

# DISEÑO DE FILTROS DIFUSOS PARA LA ELIMINACIÓN DE DISONANCIAS ACÚSTICAS

*Luis M. San José Revuelta*

*Ana Bodero Alonso*

*Javier Pastor Balbás*

Depto. de Teoría de la Señal  
y Comunicaciones e I.T.  
Universidad de Valladolid  
[Lsanjose@tel.uva.es](mailto:Lsanjose@tel.uva.es)

BMC Software  
Madrid  
[Ana\\_Bodero@bmc.com](mailto:Ana_Bodero@bmc.com)

Ericsson España, S.A.  
Madrid  
[Javier.pastor-balbas@ece.ericsson.se](mailto:Javier.pastor-balbas@ece.ericsson.se)

## ABSTRACT

This article describes the analysis and design of a set of filters based on Fuzzy Logic techniques for the rejection of distasteful sounds according to objective musical criteria. Objective criteria which are used for melodies filtering are based on the concepts of Pitch, Chromatic Circle and Circle of Fifths. This filtering system is integrated into a wider one which deals with the automatic music composition [1] by means of Evolutionary Computation and Fuzzy Logic concepts. The article here presented is focused on the design of the fuzzy logic based filters used to eliminate dissonant intervals. Filtered melodies are more pleasant to human ear and objectively more correct from the point of view of occidental music canons.

Posteriormente cada melodía es escuchada y puntuada por diferentes usuarios que se conectan con la página web donde está disponible este sistema. El AG hará evolucionar las melodías favoreciendo la supervivencia de aquellas que posean una mayor aptitud. Ésta se evalúa como mezcla de criterios *objetivos* (evaluación del grado de corrección de la melodía de acuerdo con un conjunto de reglas musicales) y de las puntuaciones otorgadas por cada usuario (valoración *subjetiva*). De esta forma se constituye un sistema interactivo híbrido genético-difuso de generación de melodías musicales [1].

Dado que en el sistema intervienen múltiples facetas (diseño del AG, filtros difusos, optimización de parámetros, integración en un entorno WWW fácilmente accesible, etc.) en este artículo nos centramos en la integración de criterios musicales objetivos en forma de reglas difusas.

## 1. INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de conseguir un conjunto de melodías musicales sencillas y agradables al oído humano se propone la siguiente arquitectura [1]. Un Algoritmo Genético (AG) genera inicialmente de forma aleatoria –obedeciendo un conjunto de restricciones musicales previamente especificadas– un conjunto de melodías que son almacenadas a través de la codificación del *ritmo* y la *tonalidad* de cada compás como dos cromosomas independientes. El que una melodía suene mejor o peor depende en gran medida de cómo sean sus intervalos (un intervalo se define como la distancia que media entre dos sonidos en función de su altura [2]).

Los sonidos que intervienen en las melodías compuestas inicialmente son aleatorios y se combinan al azar de tal modo que con frecuencia una nota y la siguiente forman un intervalo absolutamente inapropiado. Imaginemos, por ejemplo, que el azar escogiese como primera nota de una melodía el sonido más grave del rango permitido y como segunda nota el sonido más agudo. El intervalo que formarían ambas notas sería muy amplio (más de dos octavas) y el salto frecuencial no resultaría agradable al oído.

Esta población inicial de melodías es filtrada a través de un conjunto de filtros basados en Sistemas de Lógica Difusa (SLD) para efectuar correcciones basadas en la evaluación de criterios fundamentados en el Círculo Cromático (CC), Círculo de Quintas (CQ) y Altura Tonal (AT). Este filtrador de malsonancias tiene por finalidad la corrección de aquellos intervalos que, según ciertos criterios musicales objetivos, no resulten musicalmente aceptables.

## 2. CRITERIOS MUSICALES OBJETIVOS

Para la calificación de los intervalos se utilizan tres criterios musicales objetivos, ya empleados por Mozer, Luque [3] y Martín [4]. Estos criterios son conocidos como **AT** (*Altura Tonal*), **CC** (*Círculo Cromático*) y **CQ** (*Círculo de Quintas*), y están extraídos de la teoría de Shepard [3].

