Sharpness

El sharpness es un valor de sensación que es causada por componentes de alta frecuencia en un ruido dado. La unidad de sharpness es "acum" (del latín acum = agudo). El sharpness perfila la sensación humana también de manera lineal. El valor de 1 acum se atribuye a un ruido de banda estrecha a 1 kHz con un ancho de banda menor que 150 Hz y un nivel de 60 dB. El sharpness es un parámetro psicoacústico muy importante debido a su influencia en el desagrado de sonidos. [3]

4.4 Tonalidad y Fluctuation Strength

La tonalidad de un sonido indica si el sonido contiene componentes tonales o ruido de banda ancha. La contribución de tonos a la tonalidad depende de su frecuencia. A unos 700 Hz, se alcanza la impresión de máxima tonalidad. El ruido de banda estrecha con un ancho de banda menor que 1 Bark, también se percibe como tonal, aunque en un grado decreciente con ancho de banda creciente. La unidad de tonalidad, tu (tonality unit), se define para un tono sinusoidal de 1 kHz con un nivel de 60 dB. [3]

La impresión llamada fluctuation strength (fuerza fluctuante) viene dada por las variaciones de señal con frecuencias de modulación muy bajas. El máximo de esta cantidad psicoacústica está a frecuencias de modulación alrededor de 4 Hz. La unidad, 'vacil' viene definida por el mismo tono sinusoidal que en el caso del roughness, excepto porque la frecuencia de modulación es 4 Hz en vez de 70 Hz. [3]

4.5 Prominence ratio

La relación de prominencia es una técnica diseñada para ver si hay tonos auditivamente prominentes en una señal. En primer lugar, la relación de prominencia es de aplicación en el que tenemos una fuente de ruido con unos tonos y necesitamos una medida objetiva para evaluar si los tonos son "prominentes". Es decir, para evaluar si los tonos son susceptibles de ser oídos.

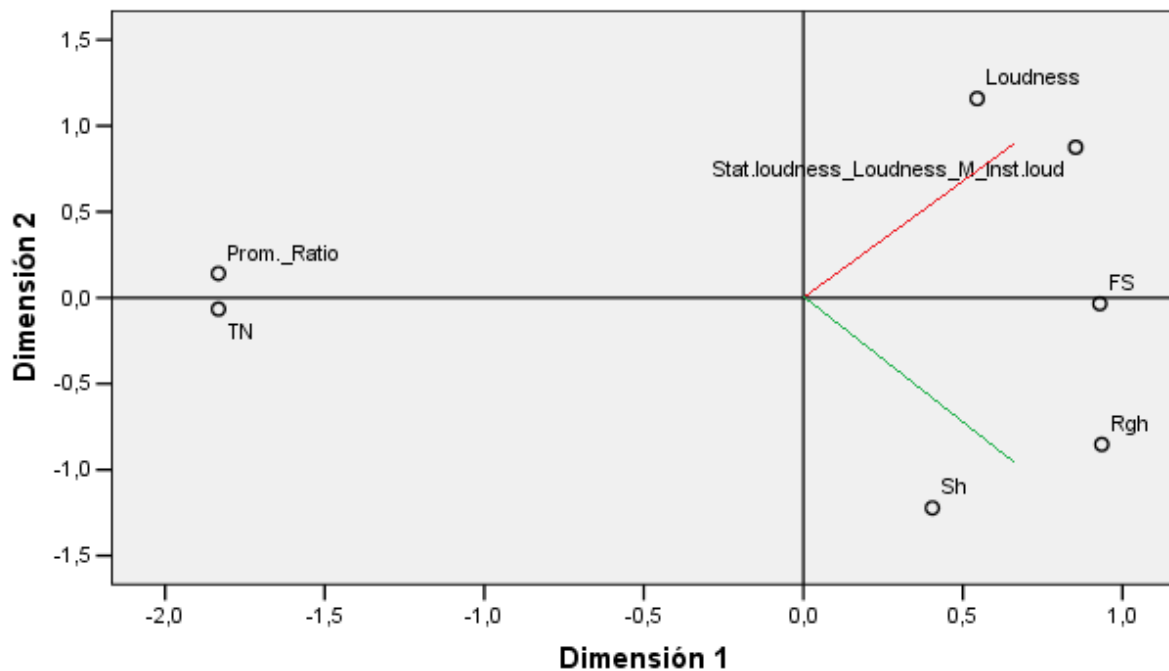
5 Resultados y discusión

Una vez hecho el análisis de los parámetros psicoacústicos correspondientes, se ha aplicado el análisis MDS que nos ha permitido obtener dos dimensiones en las que los parámetros psicoacústicos tienen las siguientes coordenadas:

