



Seguimiento 3: Análisis en sistemas embebidos.

Bioseñales
Bioingeniería
Medellín, Antioquia

Daniel Soto
daniel.sotod@udea.edu.co

Melissa Cadavid
melissa.cadavid2@udea.edu.co

Diego Florez
diego.florez@udea.edu.co

INFORME DE FUNCIONAMIENTO: SISTEMA DE DETECCIÓN DE MOVIMIENTO MUSCULAR

I. Introducción

La electromiografía (EMG) se ha convertido en una herramienta importante en el campo de la ingeniería biomédica, comprender cómo se genera la señal EMG, los métodos para adquirirla, acondicionarla y procesarla, es fundamental para diferentes estudios e investigaciones .

En este trabajo, nos enfocaremos en desarrollar un sistema de adquisición, acondicionamiento y procesamiento de señales EMG en un microcontrolador embebido, optimizando los recursos disponibles. Se implementará un programa de rutinas en el microcontrolador y el diseño de estrategias de filtrado que se puedan implementar eficientemente en un entorno embebido.

El sistema fue diseñado para capturar y caracterizar gestos musculares, específicamente la flexión y la extensión, y se sometió a pruebas exhaustivas en dos sujetos diferentes. Este proyecto está orientado a realizar la adquisición, acondicionamiento y procesamiento de la señal en un sistema embebido al menor costo posible buscando detectar siempre el movimiento de flexión / extensión.

II. Metodología

- Sujetos: Se reclutaron dos sujetos diferentes para participar en el estudio.
- Procedimiento: Cada sujeto realizó 20 ensayos de flexión y extensión muscular, alternando entre ambos gestos en cada ensayo. Los gestos se realizaron de manera controlada y en condiciones estáticas para garantizar la precisión de las mediciones.
- Captura de Datos: Se utilizó el sistema de detección de movimiento muscular con electrodos para registrar y analizar las señales musculares durante cada ensayo.
- Selección del umbral para caracterizar gestos: Se aplicó un filtro IIR pasa altas a 10 señales EMG correspondientes a 10 sujetos. Esto, teniendo en cuenta que el microcontrolador aplica un filtro pasabajos de 40 Hz a las señales recibidas, por lo tanto se obtendría finalmente un

filtro pasa bandas. Este proceso se explica con mayor detalle en el diagrama de flujo de la Figura 1.

