



Método de comunicación por posicionamiento ocular para pacientes afectados con ELA

A Minor *
L Leija *
R Muñoz *
JL Mosso **

* Sección de Bioelectrónica Departamento de Ingeniería Eléctrica. Av. IPN 2508, C.P. 07300 México D.F.
Tel: 57473850, Fax: 57477080
Aminor@mail.cinvestav.mx
** ISSSTE Clínica Alberto Pisanty
telesurgery@mixmail.com

Artículo recibido: 25/abril/2000

Artículo aceptado: 28/agosto/2000

RESUMEN

En el presente trabajo se describe el desarrollo de un sistema de comunicación que puede ser utilizado para aumentar la calidad de vida en pacientes afectados por la esclerosis lateral amiotrófica (ELA). El sistema de comunicación desarrollado utiliza la posición ocular voluntaria del paciente para establecer la comunicación, en conjunto con una interface gráfica y un cursor para navegar a través de ella. En la interface gráfica se presenta un teclado virtual donde es posible escribir frases y oraciones con funciones de borrado, avance y escritura que permitirán establecer la comunicación entre el paciente y el médico. El único requisito para establecer la comunicación escrita es que el usuario disponga de un sistema visual sano, en al menos uno de sus ojos

Palabras Clave:

Comunicación ocular, Navegación virtual, Escritura por medio visual.

ABSTRACT

This work describes the development of a communication system that can be used to increase the patient's quality life affected by amiotrofoc lateral sclerosis. This system uses to establish the communication, the patient's wish of ocular position, a graphic interface and a cursor to surf through it. In the graphic interface is possible to write phrases and sentences using a virtual keyboard with delete, go on and writing functions will allow establishing a communication between the patient and a physician. The only request for establishing the written communication is the user has of healthy visual system at least one of his or her eyes

Key words:

Ocular communication, Virtual surfing, Writing by visual way.

INTRODUCCIÓN

La esclerosis lateral amiotrófica produce en el ser humano una pérdida progresiva de la capacidad de movimiento voluntario, con consecuencias finales de

inmovilidad (se estiman más de 50,000 personas afectadas en el mundo⁽¹⁾). Una de las consecuencias naturales que se presenta en estas condiciones de inmovilidad es la falta de comunicación verbal entre el paciente y el medio que lo rodea; médicos especialistas,

investigadores y familiares. Esta incomunicación limita la relación médico-paciente para conocer los efectos progresivos de la enfermedad, limitando la información en el seguimiento de las terapias aplicadas de rutina o experimentales.

La otra consecuencia importante para el paciente, en estas condiciones; es la falta de comunicación con sus familiares, comunicación afectiva que es importante no perder para mantener el buen estado emocional del paciente.

Desde 1989⁽²⁾ se tienen antecedentes de investigaciones que buscan establecer un lazo de comunicación con pacientes afectados por la inmovilidad completa, utilizando el sentido visual para comunicarse, las principales limitaciones tecnológicas para desarrollar esta comunicación de manera confiable y transparente se han resuelto en este trabajo explorando y proponiendo una nueva metodología de reconocimiento de la posición ocular y de enlace interactivo visual.

MATERIAL Y MÉTODOS

La solución que nosotros proponemos para la comunicación utilizando el sentido visual se dividió en dos partes:

La primera consistió en determinar en un 100% de certeza la posición del ojo cuando está fijo o en movimiento⁽²⁾.

La segunda consistió en obtener la metodología para relacionar la posición o el movimiento ocular como medio de navegación en un ambiente gráfico y por este medio activar voluntariamente un teclado virtual, estableciendo de este modo la comunicación médico/paciente.

Reconocimiento de la Posición ocular

Existen dos métodos principales para registrar el movimiento ocular; los invasivos y los no invasivos^(3,4). Los primeros fueron desechados de facto por ser molestos para el usuario, cuando los utiliza por periodos prolongados de tiempo⁽⁵⁾, además de que su adecuación y mantenimiento no son sencillos. En cuanto a los no invasivos, se tienen dos métodos de registro que se pueden aplicar al problema, los detectores discretos de movimiento ocular por luz infrarroja y los que utilizan una cámara CCD. Los primeros se utilizaron de manera experimental en campimetría y como un medio de control en la Sección de Bioelectrónica del CINVESTAV IPN, MEXICO^(6,7,8). Su ventaja principal es que son de respuesta en tiempo real (analógicos). Sus desventajas principales son:

- No se reconoce con ellos la posición ocular exacta.
- La adecuación física de los sensores para cada usuario es diferente y esta adecuación física no es sencilla.
- El sistema de registro afecta el campo visual del usuario, limitando su aplicación para sistemas interactivos⁽⁸⁾.

