

Diseño de una Prótesis de Dos Grados de Libertad para Miembro Superior Humano Utilizando Sensores Mioeléctricos y Control Difuso

Celso Aram Lucero Ramírez¹, Dr. David Luviano Cruz²,
Mc. Diana Yaziel Ortiz Muñoz³, Francesco José García Luna⁴, Luz Angélica García Villalba⁵,

Resumen—La pérdida de un miembro superior humano a causa de sufrir un accidente laboral o automovilístico puede ser un gran obstáculo en la vida diaria. Por lo tanto, el desarrollo de prótesis de extremidades superiores ha sido una necesidad importante en la medicina. La prótesis de dos grados de libertad para el miembro superior humano es una tecnología emergente que utiliza sensores mioeléctricos y control difuso para mejorar la calidad de vida de las personas amputadas. La prótesis permite un control preciso y eficiente del movimiento de la extremidad mediante la detección de señales eléctricas producidas por los músculos del usuario y la aplicación de técnicas de control difuso para interpretar esas señales y convertirlas en movimientos de la prótesis. El proyecto describe los pasos necesarios para diseñar una prótesis de dos grados de libertad utilizando sensores mioeléctricos y control difuso con el objetivo de proporcionar a los pacientes amputados una herramienta eficaz y confiable para la realización de actividades cotidianas.

Palabras clave—Sensores EMG, Control difuso, Prótesis, Mioeléctrica.

Introducción

Las prótesis de dos grados de libertad para miembro superior humano son dispositivos que permiten a las personas con amputaciones recuperar la capacidad de realizar actividades cotidianas. Estas prótesis utilizan sensores mioeléctricos para detectar señales eléctricas generadas por los músculos del cuerpo y control difuso para traducir esas señales en movimientos de posición. Este enfoque innovador aprovecha la tecnología moderna para mejorar la calidad de vida de las personas con amputaciones, proporcionando una solución más eficaz y natural para reemplazar las funciones de una extremidad perdida.

Metodología

Procedimiento

En este proyecto se realizó una prótesis de dos grados de libertad para miembro superior humano utilizando sensores mioeléctricos y control difuso. El objetivo fue Diseñar un algoritmo utilizando sensores mioeléctricos y un control difuso para el control de una prótesis de miembro superior humano.

Se utilizó un código creado para la obtención de los datos, este código es un programa de Arduino que utiliza un sensor de electromiografía (EMG) para obtener las lecturas eléctricas del brazo. Definiendo los pines del sensor EMG. Luego, se aplicó un filtro pasa banda y una amplificación a la señal del sensor EMG para reducir el ruido y mejorar la precisión.

Se extrajeron las señales eléctricas generadas por las contracciones musculares de un brazo sano para controlar estas señales a través de un controlador difuso el cual traducirá las señales mioeléctricas en movimientos de posición para la prótesis. El controlador difuso funciona gracias a 7 reglas difusas:

1. Si E es PL, entonces CONTROL es PL
2. Si E es NL, CONTROL es NL
3. Si, E es Z y DE es N, entonces CONTROL es NM
4. Si E es Z y DE es P, entonces CONTROL es PM
5. Si E es Z, entonces CONTROL es Z
6. Si E es NM, entonces CONTROL es NM
7. Si E es PM, CONTROL es PM.

¹ Celso Aram Lucero Ramírez es Alumno próximo a egresar de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México. Aram_12.5@hotmail.com (autor correspondiente)

² El Dr. David Luviano Cruz es Profesor de Ingeniería Mecatronica en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México. david.luviano@uacj.mx

³ La Mc. Diana Yaziel Ortiz Muñoz es Maestra en Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México. diana.ortiz@uacj.mx

⁴ El. Ing. José Francesco García Luna es Profesor en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México. francesco.garcia@uacj.mx

⁵ La Ing. Luz Angélica Villalba García es Profesora Investigadora en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México. lugarcia@uacj.mx

