

Una aplicación de reconocimiento estadístico de patrones a diagnóstico de alteraciones del equilibrio

Lic. Lanzarini Laura¹

A.C. Champredonde Jorge²

A.C. Castañeda María Amelia³

Dr. Estelrich Pedro⁴

Ing. De Giusti Armando.⁵

Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Informática.⁶
Departamento de Informática - Facultad de Ciencias Exactas.
Universidad Nacional de La Plata

Resumen

Se presenta una aplicación de reconocimiento estadístico de patrones a diagnóstico de alteraciones del equilibrio en tiempo real, actualmente en desarrollo.

En el trabajo se pone énfasis en el procesamiento de las señales del paciente utilizando técnicas de tratamiento de imágenes y de redes neuronales aplicadas a reconocimiento estadístico de patrones con el fin de obtener un diagnóstico totalmente automático.

Lo aquí expuesto es un análisis complementario al "Diagnóstico por Imágenes de Alteraciones del Equilibrio", el cual se encuentra operativo en consultorio.[LAN94]

Introducción.

El problema médico:

Para el diagnóstico de las alteraciones del equilibrio se realizan diversos tests que son genéricamente englobados bajo la definición de *examen equilibriométrico*.

¹ Prof. Adjunto dedicación Exclusiva del Dpto. de Informática, Fac. Cs. Exactas, UNLP.

² Auxiliar Docente dedicación Semiexclusiva del Dpto. de Informática, Fac. Cs. Exactas, UNLP.

³ Auxiliar Docente dedicación Simple del Dpto. de Informática, Fac. Cs. Exactas, UNLP.

⁴ Prof. Titular dedicación Semiexclusiva. Fac. de Ciencias Médicas, UNLP.

⁵ Director del LIDI. Investigador Principal CONICET. Prof. Titular dedicación Exclusiva del Dpto. de Informática, Fac Cs. Exactas, UNLP.

⁶ LIDI. Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Informática, Dpto. de Informática, Fac. de Cs. Exactas, UNLP. Calle 50 y 115 - 1^{er} piso - 1900 La Plata - Buenos Aires - Argentina.

Tel / Fax: 54 - 21 - 22 7707

E-Mail: lidi @ ada.info.unlp.edu.ar

Este examen consiste básicamente en el estudio funcional de las vías vestibulares y su relación con las vías oculomotoras, las vías motoras vestibuloespinales y las vías vestibulo-vegetativas.

Por ello es necesario estimular de diversas maneras a los receptores vestibulares, por ejemplo, por medio de pruebas calóricas, rotatorias, etc, y registrar la respuesta de los distintos efectores en cada caso.[LAN93] [LAN94]

Las vías vestibuloespinales son parte importante del complejo sistema anatomofisiológico del equilibrio. En consecuencia su estudio resulta fundamental toda vez que un paciente consulta por alguna alteración del equilibrio.

El objetivo de la craneocorpografía es explorar la existencia de alteraciones en el sistema equilibratorio vestibuloespinal.

La finalidad de este trabajo es alcanzar un diagnóstico automático de alteraciones del equilibrio mediante la *craneocorpografía*.

Descripción de la craneocorpografía:

Existen mecanismos especiales que dirigen los movimientos y la postura de la cabeza humana durante la estación de pie y durante la marcha.

Mediante la craneocorpografía es posible objetivizar las reacciones posturales del cuerpo durante la prueba de Unterberger y crear un sistema de evaluación matemático [CLA70].

En la prueba de Unterberger o de marcha *in situ*, el paciente debe dar 80 ó 100 pasos en el mismo lugar. Para medir los desplazamientos se utilizan señales luminosas relativas a un sistema de coordenadas polares donde la cabeza del paciente se toma como origen del mismo, y a partir del cual se registran los movimientos hacia adelante, el giro de la cabeza y del cuerpo, y las oscilaciones de la cabeza y del cuerpo [CLA73].

