



PROCESAMIENTO DIGITAL SOBRE LA PLACA BASE LPC1769

Anderson, Jorge; Osio, Jorge; Kunysz, Eduardo Y Rapallini; José

UIDET CeTAD

48 y 116 2º Piso Departamento de Electrotecnia, josrap@ing.unlp.edu.ar

Resumen

El objetivo de este trabajo es el estudio e implementación de algoritmos de procesamiento digital ([1], [2]) basados en Librerías DSP (Procesamiento Digital de Señales) provistas por la Empresa NXP para los Microcontroladores LPC1769 [3]. El uso de estas librerías permite proveer al “Diseño de Sistemas Digitales”, de herramientas para procesamiento de audio e imágenes.

Introducción

Aprovechando las prestaciones de la Placa Baseboard LPC1769 para el ingreso y digitalización de señales analógicas, en este trabajo se realiza el muestreo de una señal de audio a través de una entrada analógica BNC, para luego aplicar la función FFT (Transformada Rápida de Fourier), de las Librerías DSP mencionadas, utilizada para decodificar tonos DTMF (Dual Tone Multi Frequency). Dichos tonos son generados desde la salida de una PC por medio de un software de generación de tonos DTMF, luego son digitalizados almacenados en memoria del LPC1769. El microcontrolador utiliza la función FFT de la biblioteca DSP para calcular las diferentes frecuencias presentes en los datos recibidos y, finalmente, determinar a que tecla corresponde dicha frecuencia. En este trabajo se muestran las bondades de las tecnologías de 32 Bits y se dejan sentadas las bases para la implementación de distintos algoritmos de Procesamiento Digital.

Parte experimental

En el Laboratorio CeTAD, se ha explotado al máximo el uso de la placa base lpc 1769 ([4] y [5]), aprovechando las distintas interfaces que esta provee mediante la digitalización de una señal de audio para luego ser procesada usando las librerías DSP. En la Figura 2 se muestra un diagrama del sistema completo, donde se aprecia el ingreso de la señal a procesar, el procesamiento FFT dentro del Microcontrolador PC1769 y la obtención de los datos.