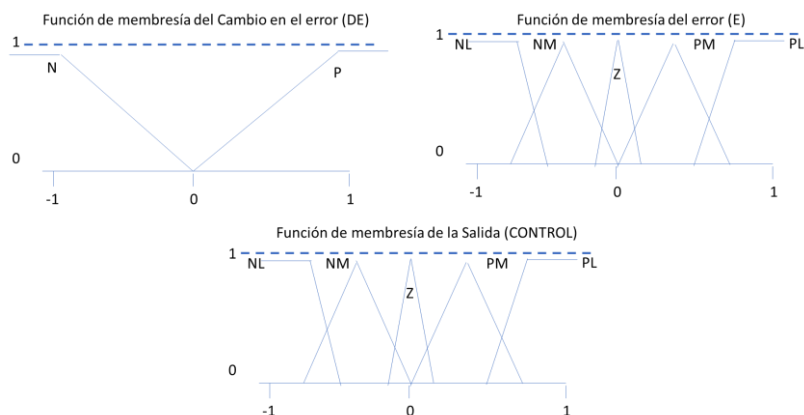


Figura 1. Diseño de las funciones de membresía del controlador difuso.

Para el error (E) como entrada y el control como salida, aquí NL significa Negativo Grande, NM significa negativo medio, Z significa cero, PM significa positivo medio y PL significa positivo grande. Para el error delta (DE) como entrada, aquí N significa negativo y P significa positivo. Las funciones de membresía para los dos parámetros de entrada y el parámetro de salida se muestran en la Fig.1

La prótesis se diseñó por medio de un simulador 3D en el cual se simulará la orientación y posición de una articulación dada por las señales mioeléctricas extraídas. Las limitaciones de este proyecto son que la prótesis solo podrá realizar el movimiento de flexión y extensión debido a que incluir más movimientos haría que el sistema fuera más complejo, lo que requeriría un algoritmo diferente para calcular las posiciones de la prótesis.

Cabe destacar que, aunque la prótesis solo puede realizar el movimiento de flexión y extensión, este proyecto sienta las bases para futuras investigaciones y desarrollos en prótesis de miembro superior humano utilizando sensores mioeléctricos y control difuso.

Referencias bibliográficas

Los autores del trabajo (control-una-prótesis-mioeléctrica-de-brazo-por-medio-de-lógica-difusa) implementan un algoritmo difuso con reglas si y Entonces, para distinguir y clasificar por etapas los movimientos del miembro superior humano en el cual se está hablando de una muñeca, por otro lado (Marcela & Zuleta) investigaron un algoritmo de clasificación basado en señales EMG de superficie de alto rendimiento basado en lógica difusa para prótesis multifuncionales de miembros superiores. Los autores (Andrés, Pinzon, & Mendoza) Hablan sobre una implementación, de una prótesis para control de mano en base a la descripción de los ángulos de la mano, dedos y muñeca, por medio de señales EMG del antebrazo. Los autores (Arduino-based embedded system for myoelectric hand prostheses, 2020) desarrollo un sistema mioeléctrico de bajo costo por medio del programa Arduino, implementándose dos algoritmos de control, un controlador directo y un controlador abstracto Con el objetivo de maximizar su disponibilidad en diferentes proyectos.

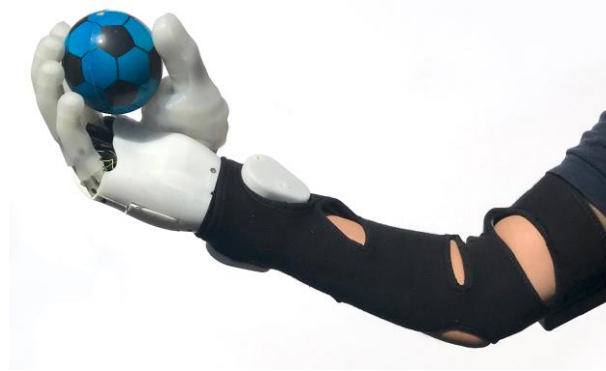


Figura 2. Diseño de una prótesis.

Resultados

Durante la simulación del sistema se pudo observar algunas variaciones esto debido a las diferentes exposiciones tanto del ruido como del mismo sistema lo que provocaba un aumento en las lecturas de los sensores provocando que el control se volviera más robusto y tardara más tiempo en llegar a estabilizar el sistema, los valores obtenidos en la salida del sistema mostraban ser precisos puesto que uno de los principales objetivos era el controlar el movimiento de una articulación por medio de las señales EMG. Cabe resaltar que solamente se logró controlar una articulación debido a la complejidad del sistema, la articulación expuesta mostro un cambio en su posición inicial (0 grados) a una nueva trayectoria y posición de 50 grados provocando que ahora la orientación y posición de la prótesis cambiara de lugar, pero dentro del mismo marco de trabajo. El controlador difuso se encargó de estabilizar el sistema en base al error y el cambio en el error en el que se estaba produciendo, permitiendo que la salida del sistema alcanzara un valor muy cercano al valor deseado de 50 grados.