De este registro pueden obtenerse cuatro parámetros (Figura I):

- **Desviación lateral:** Ángulo entre la línea recta en posición de partida y la línea que une a ésta con la de llegada.
- **Distancia:** Longitud del segmento de recta que une el punto de partida con el de llegada.
- **Giro de la Cabeza:** Ángulo de desviación del eje anteroposterior de la cabeza en posición de salida y de llegada.
- **Oscilaciones laterales de la cabeza y del cuerpo:** Longitud de las oscilaciones de la cabeza y del cuerpo en cada paso realizado por el paciente.

Schulz y Claussen llevaron a cabo la evaluación estadística de estos 4 parámetros, sobre un grupo de 247 pacientes. Se determinaron las medias y desviaciones estándar. La posición de partida se proyectó sobre el eje

de coordenadas polares donde se toma 0 grados desde la izquierda del paciente, aumentando en sentido horario y la mirada del paciente se dirige hacia +90° en la posición de salida.

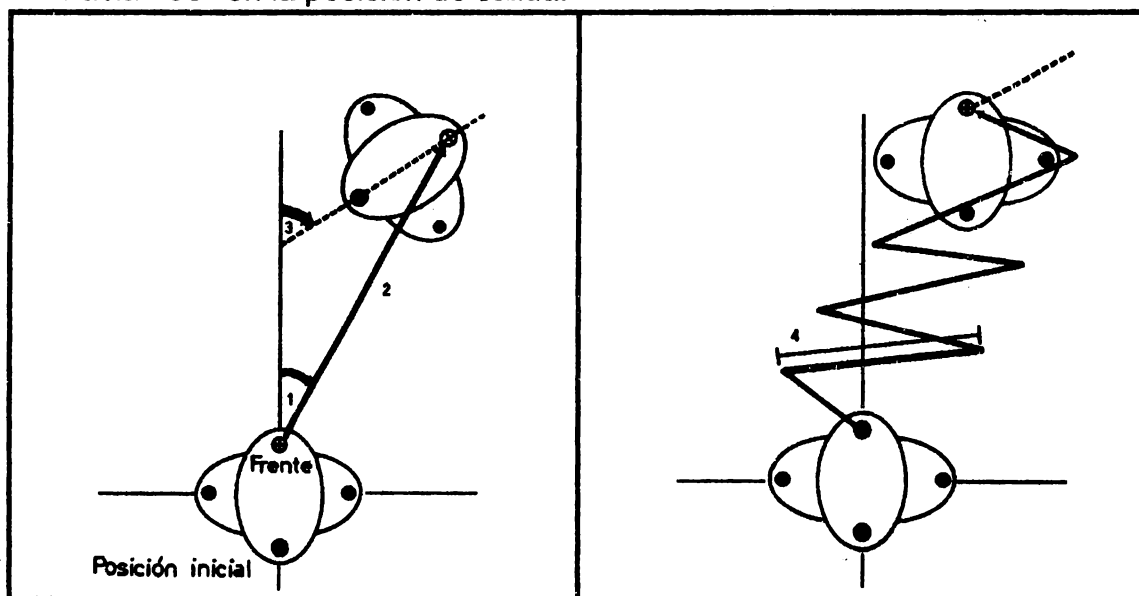


Figura 1

Los valores obtenidos fueron los siguientes:

Desviación lateral: $100 \pm 59^\circ$.

Distancia: 68 ± 30 cm.

Giro de la cabeza: $113 \pm 74^\circ$.

Oscilaciones laterales: $10,85 \pm 7$ cm.

Estos valores son utilizados para establecer los parámetros de normalidad de la craneocorpografía. Como un primer resumen de lo observado puede mencionarse:

- ☞ La oscilación lateral se produce con las alteraciones centrales (SNC).
- ☞ En personas de más de 50 años se observa un leve aumento frente al rango normal.
- ☞ Las oscilaciones laterales de menor amplitud se observaron en pacientes sin patologías.
- ☞ Desviación lateral: La media y desviación estándar en las alteraciones periféricas se alejan sensiblemente del rango normal en todas las pruebas.
- ☞ La dispersión disminuye en las alteraciones centrales.
- ☞ Se estudió también la reproductibilidad de los registros efectuando una repetición de la prueba en la misma sesión. Se comprobó que existe una notable constancia en la repetición de una determinada pauta de desviación en pacientes con alteraciones orgánicas.
- ☞ Se estudió luego la reproductibilidad en intervalos mayores, realizando las pruebas en días distintos, el coeficiente de correlación demuestra la relación existente.