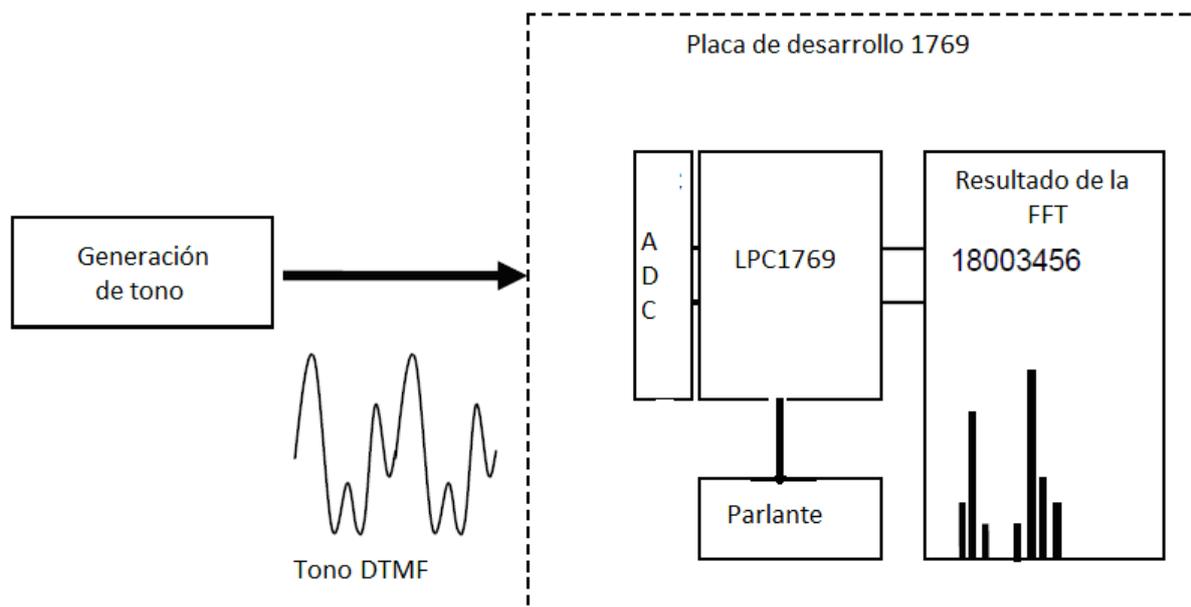


Figura 2. Diagrama en Bloques del sistema Completo

La Placa base LPCXpresso [6], trae incorporada una entrada hembra BNC para la mediciones de señales externas, con la posibilidad de realizar un acople de señal DC -de 0 a 10 V- o AC -de -5 a 5 V-, conectado al canal 1 del convertor ADC del LPC17xx. Además, incluye la posibilidad de modificar el rango de medición amplificando la señal 10 veces. La salida del BNC pasa a través de un divisor resistivo, y solo se mide el 25% de la señal, pasando por un filtro capacitivo intermedio o no, dependiendo del acoplamiento seleccionado. Dicho acoplamiento, será seleccionado mediante dos juegos de Jumpers J29 y J57, que deberán modificarse simultáneamente para un correcto funcionamiento. Además, el módulo ofrece la posibilidad de amplificar x10 la señal medida a través del Jumper J30 (abierto por defecto).

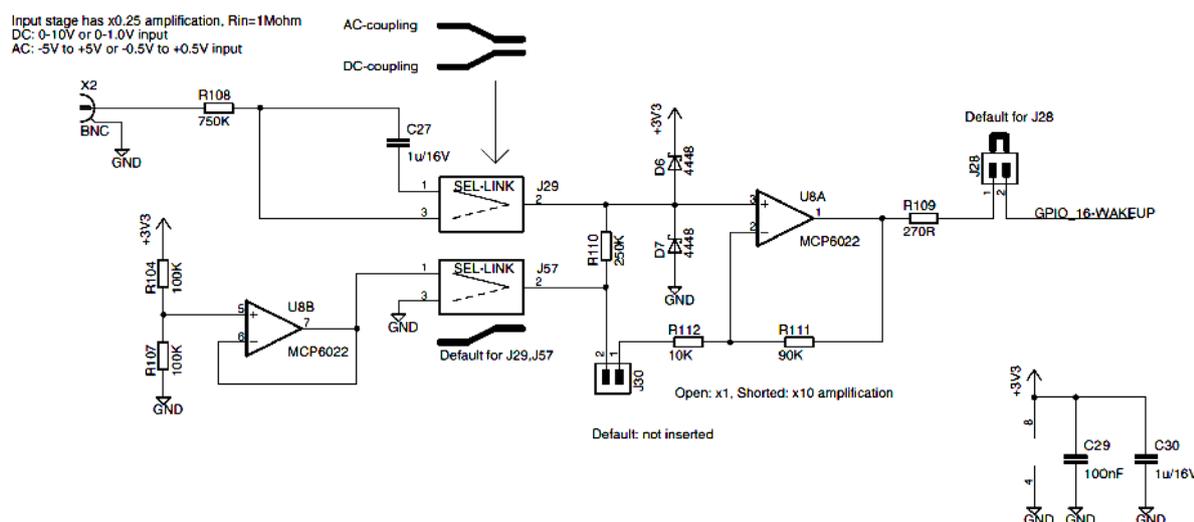


Figura 1: Circuito esquemático del Módulo BNC.

Una vez Digitalizada la señal en el Conversor del Microcontrolador, se almacenan dichos datos en buffers para luego realizar el filtrado digital por medio de una Transformación Rápida de Fourier [7]. Al aplicar la FFT se verifica el contenido en frecuencia de la señal quedando lista para la implementación del filtrado. Si una señal es muestreada a 16 kHz y se realiza una FFT de 16 puntos, el resultado constará de 16 puntos de datos (bins), cada

uno representando un espectro de frecuencia que es de 1 kHz de ancho. Es importante tener en cuenta que si los valores de entrada son reales (es decir, la parte imaginaria es cero), entonces sólo los primeros $n / 2 + 1$ bins en el resultado de la FFT serán independientes; los bins restantes no contienen información adicional acerca de la secuencia de entrada. Debido a esto, la frecuencia máxima presente en los resultados será la mitad de la frecuencia de muestreo. El resultado de una FFT se representa a menudo como un histograma como el de la figura 3, el cual es un histograma que representa el la FFT descrita).