Además, el proceso que sigue la señal de referencia hasta la transformación de la señal de radianes a una señal angular fue muy variante esto debido a que los sensores EMG detectaban una lectura por segundo por lo que el controlador buscaba estabilizar el sistema de acuerdo con la señal de referencia leída por segundo. Posteriormente la visualización de la prótesis por medio de simscape multibody pudo facilitar la interpretación del sistema ya que al obtener una lectura y después de pasar por la transformación a ángulo podíamos a preciar la trayectoria por la que la articulación tendría que moverse desde su posición inicial.

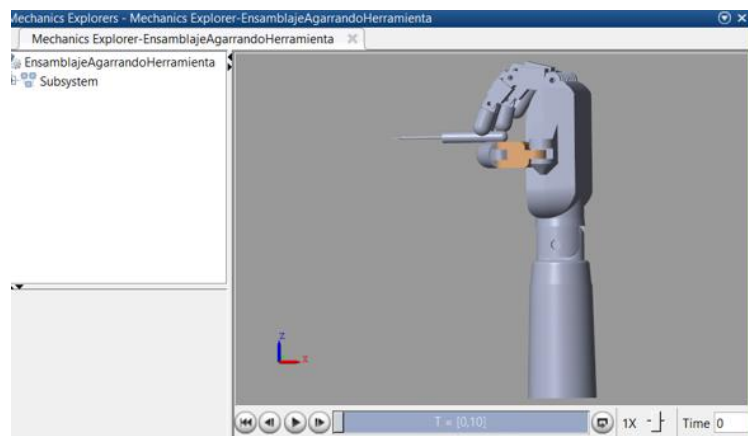


Figura 3. Simulación de la prótesis exportada a través de simscape multibody.

Es importante destacar que la estabilización del sistema se logra gracias al controlador difuso, que toma en cuenta tanto el error como la variación del error para generar la señal de control necesaria para ajustar el ángulo del servomotor. Esta técnica de control difuso es muy útil en sistemas en los que las condiciones de operación pueden variar y no se dispone de un modelo matemático preciso del sistema. En el caso específico de esta simulación, se

logró estabilizar el ángulo del servomotor en un valor muy cercano al valor deseado, lo que demuestra la efectividad del controlador difuso implementado.

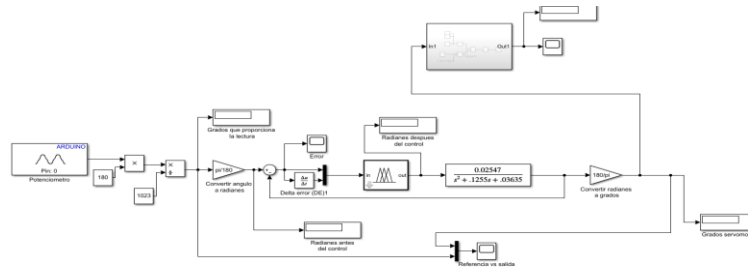


Figura 4. Diagrama de bloques creado en simulink.

Análisis

Se describe la simulación de un sistema de control difuso en un modelo de Simulink, donde se utiliza una señal de referencia para controlar un servomotor. En la figura 4 El controlador difuso se encarga de estabilizar el sistema en base al error y el cambio en el error que se está produciendo, permitiendo que la salida del sistema alcance un valor muy cercano al valor deseado en grados. Además, se menciona el proceso que sigue la señal de referencia hasta la transformación de la señal de radianes a una señal angular que se envía al osciloscopio para visualizar la referencia y la salida del sistema. Finalmente, se muestra la gráfica del error del sistema, donde se puede observar cómo el sistema disminuye el error después de la entrada para acercarse lo más posible a cero.

