

Diseño, desarrollo e implementación de un dispositivo de pruebas de electrohilado (electrospinning) para aplicaciones en Nanoinstrumentación

Investigación en Curso

Mónica Fernanda Roa Rodríguez
 Ingeniería Mecatrónica, Facultad Ingeniería
mroa3@unab.edu.co

Universidad Autónoma de Bucaramanga

Palabras clave: Modelos nanotecnológicos, Inteligencia Artificial, Clonación, Genoma de Sensores y controladores, Replicación, Electrohilado

RESUMEN: El presente trabajo contempla la investigación y el desarrollo de una nueva metodología para el desarrollo de nuevos modelos nanotecnológicos basados en una metodología para el diseño e implementación, para la captura, transformación, almacenamiento y extracción de datos con la aplicación de nanoinstrumentación fabricada por electrohilado; equipándolo con un sistema de adquisición de datos que tome las señales y luego sean replicadas usando técnicas de inteligencia artificial

Abstract: The present work contemplates to the research and the development of a new methodology based in nanotech models according to a methodology for design , implementation of coatings and maintenance for the capture, processing, storage and data extraction with nanoinstrumentation manufactured by electrospinning; and equipping

INTRODUCCION

Como parte de las investigaciones del Grupo de Control y Mecatrónica de la Universidad Autónoma de Bucaramanga. El prototipo a implementar de fabricación por electrohilado, equipándolo con un sistema de adquisición de datos que toma las señales y luego son replicadas con un entrenamiento por aprendizaje con técnicas de inteligencia artificial soportadas en sistemas mecatrónicos (patrones de imitación de nanosensores de movimiento- nanocontrolador inteligente- mecanismos de accionamiento basados en nanoactuadores.

El objetivo fundamental en la detección y registro de la señal proveniente de la aplicación de nanomateriales, las ondas que se producen en la membrana son las ondas de cuerpo P y S (Serrano 2001), la primera onda P se produce por el cambio de volumen y la segunda onda S por el cambio de la forma de la piel; la onda P se propaga produciendo en el material dilataciones—compresiones a lo largo de la dirección de propagación, sin embargo la onda S se propaga produciendo en el material desplazamientos perpendiculares a la dirección de propagación. En la figura 1 se puede observar estas propiedades de las ondas P y S.

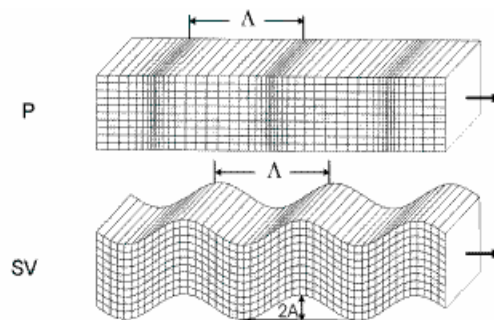


Figura 1. Propagación de las ondas P y S (18)

Se aplican dos tipos de nanosensores para medir el movimiento producido por las ondas de la piel artificial:

- Sensores extensométricos, que miden el movimiento de un punto de la membrana relativo a otro punto.
- Sensores inerciales, los cuales miden el movimiento de la piel utilizando una referencia inercial (una masa que tiene un acoplamiento débil con la membrana)

La articulación de acuerdo a los procedimientos de diseño basados en clonación artificial ver fig 2.

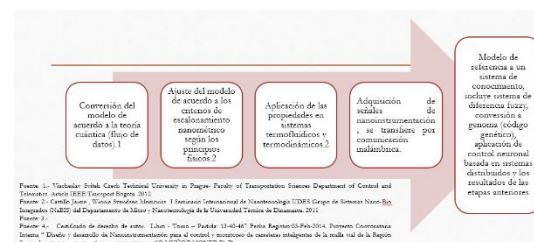


Figura 2 Procedimientos de diseño del Prototipo de prótesis

En el proceso de clonación, se utiliza la recopilación de datos agrupada en clústers fuzzy, donde a partir de la selección de las señales de muestras representativas, obtenidas de las prótesis bioeléctricas y recibidas de los nanosensores, se amplifican, y se someten a un procesamiento digital que se describe a

continuación para entregar la información del comportamientos de los miembros inferior y superior.

2. METODOLOGÍA BASADA CÈLULAS MADRES

Las células madres constituidas por los medios de medición, control y accionamiento nanosensor-control-nanoactuador de acuerdo con la etapa de autoaprendizaje, el sistema clonado, ya ha sido entrenado a través del procedimiento de búsqueda de la correcta secuencia, que se implementa directamente, reemplazando al dispositivo “padre” en el algoritmo genético, que utiliza como elemento de referencia la operación del sistema clonado, con las entradas convertidas, por el “Fuzzy c-mean” en conjuntos difusos ver fig. 3.