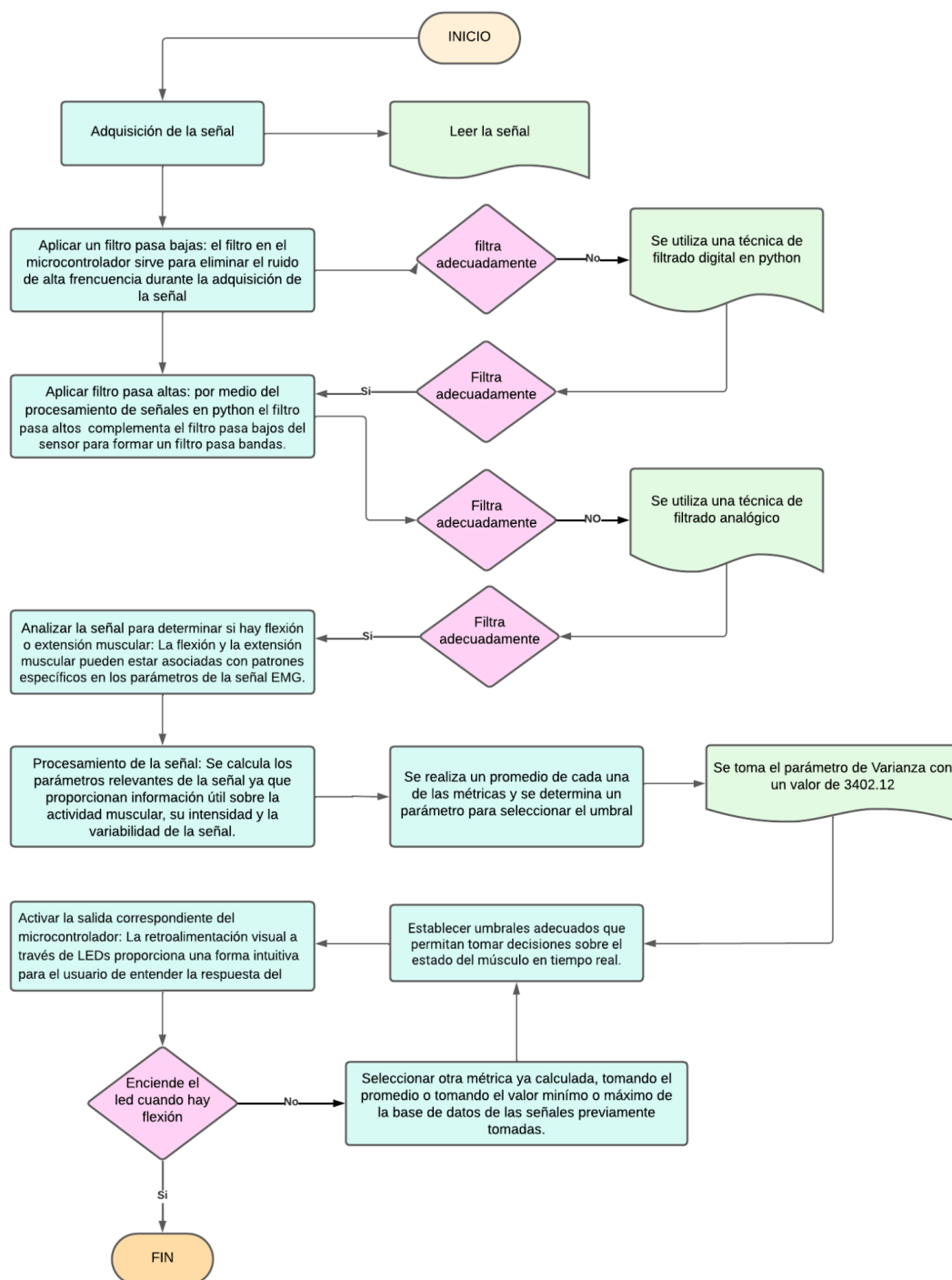


Figura 1. Diagrama de flujo del procesamiento de la señal.

III. Microcontroladores

Tabla 1. Comparación entre microcontroladores [1].

Microcontrolador	Capacidad de memoria	Velocidad de procesamiento	Costo
Microcontrolador PIC Microchip MX270F256DIPT	Memoria Flash de 256 KB para el programa, una memoria RAM de 64 KB	una velocidad de reloj máxima de 50 MHz.	\$38,430
Microcontrolador F684IP	La Memoria de programa Flash 3.5KB Memoria RAM 128 bytes	Velocidad de la CPU 5 MIPS	\$13,840
Microcontrolador PIC F688ISL	La Memoria de programa Flash 7KB Memoria RAM 256 bytes	Velocidad de la CPU 5 MIPS	\$40.000
Microcontrolador PIC18F452	Memoria de programa Flash 32 KB Memoria RAM 1536 bytes	Velocidad de la CPU 10 MIPS	20,918
Microcontrolador PIC 32MX220F032B-I/SP	Memoria de programa Flash 32 KB Memoria RAM 8 KB	Con máxima velocidad de 50MHz	\$ 14.627
Microcontrolador PIC 12F683-I/P	Memoria de programa Flash es 3.5KB Memoria RAM es 128 bytes	Velocidad de la CPU es 5 MIPS Máxima frecuencia de reloj hasta 20MHz	\$ 10.606
Microcontrolador PIC16F690 Encapsulado DIP F690IP	La Memoria de programa Flash 7KB Memoria RAM 256 bytes	Velocidad de la CPU 5 MIPS	\$18,750

Microcontrolador PIC 16F688	Memoria de programa Flash 7 KB Memoria RAM 256 bytes	Velocidad de la CPU 5 MIPS	\$17,980
Microcontrolador PIC12F675	La Memoria de programa Flash 1.75 KB Memoria RAM 64 bytes	Velocidad de la CPU 5 MIPS	\$19,830
Microcontrolador PIC16F676	Memoria de programa Flash 1.75 KB Memoria RAM 64 bytes	Velocidad de la CPU 5 MIPS	\$5,940
Microcontrolador PIC 18F258	Memoria de programa Flash 32 KB Memoria RAM 1536 bytes	Velocidad de la CPU 10 MIPS	\$ 45.000,
Microcontrolador PIC 18F252	Memoria de programa Flash 32 KB Memoria RAM 1536 bytes	Velocidad de la CPU 10 MIPS	\$35.788
Microcontrolador PIC12F629	Memoria de programa Flash 1.75 KB Memoria RAM 64 bytes	Velocidad de la CPU 5 MIPS	\$ 7.087
Microcontrolador PIC16F886	Memoria de programa Flash 14 KB Memoria RAM 368 bytes	Velocidad de la CPU 5 MIPS	\$ 16.587
Microcontrolador PIC12F617	Memoria de programa Flash 3.5 KB Memoria RAM 128 bytes	Velocidad de la CPU 5 MIPS	\$20,000
Microcontrolador PIC 16F1787	Memoria de programa Flash 14 KB Memoria RAM 1024	Velocidad de la CPU 8 MIPS	\$ 14.677

	bytes		
Microcontrolador PIC16F887	Memoria de programa Flash 14 KB Memoria RAM 368 bytes	Velocidad de la CPU 5 MIPS	\$27,810
Microcontrolador PIC 18F4620-I/P	Memoria de programa Flash es 64 KB Memoria RAM es 3968 bytes	Velocidad de la CPU es 10 MIPS	\$ 40.563
Microcontrolador PIC 18F4550-I/PT	Memoria de programa Flash es 32 KB Memoria RAM es 2048 bytes	Velocidad de la CPU es 12 MIPS	\$83,300
Microcontrolador dsPIC30F4013	Memoria de programa Flash 48 KB Memoria RAM 2048 bytes	Velocidad de la CPU 30 MIPS	\$67,800