Se utilizó un sistema de control difuso para interpretar las señales eléctricas generadas por los músculos del usuario y convertirlas en movimientos de la prótesis. Para ello, se utilizó un diagrama de bloques en el que se lee la lectura de los sensores y se convierte la señal de voltaje a angular, para luego multiplicarla por $\pi/180$ y obtener la señal en radianes. Esta señal se utiliza para calcular el error entre la referencia y la salida del sistema, y se obtiene otra señal de radianes que entra a la planta del servomotor. Finalmente, la señal se transformó de nuevo a una señal angular y se envió a la salida del sistema, que controla la posición de la prótesis. Todo esto se realizó utilizando el software SimScape Multibody, que permite ajustar parámetros como el torque, el ángulo, la posición y la orientación de la prótesis mediante matrices de rotación creadas a partir de las juntas y eslabones de la prótesis. Cabe resaltar que las funciones dentro de este software son de gran ayuda, dentro de los aspectos de la articulación y juntas creadas se pudo configurar los parámetros de torque, posición, orientación, entrada e incluso el número de actuadores y sensores que requiera el sistema, para este caso en particular se modificó el parámetro de torque y de posición, el primero para brindarle la forma de controlar el ángulo de rotación de la articulación seleccionada por medio de sus matrices homogéneas ya antes calculadas automáticamente por el software, con esto se puede ajustar y configurar el parámetro deseado para una mejor representación de la prótesis, ya que lo que hace es calcular por medio del vector de torque la traslación con respecto al punto de coordenadas deseado. Y el segundo se utilizó para configurar la orientación a un marco de referencia inicial (0).

Conclusiones

Los resultados obtenidos de esta investigación nos arrojan varios puntos importantes como es el hecho de que el sistema implementado para el control de los movimientos de la prótesis puede variar según la colocación de los electrodos debido a la diferente lectura eléctrica que tiene cada brazo humano por ello se debe de trabajar en la parte de programación del algoritmo para poder establecer un estándar para todos aquellos que necesiten probar y obtener señales eléctricas emitidas por los músculos, otra recomendación sería el hecho de usar algún tipo de convertidor y amplificador de señales electromiográficas para ahorrar alguno de los pasos utilizados en esta investigación como fue el hecho de amplificar y filtrar la señal EMG. Cabe mencionar que el resultado de la simulación es algo complejo de explicar debido a que en un punto, ciertos cálculos eran demasiado pequeños para el sistema lo que ocasionaba que la simulación no representara los cálculos debido a la complejidad.

Por otro lado esta investigación proporciona una gran utilidad para todos aquellos que lleven el estudio y el deseo de entender cómo funciona la electromiografía, los sistemas mecatronicos aplicados en la vida cotidiana y los sistemas de control para sistemas complejos. También da otra alternativa para resolver el planteamiento del problema de la investigación el cual es satisfacer la escasez de prótesis en el país debido a la pérdida de miembros superiores causada por accidentes laborales o automovilísticos.

Limitaciones

Hubo ciertas limitaciones importantes que es necesario mencionar. En primer lugar, la prótesis que se desarrolló solo permitió dos movimientos: flexión y extensión. Además, la prótesis está dirigida exclusivamente a personas que han perdido o amputado un antebrazo y mano humana, lo que limita su público objetivo. El control de la prótesis dependerá de la colocación de los sensores, lo que significa que puede haber problemas si no se colocan correctamente. Por último, es importante destacar que el diseño de la prótesis se implementará solo de forma simulada y aún no se ha creado un prototipo físico, por lo que su rendimiento no ha sido evaluado en un entorno real. Es importante tener en cuenta estas limitaciones para entender las capacidades y limitaciones de la prótesis en desarrollo.

Recomendaciones

Las recomendaciones a futuro mencionadas son muy importantes para mejorar la efectividad de la prótesis y su adaptación a las necesidades de las personas. Una de las recomendaciones es la realización de pruebas en situaciones reales utilizando una prótesis diseñada y la implementación de un método para representar los resultados de manera más eficiente. El uso de un amplificador de señal físico podría mejorar la precisión y el filtrado de las señales EMG. También se sugiere utilizar más herramientas y accesorios para mejorar el diseño del circuito. Además, se menciona que el sistema de control y el algoritmo pueden ser modificados para aumentar la eficiencia de la prótesis. Otro método que podría utilizarse para amplificar y filtrar las señales EMG es el método de la suma cuadrática de promedios. Estas recomendaciones son valiosas para mejorar la funcionalidad de la prótesis y proporcionar una mejor calidad de vida a las personas que la necesitan.

