



Desarrollo de un sistema embebido para la clasificación de señales EMG

Cristhian Manuel Duran Acevedo, Javier Eduardo Jauregui Duarte

.Departamento de Electrónica, Eléctrica, Sistemas y Telecomunicaciones .Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Universidad de Pamplona

Resumen

En el presente artículo se describe una metodología para generar algoritmos de alto nivel, tales como Redes Neuronales Artificiales u otras técnicas de reconocimiento de patrones para ser implementados en sistemas embebidos. El sistema fue basado en un DSP (Procesador Digital de Señales), para la identificación y la clasificación de señales (es decir, EMG); para tal fin se utilizó el software Code Composer Studio V3.3, el cual fue acoplado al paquete Matlab, para realizar la programación de la tarjeta TMS320F28335 de Texas instruments. El objetivo del estudio fue crear un modelo de una red neuronal artificial a partir de un pre-procesamiento previo, y luego de manera embebida implementar la red al respectivo hardware. La Red MLP (Perceptron Multicapa) fue desarrollada a partir de un conjunto de datos pre-procesados, los cuales fueron obtenidos mediante la adquisición de señales Electromiográficas. A su vez, estos datos fueron validados por medio de la técnica de discriminación y Análisis de Componentes Principales (PCA), la cual fue util para determinar la repetitividad y selectividad del instrumento de medida. A través de esta aplicación fue posible mejorar la velocidad de procesamiento, la portabilidad y la respuesta del dispositivo EMG, el cual abre un gran abanico de posibilidades para que esta metodología sea aplicada en diferentes sectores (es decir, sector industrial, la salud, etc), sobre todo, como un sistema de clasificación de señales.

Palabras clave : DSP; Redes Neuronales; PCA;Electromiografía; Discriminación

Embedded development of a system for classification of EMG signals

Abstract This paper describes a methodology to generate high-level algorithms such as artificial neural networks or other pattern recognition techniques to be implemented in embedded systems. The system was based on a DSP (Digital Signal Processor), for identification and classification of signals (ie, EMG); for that purpose the Code Composer Studio V3.3 software, which was coupled to Matlab for programming the card TMS320F28335 Texas Instruments was used. The objective was to create a model of an artificial neural network from a previous pre-processing, and then implement the embedded network to the respective hardware. The Red MLP (Multilayer Perceptron) was developed from a set of pre-processed data, which were obtained through the acquisition of electromyography signals. In turn, these data was validated by means of the technique of discrimination and Principal Component Analysis (PCA), which was useful to determine the repeatability and selectivity of the measuring instrument. Through this application was possible to improve processing



speed, portability and response of the EMG device, which opens a wide range of possibilities for this methodology to be applied in different sectors (ie, industry, health, etc.), mainly as a classification system of signals.

Keywords: DSP; Redes Neuronales; PCA;Electromiografía; Discriminación

+ Autor para el envío de correspondencia y la solicitud de las separatas: Cristhian Manuel Durán Acevedo. Departamento de Electrónica, Eléctrica, Sistemas y Telecomunicaciones .Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Universidad de Pamplona., Colombia. cmduran@unipamplona.edu.co

Recibido: Noviembre 20 de 2013 Aceptado: Junio18 de 2014

60

INTRODUCCION

Hoy en día una de las principales técnicas para adquirir información de la actividad muscular del cuerpo es la electromiografía (EMG), la cual permite analizar los potenciales eléctricos generados por los músculos durante el movimiento (Christova et al.1999). Diferentes estudios han sido desarrollados para utilizar un hardware de tipo DSP para el procesamiento de las señales tanto EMG como ECG, ya que estos sistemas de medida proporcionan una gran ventaja al momento de procesar señales que contienen gran cantidad de información.