En la tabla 1, se puede observar la comparación entre distintos microcontroladores, la cual expone su nombre, la memoria Flash que indica el almacenamiento del programa que ejecuta el microcontrolador, por otro lado la memoria RAM se utiliza para almacenar datos temporales y variables durante la ejecución del programa en tiempo real. Por otro lado se puede ver una velocidad de reloj máxima y una velocidad CPU en MIPS, la velocidad de reloj máxima nos indica la frecuencia máxima a la que opera el microcontrolador. Cuanto mayor sea la velocidad de reloj, mayor será la capacidad del microcontrolador para procesar datos en un período de tiempo determinado, mientras que los MIPS indican los millones de instrucciones por segundo que puede procesar el microprocesador.

Al elegir un microcontrolador, es crucial considerar el tipo de señal que se desea adquirir. En este caso, se busca obtener señales EMG, lo que implica tener en cuenta la capacidad de memoria para almacenar los datos necesarios para capturar los movimientos de flexión y extensión del codo, así como para almacenar el programa necesario para la adquisición, filtrado y control del LED. Aunque la velocidad del CPU no necesita ser extremadamente alta para este tipo de procesamiento, es importante tener una respuesta del sistema que sea rápida y eficiente. Operaciones como el filtrado de la señal y la detección de características como el RMS, varianza y longitud de onda no requieren un procesamiento intensivo y pueden ser manejadas por microcontroladores con velocidades de CPU más moderadas, como aquellos con 5 MIPS.

Por lo tanto, un microcontrolador adecuado para este proyecto sería aquel que cuente con al menos 5 MIPS de velocidad de CPU, junto con una memoria de 128 bytes y una memoria de programa

Flash de 14 KB.

IV. Resultados

Sujeto 1

Flexión Muscular:

- Número de Detecciones Correctas: 19/20
- Porcentaje de Precisión: 95%

Extensión Muscular:

- Número de Detecciones Correctas: 20/20
- Porcentaje de Precisión: 20/20

Se determinó un porcentaje de error para el sujeto 1 del 5% calculado mediante la ecuación 1.

$$\frac{\text{Valor Teórico} - \text{Valor Experimental}}{\text{Valor Teórico}} \times 100\%$$

Sujeto 2

Flexión Muscular:

- Número de Detecciones Correctas: 20/20
- Porcentaje de Precisión: 100%

Extensión Muscular:

- Número de Detecciones Correctas: 20/20
- Porcentaje de Precisión: 100%

Se determinó un porcentaje de error para el sujeto 2 del 0% calculado mediante la ecuación 1. Obteniendo así, un porcentaje de error global del 2.5%.

V. Discusión

Los resultados muestran una alta tasa de detección correcta para ambos movimientos musculares en la mayoría de los ensayos. Se observa una variabilidad entre los sujetos en cuanto a la precisión de la detección, lo que podría atribuirse a diferencias individuales en la anatomía y la contracción muscular. La precisión general del sistema demuestra su capacidad para identificar con fiabilidad los gestos musculares específicos de flexión y extensión en condiciones controladas.

Al aplicar un filtro IIR a las 10 señales EMG iniciales, se redujo significativamente el ruido y las interferencias en las señales musculares. La implementación del filtro IIR pasa altas permitió mejorar la calidad de las señales musculares, proporcionando una base más sólida para la detección

precisa de gestos, con una clara distinción entre la flexión y la extensión en la mayoría de los ensayos. La combinación de filtros pasa altas y pasa bajas en un filtro pasabandas demostró ser efectiva para eliminar el ruido no deseado y resaltar las características relevantes de las señales musculares.

Al emplear un orden de filtro bajo ($N=4$), se observó una significativa reducción del ruido en las señales musculares. Además, su implementación mejoró la capacidad del sistema para distinguir entre la flexión y la extensión muscular, es decir, una mayor precisión y consistencia en la detección de los gestos. El filtro de orden 4 proporcionó una mayor estabilidad y robustez al sistema, minimizando las variaciones no deseadas en las mediciones y asegurando resultados más coherentes. Esto se debe a que al emplear un orden del filtro bajo, se tiene menor distorsión, una banda de transición más ancha y una mayor atenuación. En el caso que se use un filtro con un orden alto y por ende con pendiente más pronunciada, se podría separar mejor el ruido de la señal pero introduciría un mayor desfase, lo cual no resultaría beneficioso [2].