Las razones anteriores indujeron a utilizar como sistema de registro la cámara de vídeo, la ventaja más importante de este método es que se puede determinar con precisión la posición ocular sin contacto físico con el paciente, pudiéndose utilizar por prolongados períodos de tiempo. Las desventajas principales de este método son:

- Los niveles de luz en la cara del usuario no son constantes durante el día.
- Para el reconocimiento de la posición ocular, el tiempo de análisis es crítico, al ser imágenes de 256 x 256 pixeles en línea el objeto a procesar, es difícil por este medio obtener una aplicación en tiempo real.

Se procedió a explorar las metodologías clásicas de reconocimiento de imágenes que se utilizan normalmente. Se tomaron inicialmente para el análisis, imágenes de rostros completos fuera de línea (como los demás grupos de investigación lo realizan)⁽²¹⁻²⁷⁾, considerando que el usuario bajo las condiciones de inmovilidad no tiene movimiento de cuello. Se le realizaron a estas imágenes los procesos de adecuación, filtrado, umbralizado, segmentación y finalmente, triangulación. Con este procesamiento se logró el propósito de reconocer la posición ocular, con los siguientes resultados: se determinó la posición ocular después de más de 4 segundos (Figura 1). Este tiempo es insuficiente para que la metodología sea aplicada a la comunicación interactiva.

Por la distancia de adquisición de la imagen, la determinación de la posición del ojo; derecha, izquierda, arriba, abajo, no es confiable, se tiene demasiada incertidumbre y no se garantiza una comunicación interactiva. La proporción del área de cada uno de los ojos representa en las condiciones de adquisición, 33 x 33 pixeles que es solamente el 1% del área total.

Se requiere de una marca sobre la cara del usuario para determinar la posición ocular con respecto a esa referencia.

Con la experiencia antes mencionada, se exploraron otros dos métodos de reconocimiento, sin utilizar la metodología clásica de reconocimiento de patrones. En la primera de ellas se tomó como marco de

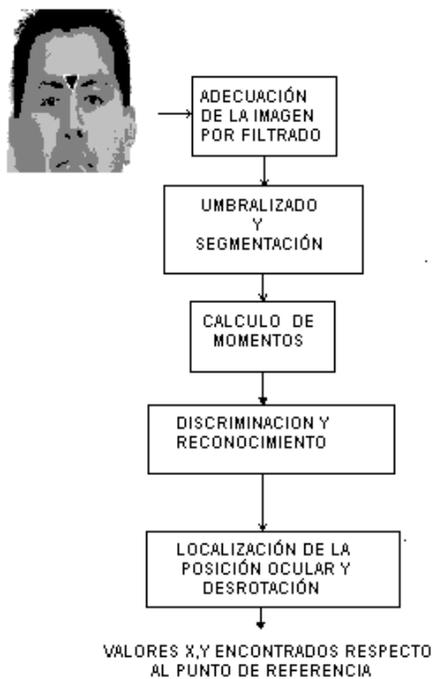


Figura 1. Metodología de reconocimiento ocular, utilizado para el análisis la cabeza completa del usuario y una marca como referencia para reconocer la posición ocular.

referencia para la triangulación las fosas nasales, se realizó además, un umbralizado dinámico para compensar las variaciones de luz natural y artificial; producto de reflejos y sombras. Además, se implementó un análisis canónico de la imagen (Figura 2) para reducir al máximo el análisis de zonas innecesarias.

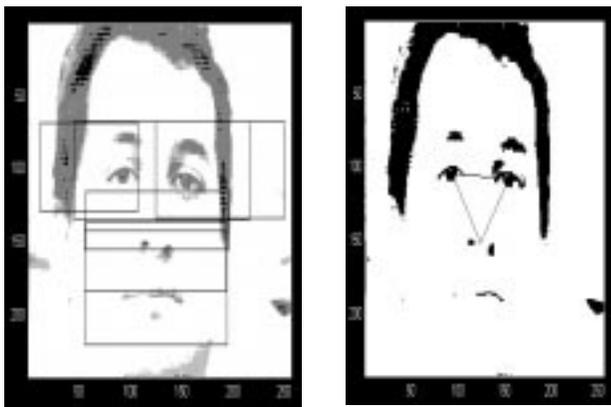


Figura 2. Canonizado de análisis de la imagen utilizando como primer paso el reconocimiento de las fosas nasales y su posición, posteriormente se procede al reconocimiento de la posición de los ojos respecto a las fosas nasales por el método de triangulación.