Es por esta razón que se han venido realizando importantes avances en la adquisición datos ECG en tiempo real y la transmisión inalámbrica de la señal (Nan et al.2012). En esta aplicación se analizaron las señales ECG, el cual fue basado en un sistema para el almacenamiento de la señal y el tratamiento de dichos datos. En este estudio aplicativo se ilustra la forma de onda de la señal en una LCD y la transmisión hacia el PC (Subasi 2012). Otros trabajos han sido enfocados al análisis de la frecuencia cardiaca para la detección de infarto de miocardio, para el análisis, monitoreo y control de señales EMG (Zakaria 2012; LI 2010).

Es importante aclarar que en la mayoría de los estudios realizados en aplicaciones ECG y EMG con tecnología DSP, por lo general se requiere un ordenador para su correspondiente análisis y obtención de resultados.

Para el desarrollo del presente estudio se tomó como base el trabajo

realizado por Li Zhao (Zhao et al. 2010), los cuales describen el diseño de un sistema electrónico para el procesamiento de las señales EMG superficiales, basado en un procesador digital de señales.

El dispositivo está compuesto de una etapa análoga el cual acondiciona las señales de los sensors, la etapa de procesamiento y la posterior visualización de resultados. Lo anterior aporta información significativa al momento de poder utilizar algoritmos de reconocimiento de patrones para la clasificación de señales EMG y la programación de un hardware DSP. Con base a los reportes anteriores es de considerar que no se evidencian gran variedad de aplicaciones donde se pueda realizar una caracterización de señales EMG, por medio del procesamiento y extracción de componentes principales con el fin de obtener resultados que permitan la correcta discriminación del conjunto de datos. Es por esta razón que el objetivo principal de esta investigación fue desarrollar un modelo de una red neuronal artificial previamente entrenada, con el fin de realizar la implementación a un procesador TMS30F28335. La DSP fue acondicionada con su respectiva programación para el procesamiento y clasificación de señales tipo EMG y los resultados fueron validados por medio de la técnica de discriminación PCA, para verificar la repetitividad y selectividad del sistema de medida.

Materiales y métodos

Mediante las pruebas realizadas con el sistema la adquisición de las

señales EMG, se midió la actividad eléctrica del músculo (brazo) en estado de reposo durante contracciones leves y fuertes. Tal y como se muestra en la Fig. 1, se observa el posicionamiento de los electrodos para la adquisición de la señal correspondiente al brazo de la persona.

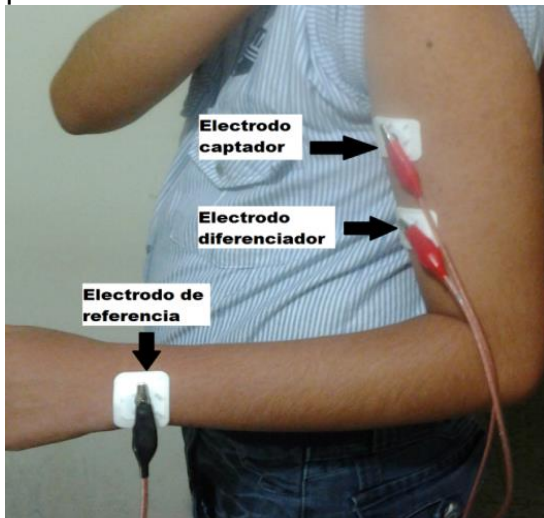


Fig.1. Ubicación de los electrodos en el musculo del brazo

Es importante resaltar que normalmente el tejido muscular no emite señales eléctricas durante el estado en reposo, pero cuando se acondiciona un electrodo es posible observar un breve período de la actividad muscular (Liu 2007). Para llevar a cabo el registro de las señales electromiografías se utilizaron electrodos superficiales, ya que de esta forma “no invasiva”, es más conveniente para el paciente hacer el movimiento para luego realizar el registro.

