

**RESEARCH AND DEVELOPMENT OF NEW INTELLIGENT SYSTEMS FOR
MECHATRONICS CONTROL OF A BIOELECTRIC PROSTHESIS****INVESTIGACION Y DESARROLLO DE NUEVOS SISTEMAS INTELIGENTES PARA
EL CONTROL MECATRONICO DE UNA PROTESIS BIOELECTRICA**

PhD. Antonio Faustino Muñoz Moner, PhD. Aldo Pardo García
MSc. Jorge Luis Díaz Rodríguez

Universidad de Pamplona

Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

Tel.: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303, Ext. 156.

{amunozm, apardo13, jdiazcu}@unipamplona.edu.co

Abstract: This paper deals with the research and development of new prototypes of intelligent systems for mechatronics control of a bioelectric prosthesis for inferior members to handicapped persons due to the violence in Colombia; equipping it with a data acquisition system which takes their biological signals of its couple and then be replied in the prosthesis using artificial intelligence techniques. In the research the methodology wants to break up with the classic design paradigm from the problem conception until its later development.

Resumen: El presente trabajo contempla la investigación y el desarrollo de nuevos prototipos de sistemas inteligentes para el control mecatrónico de una prótesis bioeléctrica de miembro inferior para discapacitados de la violencia en Colombia; equipándolo con un sistema de adquisición de datos que tome las señales de su par biológico y luego sean replicadas en la prótesis usando técnicas de inteligencia artificial. En esta investigación la metodología pretende romper con el paradigma clásico de diseño desde la concepción del problema hasta su posterior desarrollo.

Keywords: Cloning, Mechatronics Control, Sensors and controllers genome, Replication, prosthesis, Artificial Intelligence.

1. INTRODUCCION

A lo largo de la historia de la humanidad, los problemas de discapacidad han venido afectando personas sin discriminar su edad o condición social. La historia de las prótesis nace con la necesidad funcional de integridad. Las prótesis fueron creadas para función, apariencia cosmética, etc. Personas con amputaciones existen desde hace años atrás.

La metodología hace parte fundamental de un proyecto de investigación, por ende en este trabajo se busca hallar una estrategia metodológica que conlleve a un enfoque novedoso y adecuado desde el punto de vista mecatrónico.

El plan de trabajo considera las siguientes actividades para la realización del objetivo general. En esta investigación la metodología pretende romper con el paradigma clásico de diseño desde la

concepción del problema hasta su posterior desarrollo. El siguiente cuadro refleja el procedimiento a seguir para obtener el modelo experimental; se desarrollaran algunas actividades complementarias necesarias para lograr llevar a cabo el proceso de investigación y obtención de resultados.

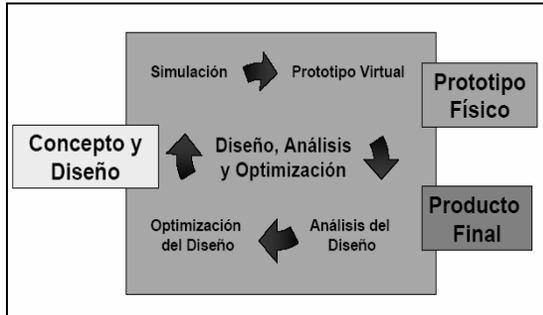


Fig. 1. Metodología de desarrollo del proyecto

2. ANALISIS CINEMATICO DE LA EXTREMIDAD INFERIOR

Es esta la etapa fundamental del trabajo, acá se realiza el estudio de la anatomía y morfología de la extremidad inferior; esto con el fin de conocer y llegar a una familiarización con los patrones de movimiento y las variables físicas (desplazamiento, velocidad angular, ángulos juntas, torque o momento, etc.).