Magnitud

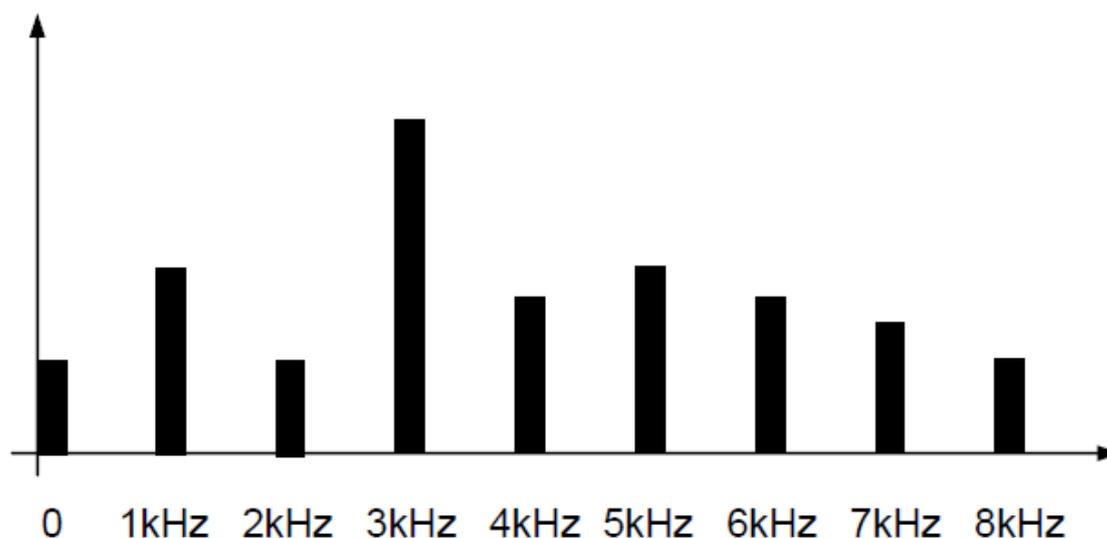


Figura 3. Magnitud ejemplo de la FFT Obtenida.

Las funciones FFT de la Biblioteca DSP operan en los valores de entrada de 16 bits y producen valores de salida de 16 bits. Los valores de entrada y de salida son matrices de números complejos. Las entradas pares contienen la parte real del número complejo correspondiente y las entradas impares la parte imaginaria como se muestra a continuación:

```
input_buffer[0] = sample_0_real_part;
input_buffer[1] = sample_0_img_part;
.
.
input_buffer[8] = sample_4_real_part;
input_buffer[9] = sample_4_img_part;
```

Todas las funciones FFT contenidos dentro de la Biblioteca DSP son implementaciones Radix. Esto significa que el número de puntos calculados es un múltiplo de 4, lo que resulta en 64, 256 y 1024 puntos de la función FFT. Esto es ideal para el banco de 16 registros presentes en el núcleo Cortex-M3, debido a que ofrece un mejor rendimiento y se requieren menos ciclos de CPU para calcular el mismo resultado.

Las funciones de FFT no realizan cálculos "en el lugar", lo que significa que los buffers de entrada y salida tienen que estar situados en diferentes lugares de la memoria, es decir, el mismo buffer no puede ser utilizado para mantener ambos valores de entrada y de salida.

El número de muestras de entrada procesados es igual al número de puntos de salida generados. Por ejemplo, si se utiliza la función FFT de 256 puntos (`vF_dsp1_fftR4b16N256`), se requieren entonces 256 muestras de entrada. Estas muestras de entrada en realidad consisten en 512 valores diferentes de 16 bits de datos - 256 reales y 256 imaginarios. La

función genera 512 muestras de salida de 16 bits - 256 reales y 256 imaginarios.

Dual Tone Multi Frequency (DTMF) es un método de señalización utilizado por los teléfonos. Cuando se pulsa un botón en un teclado de teléfono, una señal (que consta de dos ondas sinusoidales de diferentes frecuencias) se transmite al equipo receptor. Cada tecla utiliza una combinación única de dos de ocho diferentes frecuencias (véase la tabla 1). Por ejemplo, al pulsar la tecla '5' se provoca un tono que consta de dos ondas sinusoidales de 770 Hz y 1336 Hz a ser transmitidas. La duración de los tonos generados es normalmente de 70 ms, sin embargo, en algunos países, la duración puede ser de 45 ms.