Para el diagnóstico se han elegido cinco configuraciones típicas que se relacionan con determinados síndromes (Figura II).

Tipo I: Normal. El paciente sólo se desplaza hacia adelante, manteniéndose en el rango normal y efectuando oscilaciones laterales de pequeña amplitud.

Tipo II: Alteraciones periféricas. El paciente se desvía hacia el lado alterado o hacia el lado del oído operado, efectuando pequeñas oscilaciones laterales.

Tipo III: Alteraciones centrales. El paciente se mueve con grandes oscilaciones laterales. Llama la atención la amplitud de dichas oscilaciones, generalmente sin desviación lateral.

Tipo IV: Lesión combinada. Oscilaciones considerables y desviación acentuada hacia un lado. Una craneocorpografía como la de la figura podría corresponderse con una alteración combinada central y periférica, o también una lesión central con comportamientos optokinéticos, vestibular y vestibuloespinal disociado.

Tipo V: Pauta cinética cambiante. Estos pacientes varían la respuesta a las pruebas en cada repetición. Este modelo permite reconocer una simulación o un vértigo psicógeno.

En presencia de alteraciones periféricas, la media y la desviación estándar de la desviación lateral difiere notablemente del rango normal de todos los exámenes y del de las pruebas efectuadas en personas sin patologías. De esto se deduce que los pacientes con éste tipo de alteraciones tienden, en mayor medida que los sujetos de prueba sanos, a desviarse hacia un costado.

Es importante considerar aquí que la conducción equilibratoria vestibular de la región espinal es influenciada en forma importante por el tono de los órganos vestibulares. Un desplazamiento del tono en los dos laberintos ocasiona una desviación hacia el lado del oído hipofuncionante. En los casos de afección unilateral de oído, los coeficientes de correlación indican, para la posición final de la cabeza y para la desviación lateral, una franca desviación y giro hacia el oído enfermo.

Los casos de alteraciones de equilibrio de origen central se distinguen claramente de los otros grupos por el ensanchamiento de las oscilaciones laterales de la cabeza.

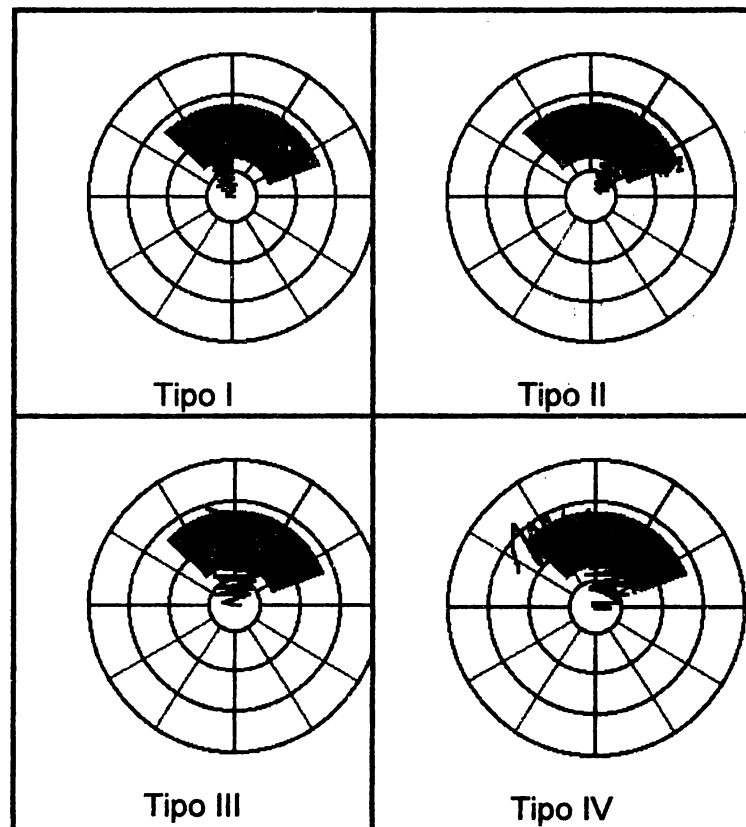


Figura II

Reconocimiento Estadístico de Patrones.(StatPR)