Después de realizado el estudio de la anatomía, el siguiente paso consiste en hacer un análisis cinemático y cinético de la extremidad inferior, para ello existen diversos modelos propuestos por autores e investigadores reconocidos a nivel mundial. Existe una aproximación muy interesante y valdeada formulada por Winter (1991) ^[1] conocida como modelo de unión de segmentos equivalente al modelo anatómico de la extremidad inferior como se ilustra a continuación:

Para realizar este modelo son necesarias medidas precisas de segmentos de masa, centros de masa, centros de las articulaciones y momentos de inercia. Todas estas variables pueden ser obtenidas de presentaciones estadísticas basadas en estatura, peso y algunas veces en sexo. Un número limitado de estas variables puede ser medido directamente con procedimientos que demandan bastante tiempo y con precisión limitada.

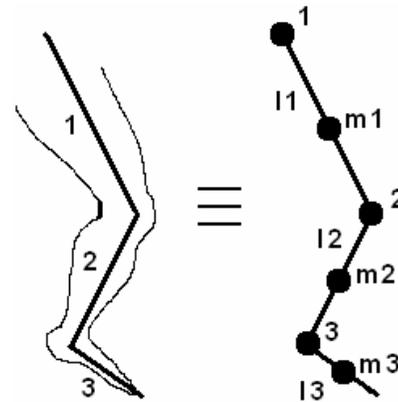


Fig. 2. Relación modelo anatómico y modelo de unión de segmentos

A pesar de que existen muchas datos antropométricos disponibles, para un mejor análisis se hacen las siguientes suposiciones: Cada segmento tiene una masa fija localizada en un centro de masa (que no es más que el centro de gravedad en posición vertical). Entonces la localización de cada segmento de centro de masa permanece fija durante el movimiento.

Las articulaciones son consideradas juntas de rotación y las longitudes de los segmentos permanecen fijas durante el movimiento. Como se observó en la figura 2; m_1 , m_2 y m_3 son las masas concentradas de cada segmento y L_1 , L_2 y L_3 son las longitudes respectivas de cada segmento. Se elige un modelo para el análisis de la prótesis.

Para el análisis de la extremidad inferior durante el proceso de la marcha humana, se debe tomar en cuenta las dos fases más importantes durante el proceso de la marcha humana, la fase de balanceo y la fase de apoyo, a continuación se muestran los modelos a tomar para cada una de las etapas.

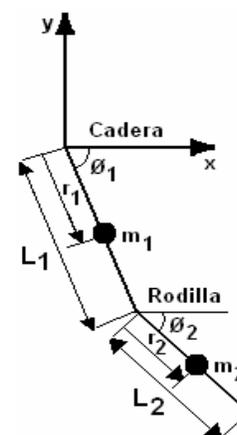


Fig. 3. Péndulo doble fase oscilación

Para esta fase, la extremidad inferior se asume como un péndulo doble debido a que la misma oscila libremente sin influencia del tronco. En la figura 3, L_1 y L_2 son longitudes de los segmentos, r_1 y r_2 son las distancias entre el centro de masa y la articulación, m_1 y m_2 son los centros de masa de cada segmento y θ_1 y θ_2 son los respectivos ángulos para cada una de las articulaciones.

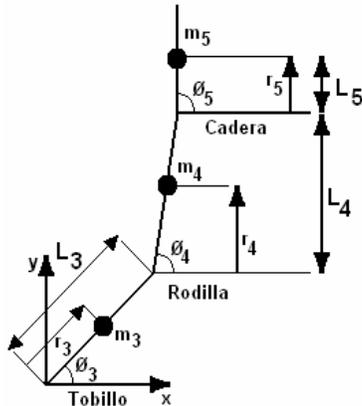


Fig. 4. Péndulo invertido fase apoyo

En esta etapa, se presenta triple péndulo invertido, pues hay una interferencia significativa del tronco en esta fase de la marcha. En la figura 4, al igual que en la anterior; L_3 , L_4 y L_5 son longitudes de los segmentos, r_3 y r_4 y r_5 son las distancias entre el centro de masa y la articulación; m_3 , m_4 y m_5 son los centros de masa de cada segmento y θ_3 , θ_4 y θ_5 son los respectivos ángulos para cada una de las articulaciones.