Tabla 1. *Tabla de tonos DTMF*

Tone Frequency	1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz
697 Hz	1	2	3
770 Hz	4	5	6
852 Hz	7	8	9
941 Hz	*	0	#

El programa de aplicación sigue el diagrama que se muestra en la figura siguiente, se almacenan los datos en un buffer y cuando el buffer está lleno se procede a aplicar la FFT para luego determinar si hay un tono presente en el conjunto de muestras y transmitir los datos para graficar el resultado.

La velocidad a la que se muestrean los datos de audio, y el número de puntos producidos por el algoritmo de FFT, determina la resolución de frecuencia de la salida de la FFT. La diferencia de frecuencia entre los tonos MFTP mínimo (73 Hz) define la máxima resolución de salida de la FFT que se puede utilizar para diferenciar entre si los tonos. Para evitar aliasing, la tasa de muestreo debe ser al menos el doble de la frecuencia máxima de tono, es decir, debe ser de al menos 2954 Hz. Si los datos de audio se muestrean a 8000 Hz, y se usa una FFT de 256 puntos, la resolución de salida será de 31,25 Hz. Esto está muy por debajo del máximo permitido para diferenciar de manera confiable entre si los tonos. El tiempo necesario para obtener 256 muestras cuando se toman muestras a 8000 Hz es de 32 ms, que es muy inferior a la duración mínima del tono de 70 ms.

Una vez que una muestra ha sido transferida al LPC1769, se genera una interrupción. La rutina de servicio de interrupción del microcontrolador almacena la muestra como la parte real de un valor de entrada FFT y fija la parte imaginaria a cero. También transmite los datos recibidos a la salida a través de la bocina.

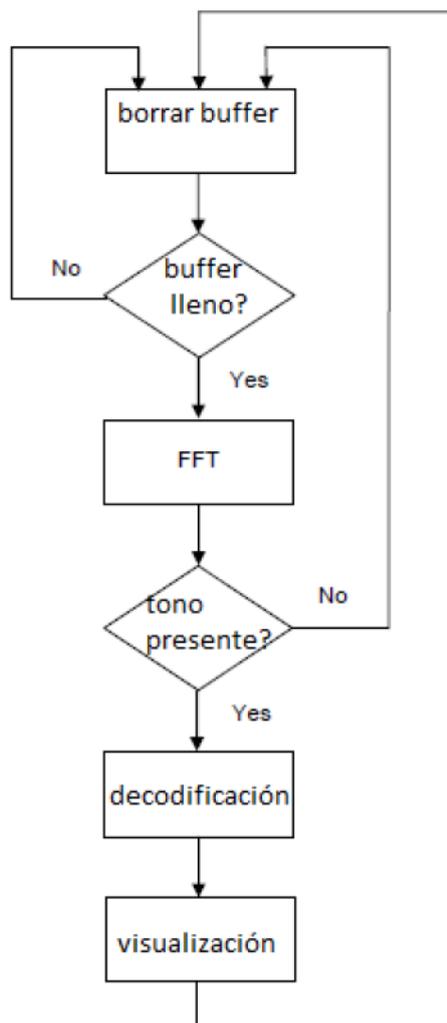


Figura 4. Diagrama de Flujo del Programa de aplicación

Para la eficiencia del software sólo calcula la magnitud al cuadrado de la FFT, es decir, no se realiza la operación de raíz cuadrada. El valor al cuadrado de la magnitud corresponde aproximadamente a la potencia presente en una frecuencia particular y por lo tanto es un valor adecuado para el propósito de detección de tono y de decodificación. Cuando se toman muestras a 8000 Hz y realizando una FFT de 256 puntos, las frecuencias presentes en los tonos DTMF aparecerán en 7 bandejas de salida diferentes (ver Tabla 2).