Dentro de las características más importantes a tener en cuenta en la

adquisición de la señal EMG, se mencionan las siguientes:

- 1.El espectro de la señal: 0-500 Hz
- 2.La energía dominante: 50 – 150 Hz
- 3.La adquisición de señales EMG se ve fuertemente afectada por el ruido de línea (60Hz).
- 4.Señal aleatoria: Representación por medio de distribución gaussiana.
- 5.Amplitudes: 0–6 mV pico y 0 - 1.5 mV (RMS)

Los potenciales de acción de cada músculo presentan una magnitud fija (es decir, Número de disparos y número de fibras reclutadas) (Merletti y Parker 2004).

A) *Electrodos superficiales*

Los electrodos superficiales son ubicados directamente sobre la piel con el fin de percibir las señales emitidas por los músculos. De esta forma se obtiene el potencial adecuado que lleva la información que debe ser procesada por el DSP. Debido a que la piel es un tejido conductor cuyo material intracelular y extracelular está compuesto de soluciones electrolíticas, y la corriente es transportada por iones. Un metal es un material altamente conductor donde la corriente es transportada por electrones y en consecuencia el contacto de la piel con el electrodo se hace muy ruidosa (Dorado et al.2006).

Para tal fin, en este estudio fue conveniente el diseño de un filtro digital.

Acondicionamiento de la señal



62

El circuito de adquisición se realizó con el integrado TL084, el cual tiene 4 amplificadores los cuales se acondicionaron para conseguir la configuración de amplificador instrumental con una ganancia entre 100 y 200.

Muestras

En la Tabla 1 se relacionan cada uno de las personas evaluadas por el sistema EMG integrado para la adquisición de las muestras. Se describió la fisiología de cada uno de los sujetos, y se tomó como base la información de la actividad física presentada por cada uno de ellos: estos fueron unos de los aspectos claves donde se determinarán los grupos de clasificación. Las medidas fueron valoradas según el criterio de un especialista fisiatra con experiencia en el análisis de este tipo de señales. A partir de este conjunto de medidas se entrenó la red neuronal artificial para el proceso de clasificación de las señales EMG, y se determinó la eficiencia del sistema a través del análisis de componentes principales (PCA).

2	23	1.75	M	5
3	38	1.70	M	5
4	35	1.65	F	5
5	33	1.68	F	5
6	23	1.60	F	5

Se realizaron un total de 5 muestras por paciente o clase, y a cada una de las medidas se seleccionaron 500 valores para ser analizados. En el momento de realizar la clasificación fue posible diferenciar tres grupos, los cuales se describen a continuación:
10 medidas: Personas normales.
10 medidas: Personas con alto rendimiento o Atletas.
10 medidas: Personas con capacidad muscular limitada.

De la tabla anterior se determinó que los sujetos (4) y (5) presentaron problemas musculares en el brazo izquierdo, por lo que la actividad muscular fue casi nula. Al contrario sucedió con el sujeto 6, el cual es un atleta y presenta una actividad muscular muy alta. El resto de las personas fueron identificadas como sujetos con capacidad muscular normal.

TABLA I. relación de personas evaluadas

Sujeto	Edad (Años)	Estatura (mts)	Sexo	Número de Muestras
1	19	1.77	M	5

D) Procesador digital de señales

El DSP utilizado corresponde a la firma de Texas Instruments, y pertenece a la serie C2000 de procesadores de señales digitales; es uno de los procesadores más versátiles de la serie y puede ser utilizado en su mayoría para sistemas de control. El chip DSP está situado en una tarjeta de desarrollo eZdsp

(Modelo TMS320F28335, Texas Instruments, Dallas, Texas 75243 USA), que consta de un Kit de desarrollo, tal y como se muestra en la Fig.2 (Texas Instruments Inc).

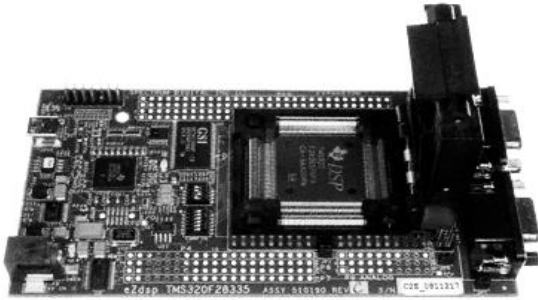


Fig.2. Hardware DSPe ZdSP TMS320F28335

A continuación se describen las características más importantes:

Velocidad operativa: 150 MHz.