En el modelo, los centros de masa de la extremidad inferior están concentrados en los centros de gravedad de cada uno de los segmentos y las masas de las articulaciones son despreciadas. Las coordenadas de referencias para la articulación de la cadera durante la fase de oscilación son fijas y lo mismo ocurre para la articulación del tobillo durante la fase de apoyo.

3. IMPLEMENTACION EN HARDWARE

La metodología anteriormente mencionada, es de gran importancia, pero es evidente que precisa de un elemento físico, debido a esta necesidad, es imperioso aplicar la metodología a un hardware que permita su aplicación, tanto en la parte de aprendizaje (si se desea que este se haga directamente en el hardware) como su ejecución y reaprendizaje, para este objetivo, es necesario implantar el denominado hardware evolutivo.

El hardware evolutivo, es una herramienta necesaria para la implementación de la clonación artificial en ingeniería, las razones que fundamentan esta afirmación son varias, una de las más importantes, radica en la necesidad de aprendizaje del sistema, es evidente que el equipo desarrollado, sea sensor o controlador, va a funcionar por una cantidad de tiempo indeterminado, que en la mayoría de los casos se espera que sea un tiempo prolongado. Debido a esta situación es necesario prever que las condiciones, en las que fue "educado" el dispositivo, cambian o evolucionan, adicionando nuevas variables al proceso, lo que requeriría una adaptación del clon a su nuevo ambiente.

La adaptación que es requerida, no se puede lograr utilizando la metodología que se aprecia en el 05(a) en donde se observa que el aprendizaje sólo ocurre en un primer momento y que el proceso de ejecución o funcionamiento no es modificado en ninguna etapa. La siguiente concepción es permitirle al dispositivo la "reeducación" por medio de un aprendizaje que no necesariamente sea constante, pero si periódicamente, lo que facilitará la adaptación a nuevos cambios en el medio en el cual el clon trabaja.

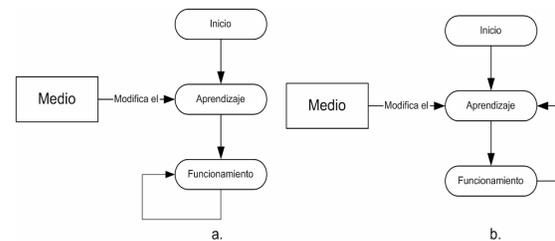


Fig. 5. Tipos de funcionamiento

Para la implementación de un dispositivo o clon que aprenda periódicamente es posible que se haga de dos formas, "off-line" o "on-line", la primera de ellas consiste en detener el funcionamiento del clon, llevarlo a un laboratorio o unidad de aprendizaje e introducirle los nuevos parámetros vía software o hardware, el gran problema de esta concepción es que ciertamente se inducirán tiempos muertos en el funcionamiento del clon, es decir, el dispositivo estará fuera de funcionamiento cada vez que sea necesario (o el mismo dispositivo lo pida) un reaprendizaje, la totalidad de este tiempo será dada por la rapidez con la cual los encargados de realizar esta labor la cumplan, incluyendo factores humanos al proceso de aprendizaje, específicamente a los tiempos de los mismos.

En el aprendizaje "On-line", pasa todo lo contrario, el dispositivo, activa su función de aprendizaje cada cierto periodo de tiempo y lo ejecuta paralelamente a su funcionamiento, evitando el tener que detener el proceso en el cual el clon forma parte, posterior a un tiempo de aprendizaje, el clon puede modificar su estructura (Hardware evolutivo) para ya sea permitir la entrada de una nueva configuración que el mismo pueda suplir, o modificar totalmente su estructura.

En este caso en particular se desea implementar el uso del aprendizaje "On-line", para lo cual se ha estudiado muy de cerca el uso de células madres electrónicas, que al igual que sus homologas en la biología, estas células pueden convertirse en cualquier otro tipo de células dentro del cuerpo y a replicarse en una cantidad aun indeterminada de veces, lo que ha conllevado a los investigadores a interesarse en este de comportamiento y en ahondar en su estudio y evidentemente iniciar todo tipo de debates en el tema; afortunadamente las células madres que en esta investigación se utilizan distan sustancialmente de la polémica ética y moral, pero aportan una valiosa información para el desarrollo de sistemas de alta tecnología, cerrando una nueva brecha entre la ciencia biológica y la ciencia tecnológica.