Luego de poseer esta información en forma de “cromosoma”, se aplica la secuencia de operadores genéticos, la cual convierte la información de entrada en “cromosomas” de salida con la misma estructura de datos (antecedentes y consecuentes).

El conjunto de datos entregado por el proceso de clonación, es procesado por el sistema, una de las etapas importantes de este proceso es la defusificación de una parte del “cromosoma”, de tal forma que podamos tener el valor de la variable clonada en rangos del universo de discurso y no en términos de pertenencia a conjuntos borrosos.

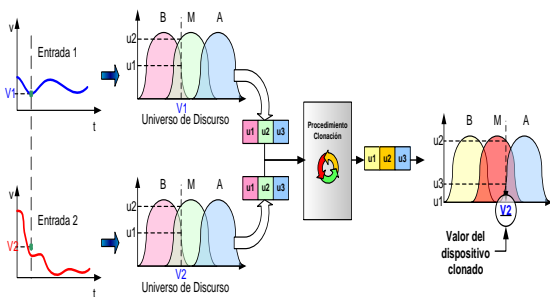


Figura 3 Procedimientos de clonación.

3. CLONACIÓN ARTIFICIAL

La metodología referida es implementada en hardware a través de arreglos lógicos mutables que permiten la replicación del movimiento de la mano y/o de la pierna sana, garantizando que la persona al caminar no cojee y ejecute su desplazamiento en forma normal, los procedimientos se muestran a continuación:

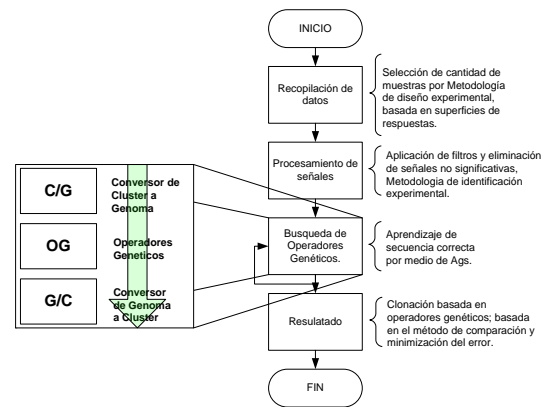


Figura 4. Metodología de clonación

Las señales electromiográficas (EMG) son señales eléctricas producidas por un músculo durante el proceso de contracción y relajación.

Existen en estos momentos investigaciones en el campo de las aplicaciones de las señales EMG para anticipación de los movimientos humanos en aproximadamente 100ms en avance (Hoffman & Herr 2002).

Para la inserción de los nanosensores obtenidos por electrohilado, el conductor es pegado la superficie sensible de la piel artificial a través de un material base, el pegamento tiene un alto aislamiento eléctrico. Así, aunque la pieza sea metálica, la resistencia entre el conductor y la pieza es de más de 100 mΩ. La resistencia del conductor es:

$$R = \rho L / A \cdot [\Omega] \quad (1)$$

Si la pieza se deforma en la dirección del conductor, los tres parámetros ρ , L y A han de variar. Entonces la resistencia variará según

$$dR = \frac{\partial R}{\partial \rho} \cdot d\rho + \frac{\partial R}{\partial L} \cdot dL + \frac{\partial R}{\partial A} \cdot dA;$$

Donde

$$\frac{\partial R}{\partial \rho} = L/A; \quad \frac{\partial R}{\partial L} = \rho/A; \quad \frac{\partial R}{\partial A} = -\rho L/A^2$$

Entonces

$$dR = \frac{A(\rho dL + Ld\rho) - \rho L dA}{A^2} \quad (2)$$

La sección transversal se puede reducir a una sección circular de diámetro equivalente d_e . por lo tanto,

$$A = Q d_e^2$$

Claro que el conductor es circular, $Q = \frac{\pi}{4}$. Derivando

$$dA = 2Q d_e d(d_e)$$

Recordando la magnitud del coeficiente de poisson

$$\frac{d(d_e)}{d_e} = -\mu \frac{dL}{L}$$

Resulta entonces que

$$dA = -2Qd_e^2\mu \frac{dL}{L} = -2A\mu \frac{dL}{L} \quad (3)$$

Sustituyendo la ecuación

(2) en la ecuación (3)

$$dR = \frac{\rho dL(1 + \mu) + Ld\rho}{A}$$

Eliminando A con la ayuda de la ecuación (3)

$$\frac{dR}{d} = \left(1 + 2\mu + \frac{d\rho/\rho}{dL/L}\right) \frac{dL}{L}$$

Ahora se toma en cuenta que la deformación longitudinal unitaria $\varepsilon = \Delta L/L$ y entonces

$$\frac{dR}{R} = K_g \varepsilon; K_g = 1 + 2\mu + \frac{d\rho/\rho}{\varepsilon} \quad (4)$$