Para Shepard, las notas se sitúan en un espacio de 5 dimensiones (la altura tonal, las coordenadas  $x$  e  $y$  en el círculo cromático y las coordenadas  $p$  y  $q$  en el de quintas), tal que las notas que suenan similares están también cercanas según esta representación.

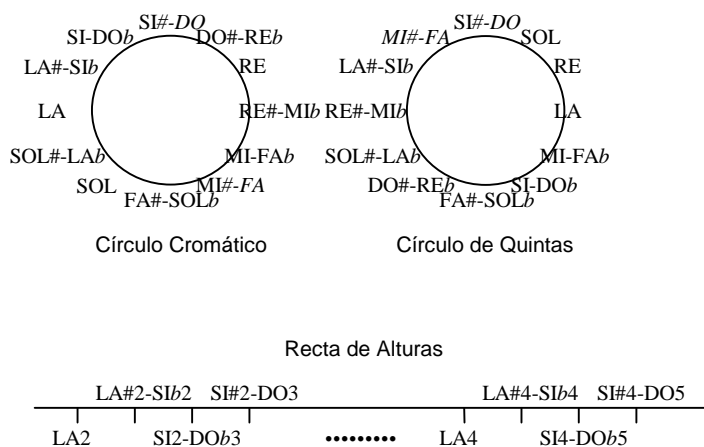


Figura 1: Representación de los criterios musicales objetivos: AT, CC y CQ.

En la Figura 1 podemos observar la representación de los criterios AT, CC y CQ. Vemos cómo tanto en la recta de alturas como en el círculo cromático, la distancia musical que separa a una nota de las contiguas es un semitono. Se van siguiendo de forma sucesiva las notas de la *escala cromática* (la escala de 12 semitonos de un instrumento temperado, p.e. el piano). En el CQ, las notas están separadas por la distancia correspondiente a una *quinta justa*, distancia equivalente a 2 tonos y un semitono.

En general, consideraremos que un intervalo es peor cuanto más alejadas se encuentren las notas que lo forman tanto en la recta de altura como en los círculos cromático y de quintas. Sólo tendremos en cuenta la octava en que se encuentra cada nota del intervalo para el criterio de AT. En los criterios de CC y CQ consideraremos la distancia en cada círculo entre las dos notas del intervalo, independientemente de la octava en que se encuentren.

Los valores de corrección a las malsonancias más elevados se obtendrán con el criterio de AT. Con este criterio acercamos entre sí las notas de aquellos intervalos que resulten excesivamente grandes (distancia superior a la octava). Las correcciones según el criterio CC serán algo inferiores pues tan sólo se pretende mejorar la cromaticidad del intervalo; por esto, la corrección máxima que puede obtenerse según este criterio es de un tono aproximadamente. El criterio CQ pretende mantener a las notas de una melodía dentro de la tonalidad (situadas consecutivamente sobre el círculo de quintas) y las correcciones a aplicar en este caso serán aún menores (un semitono).

### 3. FILTROS DIFUSOS

Aplicaremos LD para corregir aquellos intervalos que resulten inapropiados según los criterios musicales antes descritos. Para ello, se construirá un SLD que en realidad no es un único sistema sino dos independientes, cada uno relacionado con los criterios musicales objetivos AT y CC respectivamente (Fig. 2). Además, emplearemos el criterio CQ, tras la aplicación de los dos SLDs comentados, para preservar la tonalidad de las melodías.

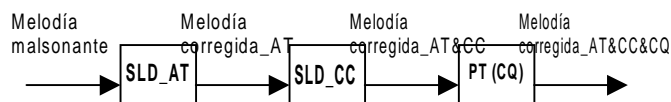


Figura 2: Estructura general del filtrador de malsonancias.

El resultado final de cada SLD será un valor de corrección que aplicaremos sobre el intervalo de la melodía considerado en cada instante. Dicha corrección afectará a la segunda nota del intervalo, que será modificada ascendente o descendientemente en caso necesario.