La célula madre que en este documento se desarrolla, es una unidad de procesamiento lógico digital, la cual, debido a su estructura puede modificar su comportamiento, gracias a la inclusión de una entrada denominada entrada de mutación, esta célula madre a diferencia de su homóloga en la naturaleza, no es capaz de replicarse a si misma, esta habilidad es reemplazada por la habilidad que poseerá el software para exigir la generación de nuevas células madres.

Para la implementación de este paradigma, es necesario contar con elementos que permitan una rápida y flexible configuración en hardware, para lograrlo utilizamos cualquier tipo de dispositivo lógico programable, en este caso en específico se utiliza un FPGA (*Field Programmable Gate Array*).

El diseño de circuitos digitales, entre los paradigmas ya propuesto se conocen los diseños de compuerta AND y OR y sus correspondientes inversores, NAND y NOR, con estos operadores básicos se puede diseñar cualquier clase de los

circuitos lógicos existentes (OR, AND, XOR, NOT), por lo que estas 2 compuertas se pueden llamar las compuertas base de toda la lógica digital.

Centrando la atención en las compuertas NAND y NOR, la característica más importantes de estos operadores es que uno o cualquiera de los dos es el resultado de negar o invertir las entradas de señal del otro es por esto que el diseño del circuito evolutivo se enfocará en la implementación de estas dos compuertas.

Para este diseño se implementara una FPGA SPARTAN3 de XILINX que es muy comercial y de fácil acceso. El primer paso consiste en modelar la célula madre en la FPGA, debido a la sencillez del ejemplo, se trabaja en la modalidad "schematic" del software proporcionado por la compañía desarrolladora, esta visualización nos ayuda a observar y analizar de una mejor manera la célula madre.

Posterior a esta selección es necesario implementar una compuerta NOR y compuerta NAND dentro del mismo circuito, en este caso en especial, se trabajarán compuertas de 2 entradas, para lograr el funcionamiento del circuito como célula madre, se debe incorporar una 3 entrada, la cual funcionará como operador lógico mutable entre la NAND y la NOR. el circuito se puede apreciar en la 6.

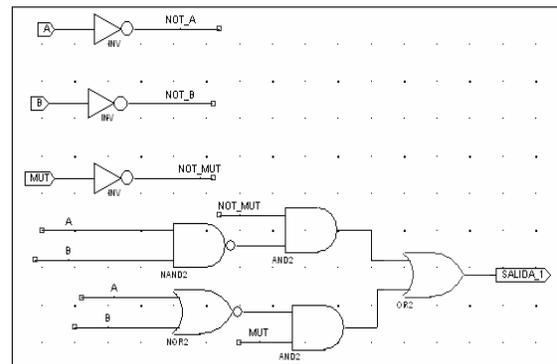


Fig. 6. Hardware Evolutivo

Como se puede observar, la célula madre puede trabajar tanto como NOR o NAND, dependiendo de su entrada de operador lógico mutable, lo que permite, al implementar una amplia cantidad de estas células, el desarrollo de una alta variedad de aplicaciones, así como igual número de arreglos lógicos. Esto se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 1: Operaciones Célula madre

A	B	Mutación	Salida
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	0	0
0	0	1	1
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	1	0

4. SOFTWARE DESARROLLADO

El software que se desarrollo para la demostración de esta metodología utiliza datos de las variables del miembro inferior (prótesis) tales como posición, velocidad, fuerza-torque, los cuales afectan una variable denominada desempeño, con estos datos se podrá trabajar para la demostración de la metodología, el software consta, además de las mismas etapas explicadas en este documento, el primer paso es identificar las señales y hacer un procesamiento, esto se observa en la 0, en donde se aprecia unas señales ya filtradas y listas para la implementación de la metodología.