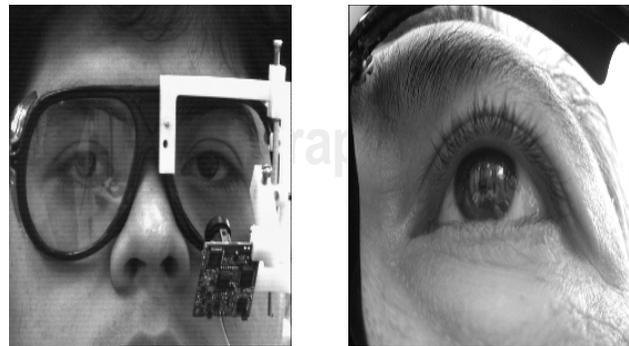


Figura 3. Sistema de registro, la imagen que "ve" el sistema, se puede apreciar en la segunda imagen, el área de trabajo para el análisis del ojo y el campo visual del usuario, que le permite tener una interacción visual adecuada.

El análisis canónico consistió en reconocer inicialmente la posición de las fosas nasales del usuario, considerando que las fosas nasales son los objetos más oscuros en la parte media del rostro, y además mantienen una distancia constante. Esta distancia se reconoce fácilmente analizando el histograma lateral de la imagen umbralizada en el eje equis. Después de esta primera aproximación, con los datos antropométricos del usuario se procede a realizar una búsqueda de la posición ocular, para finalmente realizar la triangulación. Durante la etapa de reconocimiento (Figura 2) no se utilizó la segmentación, se tomaron los histogramas laterales, reduciendo globalmente la localización ocular hasta 2 s, pero aún con incertidumbre respecto a los límites de la posición ocular, por la relación de área cabeza/ojos, debido a la distancia de adquisición. Con esta metodología se realizaron varias pruebas en línea. Las experiencias de navegación a esta tasa de reconocimiento permitieron observar que un retardo, como el que presenta la metodología obtenida (2 s) limita ostensiblemente la interacción, haciéndola molesta y aburrida. A causa del retardo el usuario tiene que esperar a que el sistema completo responda antes de realizar el siguiente movimiento ocular voluntario.

En la segunda metodología se decidió utilizar una microcámara colocada en unos anteojos (Figura 3), con este arreglo se observó que la relación de área del ojo que registra la cámara es lo suficientemente grande para tener límites seguros de discriminación durante la navegación también, debido a la cercanía de registro se pueden tomar zonas de análisis menores y bien determinadas. Para una imagen de 256 x 256 píxeles en estas condiciones de registro el área ocular corresponde a 80 x 90 píxeles aproximadamente.

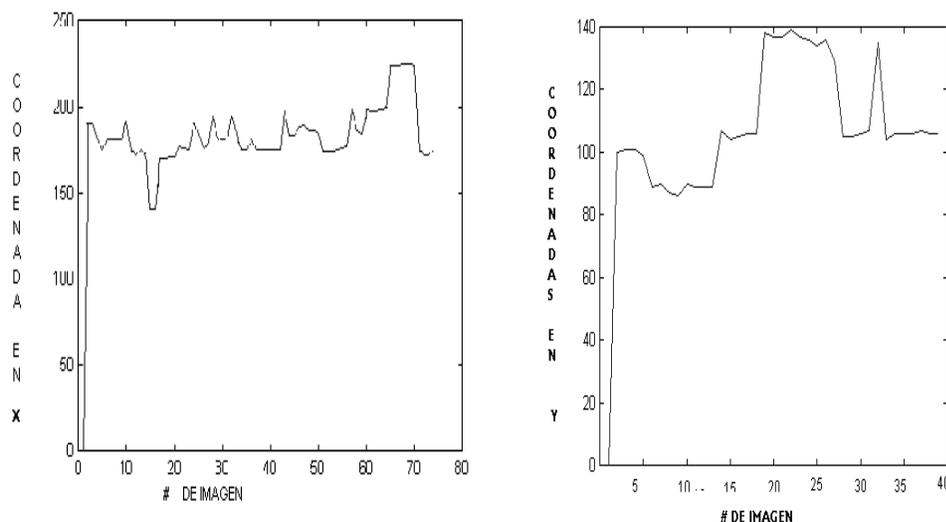


Figura 4. Comportamiento de la posición ocular durante el ajuste; en las ordenadas se encuentra el número de imagen que se procesa cada sesentavo de segundo, contra la posición del ojo reconocida, con respecto al marco de referencia.