Se observa que K_g depende aparentemente de ε , pero el término $(d\rho/\rho)/\varepsilon$ es una propiedad física del material del conductor y se denomina *piezorresistividad*, de forma tal que

$$\frac{d\rho/\rho}{\varepsilon} = \pi_1 E. \quad (5)$$

En la ecuación (4), E es el modulo de la elasticidad del material y π_1 es el coeficiente de *piezorresistividad* longitudinal, pudiendo ser *positivo* o *negativo*.

Finalmente,

$$\frac{dR}{d} = K_g \varepsilon; K_g = 1 + 2\mu + \pi_1 \varepsilon \quad (5.1)$$

K_g es el coeficiente del *tensoelemento* y relaciona la deformación longitudinal unitaria (cambio relativo de longitud) con el cambio relativo de resistencia del conductor.

La sensibilidad $K_g R$ de este conductor es la relación entre el cambio de resistencia y la deformación longitudinal unitaria.

$$dR = K_g R \varepsilon; K_g R = \frac{dR}{\varepsilon} \quad (6)$$

Lo antes descrito aplica para alambre de bajo calibre, con resistencia mecánica con límite inferior a las especificaciones definidas, la otra posibilidad es aumentar L . si la longitud se incrementa no se mide el valor de la deformación longitudinal unitaria, lo cual exige que la longitud L sea lo menor posible; para aumentarla sin variar la zona de medición.

Si la pieza tiene en la dirección de medición una deformación longitudinal unitaria ε , tendrá en la dirección transversal una deformación longitudinal unitaria $-\mu\varepsilon$. Asumiendo que la longitud total longitudinal del alambre sigue siendo L y su área A , pero que la longitud total transversal del alambre es L_T , con una sección A_T , resulta que el cambio de resistencia longitudinal es:

$$\Delta R_L = K_g \frac{\rho L}{A} \varepsilon$$

El cambio de resistencia transversal

$$\Delta R_T = K_g \frac{\rho L_t}{A} (-\mu\varepsilon)$$

El cambio de resistencia total es

$$\Delta R = K_g \rho \varepsilon \left(\frac{L}{A} - \mu \frac{L_T}{A_T} \right) = K_g \frac{\rho A}{L} \varepsilon \left(-1\mu \frac{A}{A_T} \cdot \frac{L_T}{L} \right)$$

$$\Delta R = K_g \left(1 - \mu \frac{A}{A_T} \cdot \frac{L_T}{L} \right) R = K'_g R$$

Entonces

$$K'_g = K_g \left(1 - \mu \frac{A}{A_T} \cdot \frac{L_T}{L} \right) \quad (7)$$

En este caso todo el alambre tiene la misma sección uniforme A . Entonces $A_T = A$ y finalmente

$$K'_g = K_g \left(1 - \mu \frac{L_T}{L} \right) \quad (8)$$

Se observa que aunque la longitud total del alambre es $L + L_T$ y por cuanto su sensibilidad ahora es menor se considera que el alambre es recto con una longitud L , para las condiciones del tensoelemento cuanto durante su fabricación por electrohilado se ensayan las muestras de tensoelementos midiendo su comportamiento en una pieza. Entonces se mide el cambio de resistencia real correspondiente a cierta deformación longitudinal unitaria y se determina K_g en forma experimental. Por lo tanto, ya el coeficiente del tensoelemento tiene en cuenta este fenómeno.

Con los tensoelementos se mide la deformación unitaria ε_x , en la dirección longitudinal, que se le designará ahora como la dirección x . Para calcular el esfuerzo normal en la dirección x , es necesario conocer a priori que no hay esfuerzo normal en la dirección y , como en el caso de una barra sometida a tracción o compresión. Entonces, para un material elástico con módulo de elasticidad E (Pa) y dentro de la zona elástica se tiene

$$\sigma_x = E \varepsilon_x \quad [Pa] \quad (9)$$

Si no se estuviese seguro de la ausencia de σ_y , se colocaría otro tensoelemento en la dirección y , de forma que su eje tendría 90° con respecto al eje del primer tensoelemento. Ahora se tendría las lecturas ε_x y ε_y . Recordando la ley de Hooke generalizada se tiene que

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \frac{\mu}{E} (\sigma_y + \sigma_y); \quad (10)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} - \frac{\mu}{E} (\sigma_x + \sigma_x); \quad (11)$$

La letra griega μ representa el coeficiente de Poisson del material (se supone que no se excede el límite elástico). Aquí $\sigma_x = 0$. Entonces, despejando los esfuerzos se obtiene

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_y + \varepsilon_x): \quad (12)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_x + \varepsilon_y): \quad (13)$$

De esta forma se puede determinar los esfuerzos normales en las dos direcciones.