Stimulus Coordinates			
Dimension			
Stimulus	Stimulus	1	2
Number	Name		
1	Stat.lou	0,8533	0,8751
2	Loudness	0,5446	1,1583
3	Sh	0,4043	-1,2222
4	Rgh	0,9351	-0,8528
5	FS	0,9289	-0,0343
6	TN	-1,8332	-0,0655
7	Prom._Ra	-1,8330	0,1414

Configuración de estímulos derivada

Modelo de distancia euclídea



Se aprecia que la Dimensión 1 viene caracterizada por los parámetros psicoacústicos Fluctuation Strength (+) y Prominence_Ratio y Tonality (-). Este hecho permite identificar esta Dimensión con estos parámetros psicoacústicos. Sin embargo la Dimensión 2 es una dimensión que no corresponde directamente con ningún parámetro psicoacústico. El MDS nos proporciona los cuatro cuadrantes que se observan en la Figura, de tal manera que el primer cuadrante estaría dominado por el Loudness. Y el cuarto cuadrante por el Sharpness y Roughness. Esto nos permite establecer cuatro tipologías a la hora de tener en cuenta el análisis psicoacústico de los sonidos.

1. Sonidos con Loudness elevado y alta Fluctuación.
2. Sonidos con Loudness elevado y alta Tonalidad.
3. Sonidos con espectro limitado (S, alta frecuencia, R, bajas frecuencias) y alta fluctuación.
4. Sonidos con espectro limitado (S, alta frecuencia, R, bajas frecuencias) y alta tonalidad.

6 Conclusiones

En esta investigación hemos presentamos un método reduccionista de variables que mejora la clasificación de los sonidos. A partir del análisis en tercio de octava de una colección variada de sonidos que hemos utilizado en diversos estudios, hemos realizado un análisis de multidimensionado

escalar. Dicho análisis ha proporcionado dos dimensiones que a su vez nos han permitido establecer la siguiente clasificación a la hora de tener en cuenta el análisis psicoacústico de los sonidos.

1. Sonidos con Loudness elevado y alta Fluctuación.
2. Sonidos con Loudness elevado y alta Tonalidad.
3. Sonidos con espectro limitado (S, alta frecuencia, R, bajas frecuencias) y alta fluctuación.
4. Sonidos con espectro limitado (S, alta frecuencia, R, bajas frecuencias) y alta tonalidad.

Agradecimientos

This study was supported with FEDER funds, the Spanish Ministry of Science and Innovation supported the present study in a Coordinated Investigation Project Framework (Grant Nos. BIA2003-09306-C04 and BIA2008-05485).

Referencias

- [1] J.L. Miralles, J.V. Garrigues, A. Gimenez, J. Romero, J. Navasquillo, S. Cerdá Medida de la calidad sonora en función de la duración. 36º Congreso Tecnia Acústica 2005.
- [2] Miralles, José Luis; Garrigues, José Vicente; Giménez, Alicia; Romero, José; Cibrián, Rosa; Cerdá, Salvador. Effect Of Duration In The Perception Of Pleasantness Of Sound 19th ICA 2007.
- [3] Psycho-acoustics Facts and Models. E. Zwicker H. Fastl. Ed. Springer
- [4] Cox TF, Cox MAA. Multidimensional scaling. 2nd ed. London: Chapman & Hall; 2001
- [5] Guerrero Casas, F.M. y Ramírez Hurtado, J.M. El Análisis De Escalamiento Multidimensional: Una Alternativa Y Un Complemento A Otras Técnicas Multivariantes. La Sociología En Sus Escenarios. No. 25. 2012.