VI. Conclusiones

- La combinación de filtros pasa altas y pasa bajas en un filtro pasabandas demostró ser eficaz para eliminar el ruido no deseado y resaltar las características relevantes de las señales musculares, lo que facilitó la distinción entre la flexión y la extensión en la mayoría de los ensayos.
- Un orden de filtro pequeño proporciona una mayor estabilidad y robustez al sistema, minimizando las variaciones no deseadas en las mediciones y asegurando resultados más coherentes. Este resultado se debe a las características del filtro de orden bajo, que incluyen una banda de transición más amplia, menor distorsión y una atenuación adecuada.
- En cuanto a los microcontroladores se puede observar que en general todos pueden ser adaptables al proyecto debido a que en la adquisición de señales de EMG y el procesamiento aplicado a las señales no requiere de mucha memoria, ni una velocidad extremadamente alta, por lo tanto, se considera que en el caso de este proyecto un microcontrolador con una velocidad de 5 MIPS, memoria de programa Flash 7KB y una memoria RAM 128 bytes.
- El sistema de detección de movimiento muscular demostró ser efectivo en la identificación y caracterización de los gestos de flexión y extensión en sujetos humanos. Si bien se observó cierta variabilidad entre los sujetos, los resultados generales respaldan la viabilidad y la precisión del sistema para una variedad de aplicaciones prácticas.

VII. Recomendaciones

- Se recomienda realizar ajustes adicionales en los parámetros del filtro, como la frecuencia de corte y la ganancia, para optimizar su desempeño en diferentes condiciones y para diferentes tipos de gestos musculares. Esto podría mejorar aún más la precisión y la eficacia del sistema.
- Para evaluar la robustez del sistema en situaciones más realistas, se sugiere realizar pruebas en entornos dinámicos donde los sujetos puedan realizar gestos musculares durante el

movimiento y con un mayor número de sujetos. Esto ayudaría a validar la efectividad del sistema en condiciones más desafiantes.

- Se recomienda realizar estudios clínicos adicionales para validar la precisión y la fiabilidad del sistema en entornos clínicos y en comparación con otras técnicas de detección de gestos musculares. Esto proporciona una validación adicional de la utilidad y la eficacia del sistema en aplicaciones médicas y de rehabilitación.
- Se sugiere explorar la integración de técnicas de machine learning para mejorar la capacidad del sistema para reconocer y clasificar una amplia gama de gestos musculares. El entrenamiento de algoritmos de machine learning con datos recopilados podría mejorar la capacidad del sistema para adaptarse a diferentes usuarios y contextos.
- Para aumentar la usabilidad y la aceptación del sistema, se recomienda mejorar la interfaz de usuario para que sea más intuitiva y fácil de usar. Esto podría incluir la implementación de retroalimentación visual o auditiva para proporcionar información en tiempo real sobre los gestos musculares detectados. Finalmente, se recomienda continuar investigando y desarrollando nuevas técnicas y tecnologías para mejorar la detección de movimiento muscular. El campo de la biomecánica y la interfaz persona-computadora está en constante evolución, y la investigación continua es fundamental para mantenerse al día con los avances y las tendencias emergentes.

-

REFERENCIAS

[1] SUMINISTROS Y CONTROLES ELECTRONICOS S A. (2024, 5 mayo). *Suconel Tienda de Electrónica - Suconel | Tienda electrónica | Colombia*. Suconel | Tienda Electrónica | Colombia. <https://suconel.com/>

[2] Ochoa, J. F. (s. f.). *Filtros* [Vídeo]. https://udeaeduc-my.sharepoint.com/personal/fjose_campuzano_udea_edu_co/_layouts/15/stream.aspx?id=%2Fpersonal%2Ffjose%5Fcampuzano%5Fudea%5Fedu%5Fco%2FDocuments%2FC%C3%A1tedra%2FBiose%C3%B1ales%2FAula%20Semilla%2FVideos%20Aula%20Semilla%2FFiltros%2FFiltros%2Emp4&nav=eyJyZWZlcnJhbEluZm8iOmsicmVmZXJyYWxBcHAiOiJPbmVEcmI2ZUZvckJlc2luZXNzIiwicmVmZXJyYWxBcHBQbGF0Zm9ybSI6IldlYiIsInJlZmVycmFsTW9kZSI6InZpZXciLCJyZWZlcnJhbFZpZXciOiJNeUZpbGVzTGlua0NvcHkifX0&referrer=StreamWebApp%2EWeb&referrerScenario=AddressBarCopied%2Eview%2Efb439fb1%2D2d56%2D461b%2D9829%2D634bbae5afd7&or=teams&ga=1