El reconocimiento estadístico de patrones supone, como su nombre lo indica, una base estadística como algoritmo de clasificación. Un conjunto de medidas características, son extraídas de la entrada de datos y utilizadas para asignar cada vector de características a una de c clases posibles.

Las características se suponen determinadas por la naturaleza del objeto en observación y por lo tanto, el modelo subyacente depende del conjunto de probabilidades o el conjunto de funciones de densidad de probabilidad de las clases [SCH92].

Aproximaciones al desarrollo de clasificadores basados en StatPR

La idea central de StatPR es el desarrollo de estrategias de clasificación o decisión, las cuales determinan los clasificadores. El diseño de un clasificador intenta integrar toda la información disponible sobre el problema, tales como medidas y probabilidades a priori.

Las reglas de decisión pueden ser formuladas de distintas formas interrelacionadas, por ejemplo:

- Convirtiendo una probabilidad de clase a priori $P(w_i)$ en una probabilidad condicional a posteriori $P(w_i | x)$.

- Formulando una medida del error de clasificación esperado y eligiendo una regla de decisión que minimice esta medida.

Ambas estrategias conducen a un particionado del espacio de características y pueden ser implementadas mediante funciones discriminantes.

El presente trabajo resuelve el problema del reconocimiento estadístico de patrones utilizando un clasificador óptimo que asigna el patrón x a la clase w_j según la regla de decisión de Bayes.[NIE89]

En un problema con dos clases, la regla de decisión está dada por la relación existente entre $P(w_1|x)$ y $P(w_2|x)$. Es decir, si $P(w_1|x) > P(w_2|x)$ entonces asigna x a w_1 , en caso contrario se asigna x a w_2 .

$P(w_j|x)$ es una probabilidad a posteriori y representa la probabilidad de que el patrón x provenga de la clase w_j .

Esta regla es óptima en el sentido que minimiza el error de la clasificación, es decir, el número promedio de clasificaciones erróneas.

Aunque la regla de Bayes es muy simple, es difícil de aplicar dado que en general, las probabilidades a posteriori son desconocidas y por lo tanto, deben ser estimadas.

Objetivo del trabajo:

El objetivo de este trabajo es la implementación de un sistema de reconocimiento de patrones correspondientes al recorrido del paciente durante la prueba, soportado por una microcomputadora, que permite identificar entre cuatro posibles tipos de alteraciones (normal, periférica, central y combinada), las cuales serán considerados clases de patrones.

Las características de estas clases de patrones son: amplitud de oscilación y desviación lateral. De esta manera, el espacio de características es un espacio de dos dimensiones.

Es necesario considerar que existen zonas de superposición entre clases donde la clasificación perfecta no es posible, por lo que debe tenerse en cuenta una cierta probabilidad de error en la decisión.

Específicamente se define un vector de características de 2×1 , digamos x , que representa las características de las entidades. Seleccionamos x_1 como medida de amplitud de oscilación y x_2 como desviación lateral.

Las características de cada clase son:

w1: oscilación y desviación pequeñas.

w2: desviación grande y oscilación pequeña.

w3: oscilación grande y desviación pequeña.

w4: oscilación y desviación grandes.

Estas clases se representan gráficamente en la Figura III.

