

# SISTEMA BASADO EN DSP DE DETECCIÓN DE NOTAS MUSICALES A TIEMPO REAL

*Eduard de la Arada Janoher*

*Carles Vilella i Parra*

Departamento de Comunicaciones y Teoría Señal  
Universidad La Salle (URL, Barcelona)  
se03748@salleurl.edu

Departamento de Comunicaciones y Teoría Señal  
Universidad La Salle (URL, Barcelona)  
carlesv@salleurl.edu

## ABSTRACT

In this paper, a real-time patternless system for acquiring musical notes from a polyphonic, mono-instrumental sound source is described. In contrast to previous systems based on personal computers, this one has been implemented in a low cost, mobile DSP-based platform. The special characteristics of DSPs (optimised input/output, bit-reversed addressing capabilities, etc) allow a better performance/cost ratio than a general-purpose processor platform.

The system has been designed and tested to process the electric guitar sound, but it shows good performance with other instruments like acoustic guitar and voice because of its patternless characteristics.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el mercado existen distintos *software* que permiten la obtención de notas a partir de una señal musical (*wav to midi*). Algunos de ellos operan en tiempo real. La mayoría trabaja en *backup* a partir de un fichero *.wav*. Casi todos están programados sobre PC. Con el presente trabajo se pretende desarrollar una plataforma portátil basada en DSP que permita analizar música en tiempo real y almacenarla en formato de notas.

## 2. ESTUDIO TEÓRICO

El modelo de estudio que se propone es el de una cuerda aislada, ideal, sujeta por los dos extremos. Dicha cuerda estará caracterizada por una longitud  $l$  (en metros) y una densidad lineal de masa  $\mu$  (en  $\text{Kg}/\text{m}$ ). Los modos propios de vibración de dicha cuerda [1] vienen dados por la siguiente ecuación:

$$f_n = n \frac{c}{2l} \quad [1]$$

donde la velocidad de propagación ( $c$ ) depende de la tensión a la cual está sometida ( $T$ ) y a su densidad lineal de masa ( $\mu$ ) según la siguiente expresión:

$$c = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad [2]$$

Los modos propios son, pues, múltiplos enteros de uno fundamental. La amplitud de cada uno de ellos dependerá de las condiciones iniciales (punto de excitación, velocidad inicial, ...). El tono fundamental da nombre a la nota musical.

En el caso de diversas cuerdas vibrando simultáneamente (guitarra), la señal captada por el detector contendrá simultáneamente diversos tonos fundamentales con sus respectivos armónicos.

## 3. DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO

El conjunto de algoritmos que se aplican a la señal de guitarra eléctrica para extraer las notas se pueden clasificar en dos grupos [2], [3]:

- Análisis de un segmento. Se detectan las notas de pequeños segmentos temporales.
- Análisis global. Se contextualizan los análisis de segmentos consecutivos.

### 3.1 Análisis de un segmento

Se aplican consecutivamente los siguientes procedimientos:

- *Windowing*. Se ha escogido una ventana rectangular ya que es la que proporciona una mayor resolución.
- Transformada frecuencial. Se aplica la STFT (*Short Time Fourier Transform*) sobre segmentos temporales suficientemente pequeños para poder considerar que las notas no pueden aparecer y desaparecer dentro de un mismo intervalo.
- Detección de máximos locales. Este algoritmo detectará tanto máximos frecuenciales correspondientes a tonos como debidos a lóbulos secundarios producto del efecto *windowing*.
- Eliminación del efecto *Windowing*. Para cada máximo local de amplitud superior a un umbral, se realiza la resta compleja del efecto de la ventana rectangular ponderada por la amplitud compleja de dicho máximo.
- Selección de máximos locales. Se escogen los máximos frecuenciales de amplitud superior a un umbral experimental. En este momento podemos asegurar que dichos máximos reflejan tonos ya que el efecto *windowing* ha sido eliminado.
- Eliminación de armónicos. Se distinguen los tonos correspondientes a fundamentales de los que son armónicos de otro.
- Selección de fundamentales / falsos. De entre los máximos frecuenciales no armónicos, se escogen sólo aquellos que sobrepasan un umbral mínimo de potencia.

- Obtención de las notas. A cada fundamental se le asocia la nota correspondiente según su frecuencia.

Al final del análisis de segmentos se obtienen, pues, las notas que aparecen en dicho intervalo temporal.