Tabla 2. Tono DTMF – bin de la FFT

Frecuencia	Número Bin
697 Hz	22
770 Hz	25
852 Hz	27
941 Hz	30
1209 Hz	39
1336 Hz	43
1477 Hz	47

Con el fin de detectar si un tono está presente la potencia en los bins correspondientes a las frecuencias DTMF se compara con la potencia total presente en todos los bins. Si se determina que la potencia en los bins DTMF es 25% mayor que la potencia total de un tono,

se supone que dicho tono está presente. Para determinar qué tono está presente sólo debe ser comparada la magnitud relativa de los bins listados en la Tabla 2. Si un tono está presente, entonces dos de los bins deben contener valores que ingresados en la tabla 1 permitirán determinar la tecla presionada.

Para extraer los datos de audio por medio de una señal PWM (modulación por ancho de pulso), se utiliza el Speaker (bocina), el cual se encuentra implementado bajo el circuito integrado LM4811, capaz de entregar una potencia de 105 mW por canal a 16Ω de carga, incluyendo control de volumen y modo de bajo consumo. El módulo se encuentra implementado con un filtro pasa bajos a la entrada del integrado, permitiendo traducir una señal PWM en audio, para luego poder ser reproducida por el speaker. Como se observa en la figura 4 la salida del LPC17xx, a través del puerto GPIO0.26, se encuentra conectada a la entrada del filtro LP. Dicha salida no se encuentra bajo una salida generadora PWM, por lo que tendrá que ser implementada utilizando un puerto de propósito general.

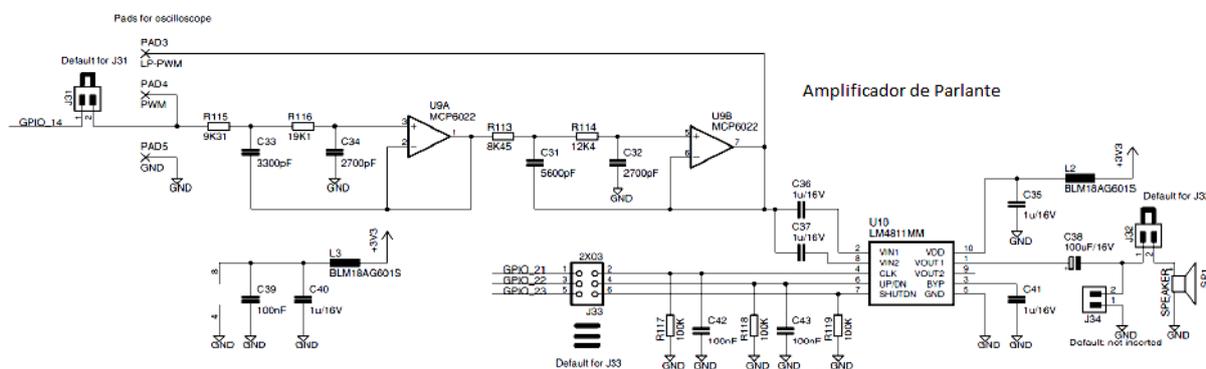


Figura 4. Circuito esquemático del módulo parlante.

Conclusiones

Por medio de una aplicación de audio se mostraron las bondades de las librerías de Procesamiento Digital, pudiendo observarse el funcionamiento eficiente de las mismas sobre el Microcontrolador LPC1769. Estas herramientas se consideran altamente potentes para el acondicionamiento de cualquier señal digitalizada y la implementación en un Procesador Cortex M3 permite realizar aplicaciones relativamente complejas en Dispositivos de bajo costo.

Como tarea a futuro se pretende implementar el Procesamiento digital de imágenes médicas para facilitar el diagnostico, con los

Referencias

- [1] Rabiner and Gold, "Theory & Application of Digital Signal Processing", junio 1975
- [2] Proakis and Manolakis, "Digital Signal Processing, Principles, Algorithms, and Applications", 7 de abril de 2006.
- [3] "Nota de Aplicación: DSP library for LPC1700 and LPC1300", NXP Semiconductors, Rev 3, Junio de 2010.
- [4] "NXP LPC176x User's Manual", NXP Semiconductors, Rev 11.1, Diciembre de 2011.
- [5] "NXP LPC176x Datasheet", NXP Semiconductors, Rev. 9, Agosto de 2012.
- [6] "LPCXpresso Base Board Rev A User's Guide", Embedded Artist, Suecia, 2011.
- [7] "Nota de Aplicación: Decoding DTMF tones using M3 DSP library FFT function", NXP Semiconductors, Rev 1, Junio de 2010.