te, área equivalente al 12% del área total, 650 veces más que con la metodología de registro inicial. Con este método la referencia (cámara) se mueve junto con el objeto (ojo) y, lo más importante, el arreglo físico de registro no limita el campo visual del usuario haciendo adecuado el arreglo físico para establecer la interacción visual (paciente-interface gráfica).

Los resultados obtenidos con esta metodología de reconocimiento ocular son:

- Tiempo de reconocimiento promedio 0.33 s.
- Área de discriminación suficiente entre una posición de activación y otra posición de activación para realizar una comunicación interactiva segura y confiable.
- Campo visual suficiente para que el usuario realice la interacción
- Sistema de referencia intrínseca (el marco de la imagen) para establecer la posición ocular

Sistema interactivo

Una vez resuelto el sistema de registro ocular se procedió a resolver la metodología interactiva paciente-computadora propiamente dicha.

Básicamente existen dos esquemas para diseñar una herramienta interactiva:

El primer esquema, se basa en diseñar una interfaz que sólo funcione para la aplicación, con este esquema se protege el diseño y solamente el diseñador puede crear más aplicaciones.

El segundo esquema, se basa en utilizar una herramienta de uso general en el que fácilmente se pueda migrar hacia otras aplicaciones.

Optamos por el segundo esquema para darle generalidad a la metodología de navegación y comuni-

cación, evitando al máximo sistemas adicionales tanto en programación como en circuitería, que elevarían el costo y el volumen del sistema.

La herramienta para relacionar la posición ocular, como señal de retroalimentación y el cursor en el ambiente gráfico, es un ratón de computadora. El análisis para utilizar esta herramienta se basa en que su funcionamiento requiere de 2 grados de libertad, que equivalen a 4 palabras de control, más una adicional para la activación. Los grados de libertad de esta herramienta coinciden con los grados de libertad disponibles en el sentido visual, así que con cuatro posiciones extremas del ojo es posible activar cada una de las opciones (derecha arriba, abajo, izquierda) y si el usuario mantiene su mirada en la posición central, después de transcurrido un tiempo predeterminado, el push button se activará electrónicamente. El ratón de computadora es un sistema electromecánico, así que para que sirviera a nuestros propósitos se rediseñó para que funcionara únicamente de manera electrónica. El resultado de la implementación es una interfaz interactiva transparente para el usuario, con tiempo de respuesta adecuado para garantizarle seguridad de activación y navegación.

Metodología de ajuste

Antes de que el usuario haga uso del sistema de comunicación es necesario un procedimiento de ajuste. El procedimiento consiste en determinar experimentalmente los umbrales o posiciones oculares de activación. En estas posiciones del ojo donde el usuario iniciará la activación voluntaria del desplazamiento del cursor sobre la pantalla (arriba, abajo, derecha e izquierda), así como la posición de activación del botón izquierdo del ratón (centro). Para el proceso de

ajuste de los límites de activación se utiliza un programa de registro continuo de la posición ocular.

Se le presenta al usuario, a una distancia de 50-70 cm, un monitor, en donde, en el centro se dibuja por programa un círculo relleno de 10 píxeles de diámetro. En el marco del monitor, se coloca un marco de aluminio con emisores de luz roja en la parte media de cada lado. Con esta infraestructura, el programa enciende y apaga sucesivamente cada emisor de luz durante 3 s, mientras se registran en un archivo las posiciones que toma el ojo durante el estímulo visual en los cuatro extremos, el usuario debe fijar la vista en el círculo central, cambiar la vista en cada estímulo luminoso que aparece y regresar a la posición central. Con este programa se registran las posiciones límites del ojo que servirán para activar el desplazamiento del cursor en las cuatro direcciones básicas.

El comportamiento de la posición ocular se muestra en las gráficas de la figura 4; en estas gráficas se aprecian los valores frontera que toma la posición ocular cuando se fija la vista en los emisores de luz, también los movimientos involuntarios del ojo y, la posición del ojo, cuando se fija la vista en el círculo central.