I. REFERENCIAS

- Andrés, J., Pinzon, G., & Mendoza, L. (s.f.). *ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE SEÑALES EMG PARA CONTROLAR MOVIMIENTO DE UN BRAZO HIDRAULICO ACQUISITION AND SIGNAL PROCESSING EMG TO CONTROL MOVEMENT OF A HYDRAULIC ARM*.
- Bozhenyuk, A., Bozheniuk, V., & Khamidulina, A. (s.f.). *Modeling of a Motion of Hand Prosthesis Based on the Fuzzy Deductive Inference Scheme*.
- (s.f.). *COMUNICADO DE PRENSA NÚM. 653/21 22 DE NOVIEMBRE DE 2021 PÁGINA 2/2*.
- Eduardo Espitia Cuchango, H., Cristina Morales Laguado, L., & Soriano Méndez, J. (s.f.). *DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN CONTROLADOR DIFUSO PARA UN MOTOR DC BASADO EN RELACIONES BOOLEANAS DESIGN AND SIMULATION OF A FUZZY CONTROLLER FOR A DC MOTOR BASED ON BOOLEAN RELATIONS* Palabras clave.
- IEEE Computational Intelligence Society, & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (s.f.). *Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Fuzzy Systems : July 6-11, 2014, Beijing, China*.
- IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society 35 2013.07.03-07 Osaka, EMBC 35 2013.07.03-07 Osaka, & EMBS Annual Conference 35 2013.07.03-07 Osaka. (s.f.). *2013 35th annual international conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) 3-7 July 2013, Osaka, Japan*.
- IEEE Hungary Section, & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (s.f.). *SAMI 2015 : IEEE 13th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics : proceedings : January 22-24, 2015 : Herl'any, Slovakia*.
- Ieee, & Ieee. (s.f.). *2012 24th Chinese Control and Decision Conference*.
- INAGENTSYS 2014 Bandung, Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE International Conference on Intelligent Autonomous Agents, N.-2., & INAGENTSYS 2014.08.19-21 Bandung. (2014). *Proceedings of 2014 International Conference on Intelligent Autonomous Agents, Networks and Systems (INAGENTSYS 2014) August 19-21, 2014, Bandung, Indonesia*. IEEE.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (s.f.). *2016 IEEE 14th International Workshop on Advanced Motion Control (AMC) : 22-24 April 2016*.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (s.f.). *2016 Medical Technologies National Congress (TIPTEKNO) : Antalya, Turkey, 27-29 October 2016*.
- Marcela, L., & Zuleta, P. (s.f.). *DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE UNA PRÓTESIS ROBOTIZADA PARA MIEMBRO SUPERIOR ACTIVADA POR ELECTROMIOGRAFÍA*.
- Martínez-Pais González, A., & Domínguez Abascal, J. (s.f.). *Diseño mecánico de una prótesis mioeléctrica de la mano humana*.
- Milwaukee School of Engineering, IEEE Region 4, & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (s.f.). *Electro/Information Technology (EIT), 2014 IEEE International Conference on : date 5-7 June 2014*.
- SKR Engineering College, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Madras Section, & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (s.f.). *International Conference on Energy, Communication, Data Analytics & Soft Computing (ICECDS) - 2017 : 1st & 2nd August 2017*.
- Vargas, G., Flores Abad, Á., Alba Baena, N., Carlos, J., Guadarrama, A., & Canales Valdiviezo, I. (s.f.). *Culcyt//Mecatrónica Control de Señales EMG para el Movimiento de un Brazo Robótico de Tres Grados de Libertad*.

Viteckova, S., Kutilek, P., Kauler, J., & Svoboda, Z. (s.f.). *Fuzzy Expert System for Determining the Human Gait Phase*.

Apéndice

Cuestionario utilizado en la investigación

Estas son algunas de las preguntas que se utilizaron para la obtención de información sobre el tema expuesto:

1. ¿Que son las señales EMG?
2. ¿Qué métodos se utilizan para el filtro y amplificación de las señales EMG?
3. ¿Qué es un sistema de control difuso?
4. ¿Como se controla la posición de un motor?
5. ¿Como se conecta un sensor EMG?
6. ¿Qué tipo de prótesis existen para miembro superior humano?
7. ¿Como exportar una simulación a diagramas de bloques?
8. ¿Para qué y cómo se utiliza Simscape Multibody?