La longitud de la parrilla en la dirección y es μ veces la longitud de la parrilla en la longitud x . además, ambas parrillas están en serie, por lo que sus resistencias se suman. Llamando K_{g^0} a la constante de cada parrilla, que es la misma para las dos, se tiene para el cambio de resistencia en cada parrilla

$$\Delta R_x = K_{g^0} R_x \varepsilon_x ; \Delta R_y = K_{g^0} \mu R_x \varepsilon_y$$

La resistencia total es

$$\Delta R = K_{g^0} R_x (\varepsilon_x + \mu \varepsilon_y) \quad (14)$$

Comparando las ecuaciones (14) y (11) se obtienen las expresiones

$$\sigma_x = K_g \Delta R [Pa]; \quad K_g = \frac{E}{(1-\mu^2) K_{g^0} R_x} \left[\frac{Pa}{\Omega} \right]$$

El valor de K_g es dado por el fabricante y sin realizar operaciones se tiene el esfuerzo σ_x , solamente al medir el cambio total ΔR de resistencia del tensoelemento.

Muchas veces no basta con hallar los esfuerzos normales en dos ejes perpendiculares entre sí; sino que se desea conocer el estado tensional del punto; por ejemplo, posición de los ejes principales con respecto a una posición dada, esfuerzos principales, etc. En tal caso se debe recurrir como mínimo a tres tensoelementos y procesar las lecturas de cada uno de ellos.

Los valores de los esfuerzos normales máximos (σ_{max}) y mínimos (σ_{min}) en el plano y la posición de los ejes principales (β_p) toman como referencia a la dirección del tensoelemento 1, se determinan a continuación:

Para la Roseta Rectangular:

$$\sigma_{min}^{max} = \frac{E}{2} \left(\frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_3}{1-\mu} \right) \pm \frac{1}{1+\mu} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + [2\varepsilon_2 - (\varepsilon_1 + \varepsilon_3)]^2} \quad (15)$$

$$\beta_p = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{2\varepsilon_2 - (\varepsilon_1 + \varepsilon_3)}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3} \right) \quad (16)$$

Roseta Delta

$$\sigma_{min}^{max} = E \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{3(1-\mu)} \pm \frac{1}{1+\mu} \sqrt{\left(\varepsilon_1 - \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{3} \right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_3}{\sqrt{3}} \right)^2}; \quad (54)$$

$$\beta_p = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{\frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_3}{\sqrt{3}}}{\varepsilon_1 - \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{3}} \right) \quad (17)$$

Roseta Delta T:

$$\sigma_{min}^{max} = \frac{E}{2} \left(\frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_4}{1-\mu} \right) \pm \frac{1}{1+\mu} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + \frac{4}{3} (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2}; \quad (56)$$

$$\beta_p = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{2(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{\sqrt{3}(\varepsilon_1 - \varepsilon_4)} \right) \quad (18)$$

La disposición en configuración de roseta Delta T presentada, introduce los valores de las señales amplificadas de un tensoelemento, brindando mayor exactitud en los cálculos, es posible medir con esta configuración y utilizar las fórmulas de la roseta Delta, sin considerar la información del tensoelemento 4; después se vuelve a calcular con la fórmula de la roseta Delta T, para obtener el resultado deseado.

Con los valores de σ_{max} ; σ_{min} y β_p se puede calcular todos los restantes parámetros del estado tensional y deformacional.

En las ecuaciones (13) hasta (16), E es el módulo de elasticidad del material en Pa y μ el coeficiente de Poisson.

Con la caracterización de los patrones de la actividad muscular en los miembros inferior y superior se conocen los parámetros de diseño del sistema de control que se planea implementar.

De las extremidades inferior y superior se puede obtener la información de los parámetros tales como posición, fuerza, ángulo de cada junta y actividad muscular, lo que facilita la comprensión y asimilación del complejo proceso de la marcha humana. La base de datos debe ser tomada y organizada para su utilización en el diseño de los sistemas de control por clonación artificial, que incluye la técnica de agrupamiento de datos conocida como fuzzy c-mean referida anteriormente, donde a cada dato le corresponde su grado de pertenencia de acuerdo con las bases de la teoría de posibilidades aplicada.