512 Kbyte de memoria Flash.

68Kbytes de memoria RAM.

Convertor análogo digital de 12 bits con 16 canales.

64 salidas/entradas de propósito general.

Puertos de expansión.

Conector serial RS-232.

Interface CAN 2.0.

Controlador USB JTAG.

E) Programación del DSP

En la configuración del hardware fue utilizado el software Matlab (Versión 2010b, Mathworks, Massachusetts 01760 USA) para la programación del DSP. A primera instancia se configuró la tarjeta con el software Code Composer Studio Versión V3.3, y a través del Simulink se llevó a cabo el enlace entre el CCS y Matlab, utilizando las librerías para el correcto funcionamiento. Es importante mencionar que en el momento de

63

realizar dichas pruebas se debió comprobar la compatibilidad de cada una de las aplicaciones, puesto que en la actualidad es escasa la documentación sobre este tema. A continuación se mencionan las herramientas necesarias para la aplicación (Miranda 2011; Krishna et al.1996) :

1. Embedded IDE link.
2. Real Time Workshop.
3. Real Time Workshop Embedder Coder.
- 4.Target SupportPackage.

F) Protocolo de adquisición de la señal EMG

El protocolo de adquisición de la señal se realizó teniendo en cuenta el desempeño de la DSP durante el proceso de clasificación de las señales. Es por esto que se debe crear una estandarización al momento de registrar las señales EMG a la tarjeta DSP. Este protocolo consiste en registrar las señales producidas por un musculo específico, el cual el sujeto deberá realizar un movimiento de contracción durante un tiempo determinado y luego deberá relajar dicho musculo, para que de esta forma complete el tiempo de adquisición de la medida.

En la Fig. 3 se ilustra la interfaz, la cual lleva a cabo el protocolo y la adquisición de los datos

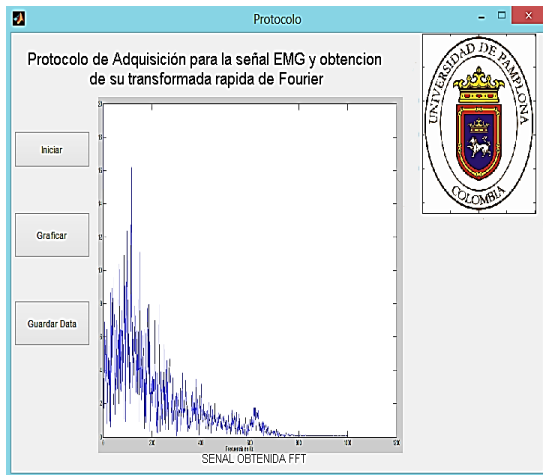


Fig.3. Interfaz gráfica para el protocolo de adquisición

A continuación se expone cada uno de los parámetros a tener en cuenta durante la adquisición de la muestra de cada uno de los sujetos.

Selección del musculo a muestrear:
Bíceps: Brazo izquierdo para cada sujeto.

Edad: Entre 18 años y los 40 años.

Estatura: Entre 1.60 metros - 1.80 metros.

Sexo: Masculino o Femenino.

Tiempo de inicio de la adquisición de la señal: 1 segundo para generar la línea base.

Tiempo de inicio de la contracción muscular: Desde los 2 segundos hasta los 2.5 segundos, para la generación de señal EMG activa.

Tiempo de inicio de relajación y reposo muscular: 1 segundo de línea base de reposo.

Tiempo total de adquisición: 4.5 segundos.

Para el registro de las señales obtenidas se desarrolló una interfaz de

usuario en Matlab, la cual consta de un visualizador gráfico y un conjunto de tres accionamientos los cuales realizan las siguientes funciones:

El accionamiento de inicio pone en marcha la adquisición de los datos y le indica al sujeto el momento en que debe realizar la contracción muscular, y a su vez cuando relajar el musculo. El segundo permite graficar una señal EMG, en el cuadro de visualización de la señal obtenida; y el tercero permite almacenar la información con el nombre específico.