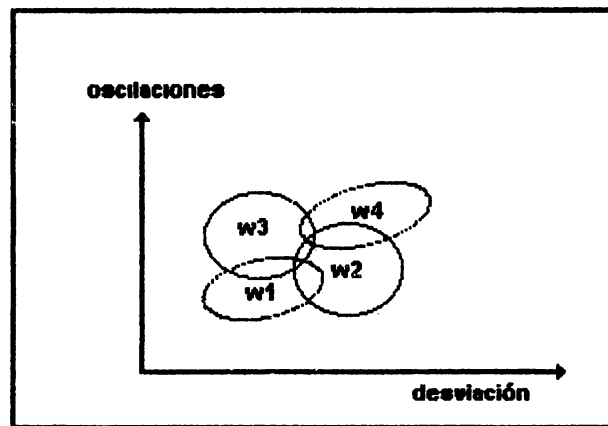


Figura III.

Obsérvese que existe una total correspondencia entre las clases w1, w2, w3 y w4, y las cuatro primeras configuraciones típicas de síndromes descriptas anteriormente, es decir, los pacientes normales pertenecen a la clase w1, los que tienen alteraciones periféricas a w2, los de alteraciones centrales a w3 y los que presentan lesiones combinadas, a w4.

Aquellos pacientes que a través de las distintas pruebas ofrezcan respuestas pertenecientes a diferentes clases serán identificados como pacientes de pautas cinéticas cambiantes y requerirán de un análisis complementario para poder llegar a un diagnóstico.

En el presente trabajo, se busca utilizar una red neuronal para determinar la probabilidad a posteriori directamente.

La arquitectura escogida es el Multilayer Perceptron, con función de activación sigmoide y algoritmo de entrenamiento Backpropagation. Este algoritmo de entrenamiento utiliza la técnica de la búsqueda del gradiente y la función a ser minimizada por el algoritmo es la suma del cuadrado de los errores.[FRE91][FAU91]

Dado un conjunto de ejemplos, se busca entrenar un estimador $\theta_i(X,W)$, en nuestro caso representado por un Multilayer Perceptron, para aproximar $P(w_i|X)$.

El vector W representa parámetros del estimador a ser determinado por el proceso de entrenamiento. En nuestra red neuronal, W estaría dado por los pesos que se aplican sobre el vector de características.

La función sigmoide garantiza una salida entre 0 y 1 y algunos autores muestran que sus salidas tienden a sumar 1 sin ninguna restricción especial.[HUS92]

Implementación:

La captación de imágenes para la craneocorpografía se realiza utilizando una cámara de video. Las imágenes así capturadas son procesadas mediante la aplicación de técnicas de procesamiento de imágenes y de reconocimiento de patrones a través de las cuales se llega en forma automática a un diagnóstico utilizando una red neuronal basada en un Perceptron Multilayer (Figura IV).

Además, para poder medir y evaluar objetivamente la estela luminosa, es necesario tomar un sistema de coordenadas polares de referencia, como puede verse en las cuatro craneocorpografías de la Figura II. Cada par de círculos están separados entre sí por 20 cm. y varían su tamaño según la altura del paciente.

Esto reemplaza totalmente al método convencional, en el cual se utiliza una cámara fotográfica con el diafragma siempre abierto para poder exponer varias veces un mismo cuadro, registrando los distintos fenómenos en una sola fotografía. Para que queden en esa fotografía registradas marcas que permitan distinguir las zonas de normalidad/anormalidad se utiliza un brazo rotatorio con marcas luminosas que gira con centro en la cabeza del paciente y permite el diagnóstico posterior realizado en forma *manual*.

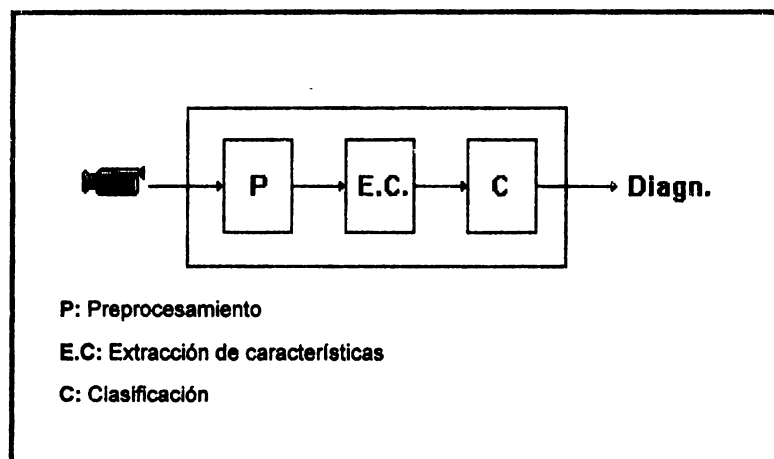


Figura IV

El diagnóstico de alteraciones del equilibrio mediante la craneocorpografía implica las siguientes etapas:

- **Adquisición:** Permite obtener una secuencia de imágenes reflejando el comportamiento del paciente durante la prueba [CHA94].
- **Preprocesamiento:** Para cada una de las imágenes adquiridas se realiza la extracción de bordes de cada uno de los cuatro puntos, su reducción a punto central (obtención del eje medio) y encadenamiento de puntos correspondientes en sucesivas imágenes (códigos de cadena).[JA189]

- **Extracción de Características:** evaluación de la amplitud de oscilación y desvío lateral para cada una de las cuatro señales, que surgen como resultado del seguimiento de cada punto a lo largo de la secuencia de imágenes adquiridas.
- **Clasificación :** con los resultados obtenidos del punto anterior, se procede a la identificación de la clase w_i correspondiente (StatPR) y consecuentemente al diagnóstico.

Cabe considerar que las dos primeras etapas son desarrolladas en tiempo real, mientras que las dos últimas se realizan *off line* sobre los datos obtenidos previamente.

Conclusiones

Se ha presentado el diseño de un sistema de diagnóstico de alteraciones del equilibrio, basado en el reconocimiento de patrones estadístico utilizando una red neuronal, el cual se encuentra aún en desarrollo.

La velocidad y la precisión posibles de obtener con un sistema automático como el descrito, mejoran el diagnóstico del médico especialista y al mismo tiempo aceleran la respuesta al paciente, dándole a la misma la objetividad que difícilmente logre un profesional.

Toda la documentación de este trabajo se encuentra disponible en el LIDI: 50 y 115 - 1er. Piso - (1900) La Plata - Argentina.

E-Mail : lidi@ada.info.unlp.edu.ar

Referencias

- [CLA70] "Die Craniocorpographie (CCG) eine einfache photooptische Registriermethode für vestibulo-spinale Reaktionen. Claussen C.F. Zeitsch. Laryngol., Rhynol., 1970.
- [CLA73] "Equilibrimetría Práctica". C.F.Claussen, J.M.Tato. Ed. Hasenciever. Octubre 1973.
- [FAU91] "Fundamentals of Neural Computations". Fausett
- [FRI91] "Neural Networks, Algorithms, Applications, and Programming Techniques". 1991
- [HUS92] "An Introduction to the Theory of Neural Networks". Hush and Horne. 1992
- [JAI89] "Fundamentals of Digital Image Processing". Anil K. Jain. Ed Prentice-Hall. 1986.

- [LAN93] "Diagnóstico de Alteraciones del Equilibrio en Tiempo Real". Lanzarini L., Champredonde J., Champredonde R., Estelrich P., De Giusti A. 1993.
- [LAN94] "Diagnóstico por Imágenes de Alteraciones del Equilibrio ". Lanzarini L., Champredonde J., Champredonde R., Estelrich P., De Giusti A. 1994.
- [NIE89] "Pattern Analysis and Understanding". Heinrich Niemann. Ed Springer-Verlag. 1989.
- [RA94] "Comparación de Experiencias en Procesamiento Paralelo Distribuido Aplicado al Reconocimiento de Patrones". Ramón H., Champredonde R., Champredonde J., Russo C., De Giusti A. 1994
- [SCH92] "Pattern Recognition. Statistical, Structural and Neural Approaches". Robert Schalkoff. Ed. John Wiley & Sons. 1992.
- [CHA94] "Video Blaster". Informe Técnico LIDI 94-002-09-4. Champredonde J., Lanzarini L. 1994