Para lograr los clusters es necesario, aplicar el "fuzzy c-mean" y de esta forma encontrar los respectivos "conjuntos naturales" de cada señal. El agrupamiento difuso (Fuzzy c-mean) o también llamado "Clustering", es una metodología, que permite la partición del universo de discurso de una variable en diferentes grupos; el propósito de este agrupamiento es identificar los "grupos naturales"[10] de datos a lo largo de un "data set", donde este grupo representa fielmente el comportamiento del sistema. Los clusters desarrollados en esta metodología tienen una

representación (o se pueden reflejar) en conjuntos difusos, por lo que un valor V_1 se puede representar en n valores de pertenencia, donde n es el número de clusters de la variable en mención. Este procedimiento se aprecia en la 0.

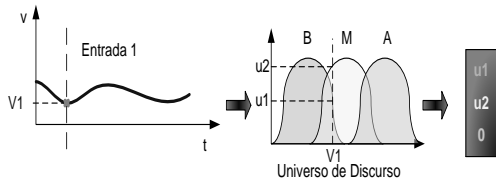


Figura 5 Representación en Clústers difusos

Este procedimiento se repite para las entradas del sistema y para todas las salidas, pasando de una representación por valor a una representación por grado de pertenencia en los clústers,

El procedimiento para encontrar los consecuentes es propio en cada sistema, pero es necesario saber, que esta información, como su nombre lo indica, es una consecencial de la implementación de los antecedentes en el sistema, por lo que se debe tener especial cuidado en la elaboración de esta característica.

Es necesario implementar un algoritmo genético (AG), cuyo objetivo sea el encontrar una población óptima de secuencia de operaciones, las cuales serán evaluadas tomando en cuenta el valor deseado de salida y el número de operaciones genéticas (entre menos operaciones, mejor calificación tendrá el individuo)

A través del algoritmo genético se realiza la búsqueda de la correcta secuencia de operadores genéticos 0, que llevarán las entradas a la salida deseada, el procedimiento se ilustra en la primeras etapas se aparecen en la fig 6.

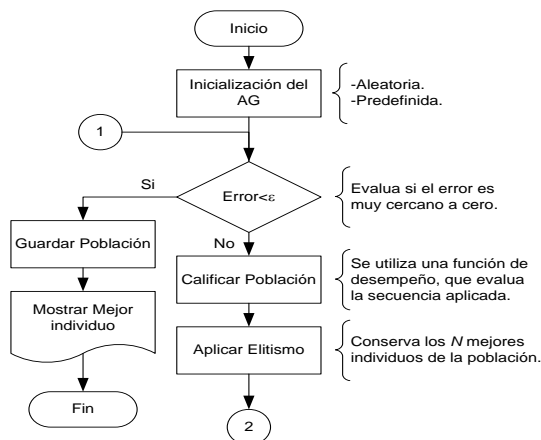


Figura 6 Algoritmos genéticos para el diseño.

La información completa del mapa genético (genoma), es suficiente para el análisis aprovechando la potencialidad del software basado en algoritmos genéticos, con el cual se identifican los patrones de las señales EMG para realizar el control adaptativo de los movimientos de la extremidad inferior.

5. APLICACIONES DESARROLLADAS

El software que se desarrollo para la demostración de esta metodología utiliza datos de las variables tales como deformación_ carga, presión, fuerza, 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 de la medición .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.

Como se puede observar, el máximo porcentaje de error obtenido entre sistema real y la réplica obtenida (clon) 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, confirmando que la metodología acá implementada no solo es valida para la obtención de clones en ingeniería reduciendo costos a la industria y optimizando los recursos de las mismas.

La configuración para electrospinning utilizada en la fabricación de la nanoinstrumentación ver fig. 8, aplica un campo electrostático lo suficientemente fuerte entre dos polos opuestos, una aguja o sistema de inyección y una placa metálica la cual están a un potencial cero donde se depositan las fibras nanométricas formando un tejido con textura, color y densidad, características del polímero y de las sustancias que se agregan para su formación, pero que dependen fuertemente de las condiciones ambientales, humedad y temperatura.

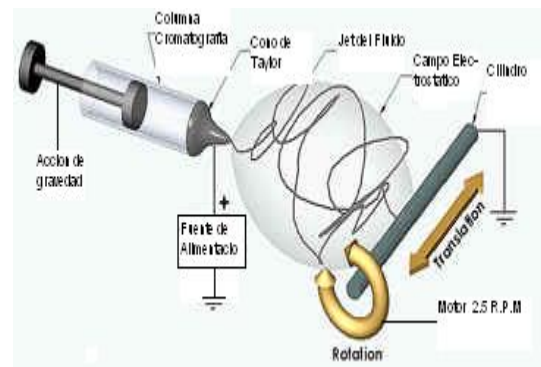


Figura 7 Esquema básico de la técnica de Electrospinning (16).