Cada SLD vendrá descrito por unos conjuntos difusos de entrada y otros de salida, y unas reglas que el motor de inferencia utilizará para relacionar los unos con los otros. Por otra parte, las entradas *crisp* al sistema serán variables características de los intervalos de cada melodía.

#### 3.1. Entradas a los SLDs

$U$  es el universo del discurso para este problema y se cumple que  $U \subset R$ . Dentro de  $U$  vamos a distinguir tres subconjuntos denominados  $A_1$ ,  $A_2$  y  $A_3$ , que comprenden los valores de altura tonal, signo y cromaticidad de un intervalo respectivamente. Cada SLD presenta unos valores concretos de entrada diferentes:

#### • SLD-AT

El conjunto concreto  $A_1$  es el conjunto de las alturas tonales posibles para un intervalo de nuestro sistema, que son relaciones frecuenciales comprendidas entre 1 y  $4\sqrt[4]{2}$ . La explicación de estos límites impuestos al conjunto  $A_1$  se detallan en [1]. El conjunto concreto  $A_2$  representa los posibles valores que toman tanto el signo de un intervalo como el producto entre los signos de varios intervalos. El SLD que aplica el criterio musical AT precisa de 5 entradas: altura tonal del primer intervalo, altura tonal del segundo intervalo, signo del primer intervalo, signo del segundo intervalo y producto de signos.

Dada una melodía representada a través de la sucesión de sus notas (cromosoma melódico) como  $M=(n_1, n_2, \dots, n_p)$ , la obtención de las alturas tonales y signos se realiza del siguiente modo:

1. Se toman tres notas,  $n_{n-1}$ ,  $n_n$  y  $n_{n+1}$ , del cromosoma melódico y se obtienen las frecuencias correspondientes  $f_{n-1}$ ,  $f_n$  y  $f_{n+1}$ .
2. Se calculan las relaciones frecuenciales de los dos intervalos formados por las tres notas:  $r_{n-1}=f_n/f_{n-1}$  y  $r_n=f_{n+1}/f_n$ .
3. Si alguno de los intervalos es decreciente, la relación frecuencial que obtendremos será menor que la unidad. En tal caso, procederemos a su inversión.

En este sistema introducimos los valores de dos intervalos consecutivos para la corrección de cada uno de ellos. Va a existir un solapamiento de un intervalo entre iteraciones consecutivas. Por tanto, cada intervalo de una melodía será analizado en total dos veces, en cuanto al criterio de AT.

#### • SLD-CC

El conjunto concreto  $A_3$  es el conjunto de las cromaticidades posibles de un intervalo de nuestro sistema, que son relaciones frecuenciales comprendidas entre 1 y  $\sqrt{2}$ . La cromaticidad de un intervalo se mide por la distancia que existe en el círculo cromático entre las dos notas que lo forman. El SLD que aplica el criterio musical CC (SLD-CC) precisa de dos entradas: (i) cromaticidad del intervalo y (ii) producto entre el signo del intervalo y la inversión.

#### • Salidas de los SLDs

Cada SLD devuelve un valor de corrección y un sentido en el que aplicar dicha corrección. La corrección obtenida expresa el número de semitonos que hemos de modificar ascendente o descendientemente, según indique el valor del sentido, la nota central de la ventana de tres notas, entrada al sistema SLD-AT, o la última nota de la ventana de dos notas, entrada al sistema SLD-CC.

### 4. REFERENCIAS

- [1] A. Boder-Alonso, *Desarrollo de un Sistema Interactivo Híbrido Genético-Difuso para la Composición Musical Automática*, Proyecto Fin de Carrera, Univ Valladolid, 2000.
- [2] M. Valls Gorina, *Diccionario de la música*, Alianza Editorial S.A., Madrid, 1989.
- [3] I. Luque Heredia, *Modelos de Composición Musical Automática*, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Univ. Politéc. Madrid, Diciembre 1994.
- [4] J. Á. Martín Pérez, *Diseño de Sistemas Interactivos de Composición Musical Automática basada en Estrategias Evolutivas*, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Universidad de Valladolid, Septiembre 1998.