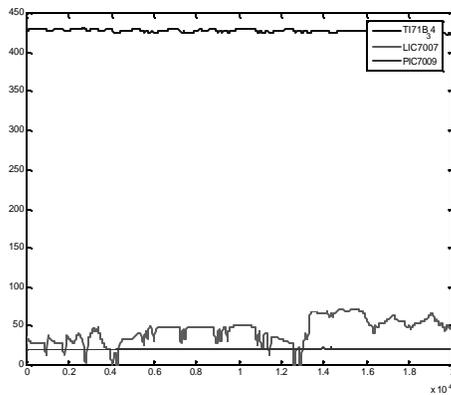


Fig. 7. Entradas del sistema

A las señales obtenidas anteriormente se les aplico la metodología de clonación propuesta, sin conocer previamente las relaciones entre las variables de entrada y de salida; gracias a la metodología, se pudo encontrar una relación en algoritmos genéticos, con la modalidad fuzzy-genético, que permita la inferencia de la salida, los resultados se aprecian en las Figuras 7 y 8. La evolución de esta población (200 individuos) en 350 generaciones es evidente, en la Figura 8., en donde se encuentran las 3 primeras calificaciones de cada población, el criterio para detener el algoritmo genético fue dado por el tiempo máximo de ejecución (12 hrs).

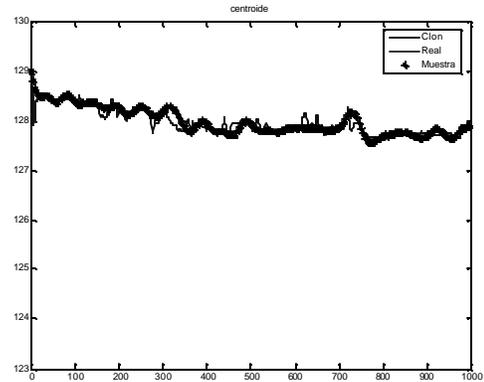


Fig. 8. Clonada vs. Real

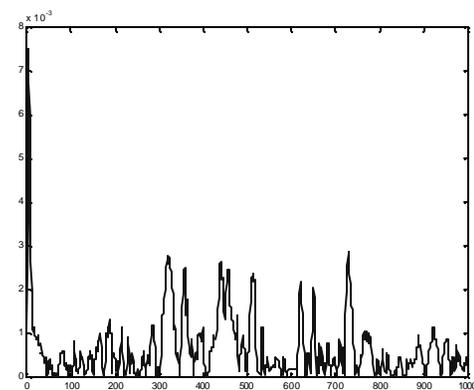


Fig. 9. Error de Clonación

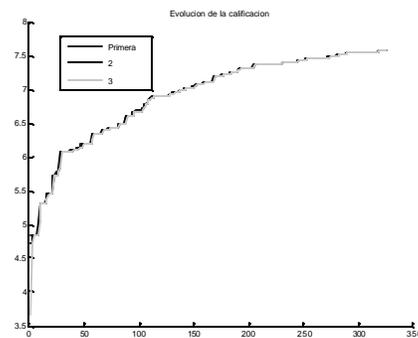


Fig. 11. Evolución de la calificación

Como se puede observar, el máximo porcentaje de error obtenido es del 0.08%, y la media de esta medida es del 0.01% aproximadamente, lo que permite acercarnos a un sistema de alta precisión con costos inferiores a los requeridos para tal fin, fin, confirmando que la metodología acá implementada no sólo es valida para la obtención de clones en ingeniería reduciendo costos a la industria y optimizando los recursos de las mismas.

4. ARBOLES DE DECISION

En el desarrollo de la investigación se encontró otra concepción para la implementación de la metodología planteada, esta es denominada los árboles de decisión, los cuales se aprecian en la Figura 10., estos al igual que los cromosomas anteriormente explicados, contienen información que permite la solución de problemas tipo SISO (Simple input simple output) y MISO (Multiple input simple output), esta representación se puede complementar con el uso de AG's, que permitan la generación de múltiples árboles y la selección de las mejores expresiones, para su posterior cruce y generación de nuevas poblaciones de árboles de decisión, que a su vez, crean nuevas expresiones que buscan la solución o la representación de un modelo matemático del sistema físico analizado.