Las variables físicas que intervienen en la técnica de electrospinning son el campo eléctrico (voltaje y distancia entre cargas), temperatura, humedad, el grosor y distancia entre nanofibras, el flujo del polímero por el inyector en cada jet; etc. Estas, determinan que el proceso sea completamente estable y con el nivel de calidad requerido.

La estructura para formación de nanofibras consta básicamente de los siguientes elementos: un cilindro o una superficie rodante, una placa metálica o una banda transportadora, los cuales están a un potencial cero donde se depositan las fibras formando un tejido con textura, color y densidad, características del polímero y de las sustancias que se agregan para su formación, pero que dependen fuertemente de las condiciones ambientales, humedad y temperatura; un sistema de inyección de fluido o solución que contiene la mezcla entre el polímero y las sustancias que se quieren electrodepositar, para que la solución en el sistema de

inyección (cono de Taylor) tenga un flujo constante y por último, la fuente de voltaje que crea el campo electrostático lo suficientemente fuerte como para crear los jets de la técnica, el voltaje aplicado entre los electrodos (positivo o negativo y tierra) varía entre los 15kV y los 50Kv 0,.

Para el desarrollo del prototipo 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 figura 8.

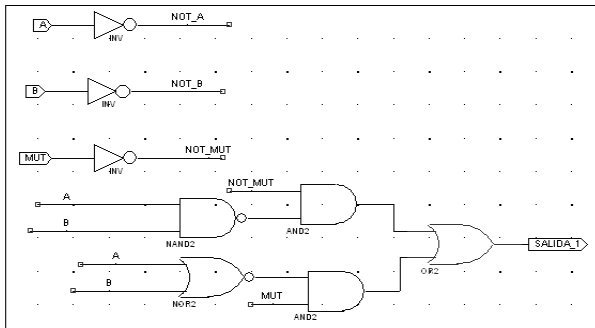


Figura 8. Hardware Evolutivo Operaciones Célula madre

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

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.

6. METODOLOGÍA DE CLONACIÓN ARTIFICIAL EN INGENIERÍA

La metodología de clonación artificial en ingeniería parte de un sistema basado en conocimiento. Se fundamenta en la teoría de los sistemas expertos; puede partir de información cualitativa, pero igual la base de conocimiento puede estar generada por información de sensores sobre variables físicas del proceso en cuyo caso las reglas son el resultado de la interacción de los datos de entrada – salida.

El procedimiento propuesto consta de cinco pasos a través de los cuales se aplica y comprueba la validez de la metodología para el control de procesos de manufactura.

Identificación y Modelación del Patrón

El patrón es el sistema que se desea replicar. La modelación implica la generación de la información del sistema a partir de datos experimentales. Es la etapa de reconocimiento del proceso, en la cual se recolecta la información del sistema a través de la instrumentación sensorica, a través de los sentidos o a partir de la información técnica del proceso.

Se debe definir la información de entradas y salidas del sistema; es decir definir qué es lo que se busca con el sistema de control, con el objeto de aumentar la eficiencia del proceso, incrementando la velocidad, la precisión y la calidad, o la disminución de riesgos para el operario.

La identificación de las variables de entrada y salida del sistema así como los parámetros que las definen implica la configuración del sistema sobre la base de conocimiento del sistema.

Teniendo en cuenta la aplicación a procesos, se asume que los procesos implican secuencia en el tiempo, por lo que es importante definir dentro de las variables cuál es la que determina la secuencia en los estados del proceso; esto puede conllevar a generar diferentes subsistemas que relacionen variables de entrada con variables de salida.

Representación formal de la base de conocimiento del sistema.

La técnica empleada para la representación formal de los datos del sistema es la clasificación difusa.

Se proponen los modelos difusos adaptativos para la obtención de un modelo de identificación entrada-salida del sistema o subsistema no lineal variante en el tiempo; el cual aproxima un comportamiento del proceso a identificar, a partir de la adaptación constante de las funciones de membresía de sus variables sobre todo el universo de discurso, a partir del siguiente procedimiento:

Estimación del número de clústeres y su vector de centros, para cada subsistema involucrado en el proceso.

Proyección de los centros sobre un plano ortogonal hacia las variables de salida.

Definir el método de clusterización pues hay diferentes algoritmos de agrupamiento y la aplicación de cada uno de ellos por lo general produce resultados diferentes (Yona, 2009).

Proyección de las funciones de pertenencia de las variables respuesta del sistema al plano ortogonal.