G) Subsistemas

Para la programación de la tarjeta DSP se dispuso de los bloques que se encuentran en el software de desarrollo, para este caso se realizaron dos subsistemas.

En el primer subsistema el bloque ADC fue configurado a una frecuencia de muestreo de 1 KHz, posteriormente la señal fue filtrada por un conjunto de funciones a través de dos bloques que se encargan de procesar la señal y dejarla libre de ruido, y a su vez en el ancho de banda requerido. Los filtros digitales fueron diseñados por la herramienta FDA_Tool, los cuales corresponden a un filtro pasa banda y un filtro Notch (Ver Fig.4). Al finalizar el primer subsistema se almacenó la señal en forma de un vector, utilizando el bloque con la función "Data Store Memory".

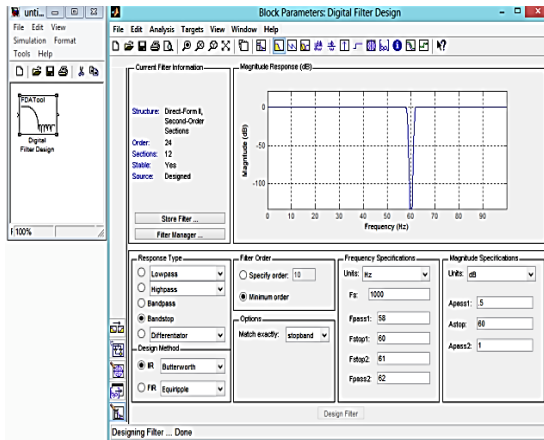


Fig.4. Diseño del Filtro Notch

El segundo subsistema inicia con la lectura de los datos proveniente del bloque “Data Read Memory”, donde posteriormente los datos son tratados con el bloque FFT (Transformada Rápida de Fourier), el cual extrae el espectro en frecuencia y los datos son almacenados a su magnitud absoluta. Debido a las características de la tarjeta DSP, los datos de las medidas adquiridas fueron acotados a un valor de 512 puntos, los cuales llevan el formato apropiado para aplicar posteriormente el modelo de clasificación de la señal.

El modelo de clasificación de las medidas está compuesto de una red neuronal artificial (es decir, perceptron multicapa) previamente entrenada, donde el resultado fue interpretado por un bloque de programación embebida. El resultado fue llevado a cabo por medio de los bloques de salidas digitales GPIO (es decir, para entradas y salidas de propósito general), los cuales envían valores digitales acorde a la medida que se debe clasificar. El sistema total y sus respectivos subsistemas se muestran en la Fig.5.

Cabe mencionar que todo el sistema en general fue compilado a lenguaje máquina, por medio del software Code Composer Studio Versión 3.3, mediante la toolbox Embedded IDE link.

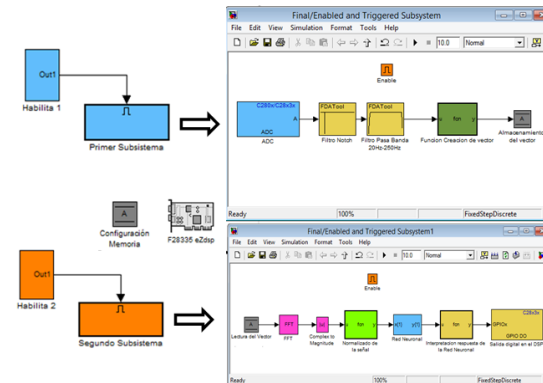


Fig.5. Programación de los bloques en simulink (Subsistemas de programación)

Resultados y Discusión

En la Fig. 6 se observa una de las señales EMG adquiridas, la cual fue obtenida partiendo del protocolo anteriormente mencionado, obteniendo una buena forma de onda característica de la señal EMG, la cual posteriormente fue utilizada para la clasificación por medio del entrenamiento de la red neuronal.