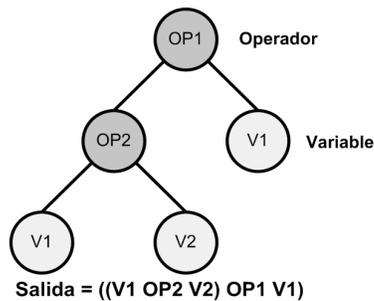


Fig. 10. Árbol de decisión

Como se aprecia en la figura anterior, un árbol de decisión esta conformado básicamente por dos tipos de unidades representativas, los operadores y las variables, los operadores se encuentran dentro del árbol, mientras que las variables se encuentran en el exterior del mismo, esta arquitectura permite la elaboración de expresiones que pretenden emular modelos matemáticos en busca de emular la salida del sistema. Algunos de los resultados aplicando esta técnica se aprecian en la 12 y en la 13, en donde se puede observar los resultados de aplicar árboles de decisión y AG's (1000 generaciones y un máximo de 5 niveles en el árbol); lo que permite encontrar valores de errores inferiores al 0.2%.

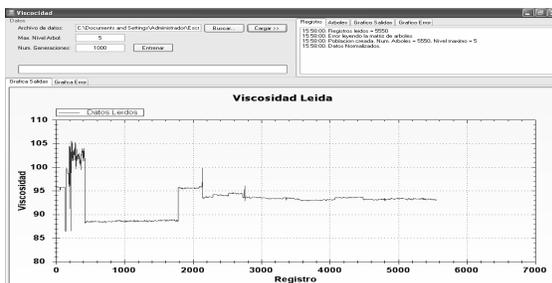


Fig. 12. Gráfica de la señal objetivo

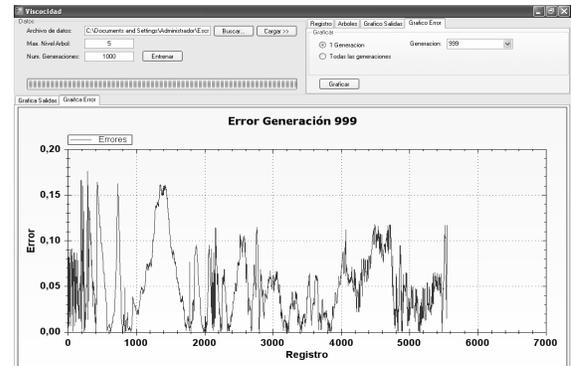


Fig. 13. Gráfica del error

REFERENCIAS

- [1] H. Boudouda, H. Seridi and H.Akdag. The Fuzzy Possibilistic C-Means Classifier. Asian Journal of Information Technology 4 (11): 981-985, 2005.
- [2] Delgado Alberto. Inteligencia Artificial y Minirobots. Ecoe Ediciones 1998.
- [3] Muñoz Antonio F. Sensorica e instrumentación, Mecánica de Alta precisión. . Pueblo y educación. 1997
- [4] Maneiro Malavé Ninoska. Algoritmos genéticos aplicados al problema cuadrático de asignación de facilidades. Departamento de Investigación Operativa, Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. Febrero, 2002
- [5] Loyo De Sardi Jaqueline Algoritmos Genéticos y Optimización en la Investigación de Operaciones. Caso: Problema de Optimización con Objetivos Múltiples Expresado como un Modelo de Programación No – Lineal por Metas. Departamento de Computación, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. Febrero, 2002.
- [6] Sistema electrónico de clonación artificial de un sensor de viscosidad basado en hardware evolutivo. Fredy Vera Pérez trabajo de grado para optar por el título de ingeniero electrónico. Universidad de Pamplona. 2006
- [7] Pedro Carlos Russi. Estudo de um Modelo Dinâmico Para Avaliação Física Do Corpo Humano. Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista. São Paulo. Brasil.