Definición de los parámetros para las funciones de membresía convirtiéndolas a funciones conocidas.

Definición de las funciones de membresía con error mínimo, frente al comportamiento de entrada – salida de los datos. Se propone representar todos los conjuntos difusos a través de las mismas funciones de pertenencia con el objeto de realizar de manera menos compleja el proceso de evolución, tratado más adelante.

Representación de los subsistemas como sistemas difusos.

Esta representación define la forma cómo la información de entrada se transforma en respuesta del sistema; presentada en forma de reglas, el mecanismo de inferencia es el interpretador de reglas y actúa en forma cíclica Boulkroune (2010).

Bajo este enfoque se propone el diseño de un controlador difuso para cada subsistema generado del proceso, cuya estructura sea la representada en la Fig. 1.

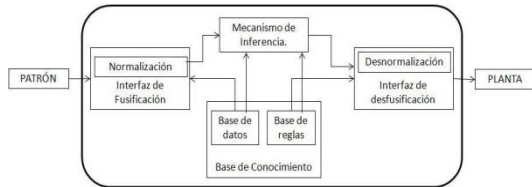


Fig. 9. Estructura del controlador difuso.

Obtención del genoma

El genoma del sistema es la colección completa del material genético, puede estar representado por el conjunto de parámetros expresados en cromosomas (genotipo) como a partir del conjunto de genes, través del fenotipo del sistema que define sus características físicas (Craig Venter Institute, 2004).

Para obtener el genoma del objeto de control se definen las condiciones iniciales del sistema, como relaciones funcionales completas con todo el desempeño del objeto de control.

El genotipo es el conjunto de parámetros para la codificación del algoritmo, el cual trabaja sobre los datos del problema para obtener el fenotipo.

La información de cada subsistema entrada – salida mapeada genéticamente, es decir convertida a cromosomas, constituye las unidades operativas que representan las partes de la operación del controlador y por ende las partes del genoma, lo que permitirá estudiar y optimizar la repercusión de cada variable en el desempeño del sistema.

El perfil del genoma se puede ver como puntos multidimensionales en el espacio, con la dimensionalidad dada por el número mediciones. Los puntos en el espacio se agrupan a través de clústeres representados por las funciones anteriormente definidas y se pueden visualizar a través de la proyección sobre los planos con el objeto de disminuir su dimensionalidad. Estos grupos definen un hiperplano que es el que identifica el algoritmo genético para realizar la evolución del genoma.

Lo anterior significa que el genoma del controlador está compuesto por unidades operativas, expresadas en código genético con una estructura de antecedentes – consecuentes, definida a través de la generación de las reglas por su forma “*si... entonces*”.

El código genético utiliza la estructura de cromosomas y éste se diseña a través de las siguientes etapas:

División del cromosoma en antecedentes y consecuentes (Fig. 12). La aplicación de esta estructura del cromosoma se realiza teniendo en cuenta la base de reglas lingüísticas del sistema difuso.

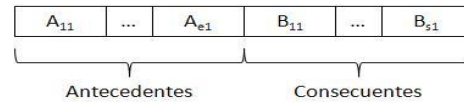


Fig. 10. Estructura del cromosoma (16).

Codificación del cromosoma basada en números enteros en donde cada dígito de los parámetros representa un alelo, el conjunto de los alelos para cada parámetro corresponde a un gen del cromosoma, el conjunto de genes de la variable de entrada corresponde a los antecedentes y el conjunto de genes de la variable de salida corresponde a los consecuentes. La integración de los dos forman un cromosoma.

Evolución del genoma

Consiste en la replicación del genoma para que sea funcionalmente compatible en cuanto a amplitud, frecuencia, capacidad de respuesta, tiempo de establecimiento y otras características dinámicas propias del objeto de control. Las características estáticas aparecen representadas en el clon a través de los parámetros estructurales, dimensionales, de interconexión de las partes mecánicas, electrónicas, neumáticas, etc. (Muñoz, 2004).

En la presente investigación se proponen los Algoritmos Genéticos (AGs), para la aplicación e interpretación del mapeo genético, que contiene los códigos de la estructura funcional de la operación. Cada unidad operativa está formada por elementos unitarios que representan una parte de la operación del dispositivo lo que permitirá estudiar y optimizar la repercusión de cada variable en el desempeño del sistema. El algoritmo genético se encargará de encontrar los parámetros de las funciones de membresía, a partir de la optimización de las reglas del sistema difuso generado en el paso anterior.

La réplica funcional del controlador (clon) la constituye el grupo de unidades operativas funcionales expresadas en conjuntos difusos con parámetros óptimos, encontrados a partir de la evolución a través de algoritmos genéticos.