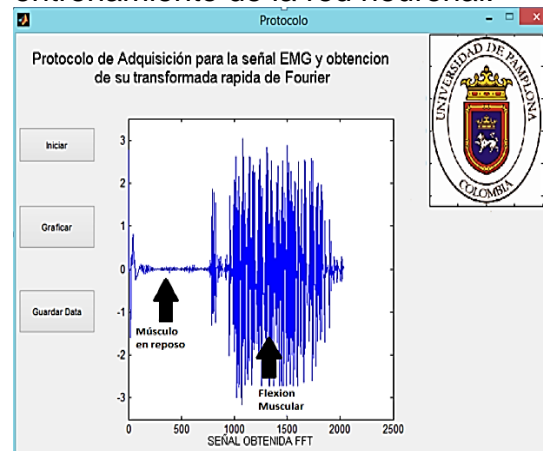


Fig.6. Respuesta de la transformada de

Fourier de la señal EMG

En la Fig.7 se presentan los resultados obtenidos durante la etapa de procesamiento a través del hardware DSP por medio del bloque FFT, donde se busca que las señales EMG adquiridas estén dentro de los rangos normales de frecuencia. En la figura se ilustra que la mayoría de la energía de la señal se encuentra en las frecuencias comprendidas entre 50 Hz y 250 Hz.

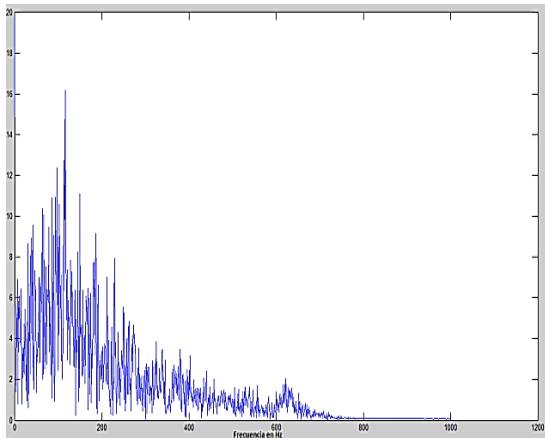


Fig.7. Transformada de Fourier de la señal EMG con el DSP

Con el objetivo de validar los resultados, se implementó el método estadístico PCA (es decir, Principal Component Analysis de Eigenvector, USA) con el fin de determinar si las medidas adquiridas mediante el hardware DSP eran repetitivas y selectivas. El análisis de componentes principales es una técnica estadística de síntesis de la información o reducción de la dimensión del conjunto de datos (es decir, número de variables). Los nuevos componentes

principales o factores son una combinación lineal de las variables originales, y además son independientes entre sí (Kiatpanichagij y Afzulpurkar,2009). Tal y como se dijo anteriormente este análisis permitió conocer que tan repetitivas y selectivas eran las señales que se habían obtenido previamente por medio del protocolo de adquisición, a través del DSP. De esta forma se pudo verificar el correcto funcionamiento del sistema.

El total de medidas evaluadas fueron 30, de las cuales 8 medidas no fueron tenidas en cuenta por motivos de visualización en el gráfico PCA. Es importante aclarar que las 8 medidas no fueron tomadas como “outliers” o medidas erróneas, si no por motivos de presentación. Por lo tanto, mediante las pruebas con PCA solo se generaron los “scores” con un total de 22 medidas.

En la Fig.8 se observa el resultado de la discriminación de medidas, donde cada una de las categorías puede ser claramente diferenciada.