### 3.2 Análisis global

Este segundo bloque de algoritmos relaciona los resultados obtenidos en segmentos consecutivos. Se llevan a cabo las siguientes tareas:

- Detección de nuevas notas. Se considera que surge una nota cuando aparece en un segmento sin que existiera en los anteriores.
- Continuidad de notas. Si una nota detectada en un segmento ya existía en el anterior se incrementa su duración

## 4. IMPLEMENTACIÓN A TIEMPO REAL

La implementación se ha realizado sobre dos plataformas *hardware* que, en esta primera fase del proyecto, se comunican a través de un puerto serie:

- Una placa basada en el DSP de *Analog Devices* ADSP-21061 y el CoDec AD1847 [4]. Implementa el análisis de segmentos.
- Un ordenador PC que resuelve el análisis global y presenta los datos por pantalla.

En el sistema final está previsto que la placa DSP almacene los resultados del análisis por segmentos en una memoria local.

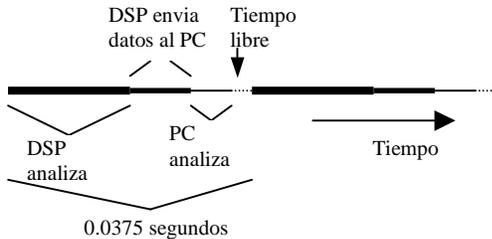


Figura 1. Ciclo de trabajo del sistema

A continuación especificamos algunos de los parámetros de funcionamiento del algoritmo de análisis de segmentos:

- Frecuencia de muestreo de 5.5125 Khz. Dicha frecuencia permite trabajar a tiempo real y analizar un ancho de banda audio suficiente (2.7 Khz aproximadamente)
- Número de muestras de la FFT: 2048. De esta manera se consigue una resolución espectral de 2.7 Hz. Dado que la mínima nota que nos plateamos detectar es el Do2 (65.4 Hz), la mínima distancia entre notas es de 12.375 Hz, que corresponderá a más de 4 líneas espectrales.
- Ventana rectangular de 414 muestras, que corresponde aproximadamente a 75 ms. El paso de avance de la ventana (solapamiento) será de la mitad de dicho valor: 207 muestras. Dichos parámetros permiten detectar notas de duración mínima de 1.5 décimas de segundo (tres segmentos consecutivos) y mantienen una distancia del lóbulo primario al secundario de 5 líneas espectrales.

El ciclo de trabajo del sistema viene representado en la figura 1. En el límite de funcionamiento a tiempo real el tiempo libre desaparecería y la interpretación de los datos por parte del PC y DSP se realizaría paralelamente. En el sistema final portátil, la fase de comunicación DSP – PC desaparecerá y la frecuencia de muestreo se podrá incrementar.

En la figura 2 podemos apreciar el diagrama de bloques de del *software* de análisis de segmentos.

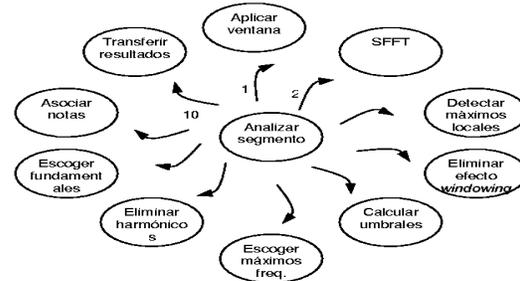


Figura 2. Diagrama de bloques del *software* del DSP

## 5. RESULTADOS

La efectividad del sistema se ha medido como el tanto por ciento del tiempo en que la transcripción se ajusta a la realidad. Se consiguen normalmente valores entorno al 90 % (la medida depende del músico y de la pieza interpretada). La mayoría de los errores se dan en los transitorios de los acordes ya que las notas nunca aparecen / desaparecen simultáneamente. Estos errores pueden ser reducidos ajustando manualmente ciertos umbrales de los algoritmos.

## 6. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado una plataforma de análisis de señal de guitarra eléctrica a tiempo real, basada en DSP, portátil y de bajo coste. Los algoritmos diseñados pueden ser configurados experimentalmente según las características de guitarra y guitarrista. Se ha testeado el sistema con otros instrumentos (voz, guitarra acústica) y los resultados, sin llegar al nivel de los obtenidos con guitarra eléctrica, son también satisfactorios. El siguiente paso a dar será automatizar el proceso de configurabilidad, generalizar la alta efectividad a otros instrumentos e implementar la versión portátil definitiva.

## 7. REFERENCIAS

- [1] Kinsler, Lawrence and Frey, Austin, "Fundamentals of Acoustics", John Wiley & Sons pág. 33 a 55, 1962
- [2] de la Arada Janoher, Eduard, "Detecció de notes i acords d'instruments de corda a temps real", Proyecto Final de Carrera Universidad La Salle (URL)
- [3] Vilella Parra, Carles, "Transcriptor de guitarra elèctrica", Trabajo Final de Carrera Universidad La Salle (URL)
- [4] "Sharc User's Manual", Analog Devices