CONCLUSIONES

El esfuerzo y los parámetros del movimiento de la prótesis: cadencia, secuencia etc son variables de difícil medición y control, requiere generalmente de otras que relacionen sus propiedades, que al identificar la no linealidad del proceso, permite establecer una aproximación de su comportamiento real, con base en un sistema de clonación que se adapte a sus cambios.

Para una acertada selección de variables no es suficiente con modelos teóricos, es necesario apoyarse los procesos y realizar pruebas para determinar el comportamiento del patrón a replicar para la prótesis es confiable, cambiar las variables desde la consola de control, para observar el comportamiento de las demás variables por espacios considerables de tiempo y su incidencia en el resultado del movimiento.

Resulta cómodo simular el funcionamiento de sensores y controladores mediante herramientas computacionales, como el Toolbox de AGs, valiéndose de sus capacidades para sistemas no lineales, lo cual nos permite diseñar rápidamente el prototipo, el

entrenamiento y la validación a través del modelo, comparando las salidas con los valores esperados, de acuerdo a las entradas.

Esta metodología es aplicable a modelos que representan sistemas no-lineales. Su alcance es amplio, en la práctica se dispone de modelos adecuados para solucionar el problema planteado.

Se logró replicar el movimiento de la pierna real, por mapeo genético evolutivo, partiendo del concepto tecnológico de la clonación artificial con base en algoritmos genéticos y aplicando sistemas adaptativos.

Con el uso de técnicas de clonación artificial, basada en algoritmos evolutivos, es posible diseñar y construir sistemas inteligentes capaces de solucionar problemas con calidad superior a la lograda mediante otros métodos tradicionales, incluso de aquellos imposibles de resolver por métodos convencionales.

REFERENCIAS

Feng G. (2006). "A Survey on Analysis and Design of Model-Based Fuzzy Control Systems", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 14, No 5, pp 676 - 697

Muñoz F., Pardo A., (2004). "The technology of advanced control of applied artificial cloning to highly precise". IEEE International Symposium on Intelligent Control, pp 714 – 718.

Muñoz F., Pardo A., Díaz J., (2007) "Investigación y Desarrollo de Nuevos Sistemas Inteligentes para el Control Mecatrónico de una Prótesis Bioeléctrica". Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzadas, Vol. 1, No. 9, pp 17 – 21.

Yona G , Dirks W , Rahman S, (2009) "Comparing algorithms for clustering of expression data: how to assess gene clusters." Methods Mol Biol; No. 541, pp 479 - 509.

Boulkroune A., Tadjine M., M'Saad M., Farza M. (2010) "Fuzzy adaptive controller for MIMO nonlinear systems with known and unknown control direction" Fuzzy Sets and Systems No. 161, pp 797 – 820.

Craig Venter Institute, GNN Genome News Network (2004). <http://www.genomenewsnetwork.org>. (26 de mayo 2010).

Sivaraman E. , Arulselvi S., (2009) "Gustafson-kessel (G-K) clustering approach of T-S fuzzy model for nonlinear processes". Control and Decision Conference, CCDC'09. Chinese, pp. 791 - 796.

WINTER, D. A. Biomechanics and Motor Control of Human Movement. Warterloo: Warterloo Press, 1991.

Pedro Carlos Russi. Estudo De Um Modelo Dinâmico Para Avaliação Física Do Corpo Humano. Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista. Sao Paulo. Brasil

Sistema electrónico de clonacion artificial de un sensor de viscosidad basado en hardware evolutivo. Fredy Vera Perez trabajo de grado para optar por el título de ingeniero electrónico. Universidad de Pamplona. 2006

Muñoz Antonio F. Sensorica e instrumentación, Mecánica de Alta precisión. . Pueblo y educación. 1997

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

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.

Leonardo Emiro Contreras Bravo y Máximo Alejandro Roa Garzón. Modelamiento de la marcha humana por medio de gráficos de unión.

H. Boudouda, H. Seridi and H.Akdag. The Fuzzy Possibilistic C-Means Classifier. Asian Journal of Infomation Technology 4 (11): 981-985, 2005.

Delgado Alberto. Inteligencia Artificial y Minirobots. Ecoe Ediciones 1998.

Electrospinning and electrically forced jets. I. Stability theory. Omán, Moses, y otros. 8, s.l. : PHYSICS OF FLUIDS, 2001, Vol. 13.

Serrano Herrera M Nuevos sensores sismológicos basados en la nanotecnología Dpto. Habana, Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. La Lisa, La Habana, Cuba

Muñoz Añasco Mariela, Muñoz Moner F Diseño de un sistema de control basado en clonación artificial. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada. ISSN 1692-7257.