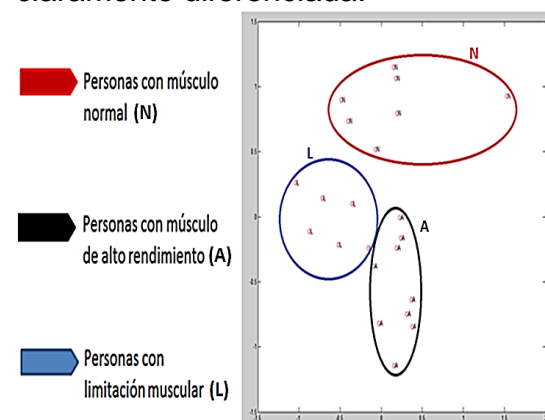


Fig.8. Discriminación de medidas con PCA

67

El proceso de clasificación fue realizado a través de una red neuronal tipo perceptron multicapa, ya que fue la más adecuada para la implementación en el hardware DSP. La red tiene una capa de entrada con cinco neuronas y una neurona en la capa de salida. El número total de épocas de entrenamiento fueron 100, lo cual fue suficiente para la cantidad de datos de entrada o el vector de 500 puntos de la nueva medida. Durante el entrenamiento de la red neuronal MLP se logró obtener un porcentaje de éxito del 100% con un total de 25 medidas (es decir, 5 por cada clase), tal y como se muestra en la Fig.9.

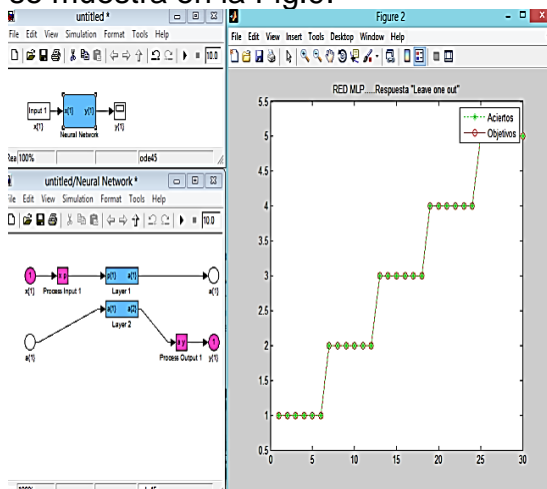


Fig.9. Resultado de entrenamiento de la red neuronal

En la Fig.10 se ilustra el sistema de clasificación de señales EMG a partir de los grupos de sujetos previamente definidos, donde primero se realizó el entrenamiento “off-line”, y luego los pesos de la red neuronal junto con el resto de algoritmos de pre-procesado fueron implementados dentro de la DSP, para posteriormente realizar la

etapa de clasificación de medidas en forma “on-line”.

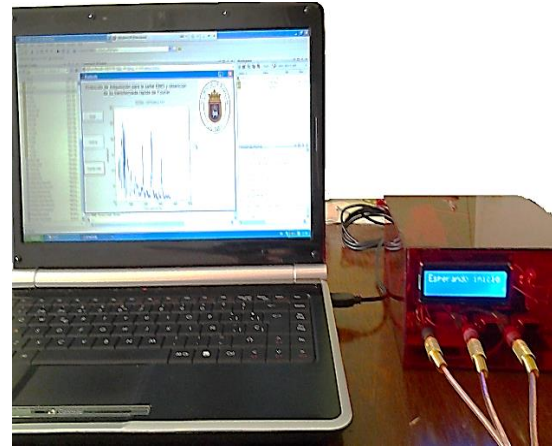


Fig.10. Sistema general para la adquisición y clasificación de las señales Electromiográficas

Conclusiones

Durante la investigación llevada a cabo para la realización de este estudio, se describe un sistema basado en una tarjeta DSP para la clasificación de señales EMG por medio de inteligencia artificial (es decir, redes neuronales).

La tarjeta TMS320F28335 acoplada al software Matlab fue una buena opción para implementar algoritmos en forma embebida, los cuales pueden dar resultados en tiempo real para diferentes aplicaciones (Ej. Automatización Industrial, sector salud, etc).Las pruebas de validación realizadas a los datos adquiridos por medio del análisis de componentes principales PCA, permitió determinar la selectividad y repetitividad del sistema en general, aportando a su vez resultados importantes al momento de analizar cada uno de los



68

grupos de clasificación.

La clasificación mediante redes neuronales realizada en este estudio fue significativa, al considerar que es aún escasa la aplicabilidad de estos algoritmos en este tipo de tarjeta. Por lo que con una programación que no se basa directamente en código C sino en una programación basada en bloques con funciones especiales, es posible desarrollar diferentes aplicaciones donde se requiera gran velocidad de procesamiento y respuesta inmediata.

El sistema EGM a través del hardware DSP mejoró el grado de portabilidad del sistema, ya que una vez realizado el entrenamiento no fue necesario utilizar un PC para la realización de las pruebas de campo. Esto hace que el sistema sea más flexible al usuario, menos costos e incrementa la versatilidad en el momento de realizar las medidas.

Este sistema integrado EMG puede ser una alternativa para ser aplicado a otro tipo de señales, tales como señales multisensoriales, ECG o EEG y donde se requiera un sistema de clasificación a través de algoritmos avanzados de procesamiento.

Sería de gran utilidad explorar otros métodos de clasificación, tales como otro tipo de redes neuronales artificiales o clasificadores (por ejemplo, la red PPN (Probabilistic Neural Network) o SVM (Support vector Machine), con el fin de optimizar el sistema basado en tecnología DSP y mejorar la tasa de acierto en la clasificación de diferentes tipos de señales.

Tal y como se mencionó anteriormente, esta metodología abre un gran abanico de posibilidades para ser en diferentes sectores (es decir, sector Industrial, la salud, etc), sobre todo, como un sistema de clasificación de señales en forma embebida.

Agradecimientos

Los integrantes del artículo agradecen a la Universidad de Pamplona y la Convocatoria 50 años, por los recursos dados para la realización del proyecto del sistema integrado EMG con DSP.

Referencias Bibliográficas

Christova P, Kossev A, Kristev I, Chichov V. 1999. Surface EMG recorded by branched electrodes during sustained muscle. J of Electro and Kinesiology. 9(4) :263-276.

Dorado L, Ortega A, Bolaños G, Casas J. 2006. Acquisition and Monitoring System of the Electrical Signals Generated in Cerebral Activity. Rev Col de Física. 38(3):1299-1302.

Kiatpanichagij K y Afzulpurkar N. 2009. Use of supervised discretization with PCA in wavelet packet transformation based surface electromyogram classification. Bio Sig Processing and Control. 4(2):127-138..

Krishna GV, Srinivasan S, Patil KM. 1996. A New DSP-Based Multichannel EMG Acquisition and Analysis System. Comp and Biomedical Research. 29(5):395-406.



69

Li Z.2010. Application of digital signal processor in EMG-based human machine interface. IEEE Control Conference (CCC)., Chinese Beijing :2788 – 2791

Zhao L.2010.A Design of Surface EMG Signal Detector Based on DSP. IEEE Electrical and Control Engineering (ICECE)., Wuhan: 4863 – 4866.

Liu YH.2007.Recognition of Electromyographic Signals Using Cascaded Kernel Learning Machine. Mechatronics.12(3):253 – 264.

Merletti R y Parker P.2004. Electromyography: Physiology Engineering, and Noninvasive Applications., John Wiley & Sons.

Miranda CB.2011.Programación de DSP a través de Herramientas disponibles en Matlab 7.0/Simulink.Tesis de grado, Universidad De Magallanes, Facultad De Ingeniería, Departamento de Electricidad. Chile. .

Nan CJ, Tao YY,Chen LM, Li Y.2012.The Development of a Portable ECG Monitor Based on DSP”, Physics Procedia.33:765-774.

Subasi A.2012.Classification of EMG signals using combined features and soft computing techniques. Applied Soft Computing.12(8):2188-2198.

Zakaria F.2012.Heart rate variability (HRV) analysis using DSP for the detection of myocardial infarction”, IEEE Advances in Computational Tools for Engineering Applications (ACTEA)., Beirut.:15–19..