Los valores frontera de la posición ocular registrados experimentalmente con el programa de registro se actualizan en el programa principal de comunicación. Es entonces cuando el programa de comunicación, utilizando la interface gráfica se activa para que el usuario navegue voluntariamente con el cursor y escriba. La interface gráfica se presenta visualmente con zonas específicas de escritura, teclado, opción de salida, avance y borrado

RESULTADOS

Con la metodología finalmente obtenida se obtuvieron los siguientes resultados:

El tiempo de reconocimiento de la posición ocular y de enlace se resolvió en un tiempo promedio de 0.33 s

Se tiene un área de discriminación suficiente entre posiciones oculares de activación, por lo que se tiene un método suficiente que nos sirve como base para diseñar una herramienta de comunicación segura y confiable. Las posiciones extremas del ojo, raramente son utilizadas naturalmente para observar algún objeto, por esta razón son posiciones excelentes para activar sistemas, sin temor a realizar una activación involuntaria.

CONCLUSIONES

El campo visual del usuario es suficiente para realizar la interacción "visualmente".

El sistema de localización ocular no requiere de marcas externas para la referencia de posición.

El tiempo de respuesta obtenido (0.33 s) experimentalmente es imperceptible para el usuario durante la comunicación interactiva.

El sistema no requiere de ajuste continuo para su uso.

La herramienta de enlace obtenida es un estándar de comunicación que permitirá en un futuro inmediato desarrollar otras aplicaciones.

El sistema de comunicación se ha probado en su funcionamiento con 30 personas de diferente edad. Con esta prueba funcional encontramos que no existen limitaciones de uso, se valoró además un protocolo de entrenamiento para obtener mejores resultados.

La conclusión más importante en este trabajo es que de la experiencia recopilada, es posible utilizar la posición ocular voluntaria como medio alternativo de comunicación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Disability Information and Resources 1999
2. The Man-Machine interface Scientific & Medical MacMillan Press 1996
3. Robert A. Moses Fisiología del ojo, Aplicación Clínica Panamericana. 1990
4. L.R.Young and D. Sheena "Methods and designs:Survey of eye movements recording methods," Behavioral Res. Methods Instrum., Vol. 7, 1975
5. John R. LaCourse and Francis C. Hludik Jr. "An Eye Movement Communication-Control System for the Disabled" IEEE Transactions on Biomedical Engineering Vol. 37 No. 12 pp. 1215-1220 1990
6. Minor A. Leija L., Cancino A "Robotic Assistance for Disabled" V International Symposium on Biomedical Engineering 1994 Spain pp.111-112
7. Minor A., Almazan S. And Suaste E. "Optoelectronic Assistance for the Disabled" Spie, U.S.A. Vol 2218 1994 pp. 133-136
8. Minor A.,Leija L., Lara M., Cancino A., Vila E. Instrumentación Virtual para Minusválidos por movimiento Ocular III WorkShop de Iberchip México D.F. 1997 pp. 142-145
9. Chung-Lin Huang "Human Facial Feature Extraction for face Interpretation and Recognition" Pattern Recognition Vol 25 No. 7 1992 pp. 1435-1444
10. Gloria Chow "Towards a System for Automatic Facial Feature Detection. Pattern Recognition Vol 26 No. 12 1992 pp. 1739-1755
11. R. Wagner and H.L.Galiana "Evaluation of three template Matching Algorithms for Registering Images of the eye" IEEE Transactions on Biomedical Engineering Vol. 39 No. 12 1992 pp. 1313-1319
12. X. Xie, Re "On improving eye feature extraction using deformable templates" Pattern Recognition Vol 27 No. 6 1995 pp. 791-799
13. Andrew Gee and Roberto Cipolla "Determining the gaze of faces in images" Image and Vision Computing, Vol. 12 No. 10, December 1994, pp. 639-647.

14. Kin - Man Lam and Hong Yan "Locating and extracting the eye in human face images" Pattern Recognition VOL. 29 No. 5, pp. 771-779, 1996.
15. Alan Bryan Recognizing shapes in planar binary images Pattern Recognition Vol. 22 1989 155-164
16. x.Y. Jiang and H. Bunke Simple and fast computation of moments Pattern recognition Vol.24 No. 8 1991
17. C.C. Chang, S.M. Hwang, and D.J. Buehrer. A shape recognition scheme based on relative distances of feature points from the centroide. Pattern Recognition Vol. 24 no. 11 1991 1053-1063
18. D. Proffitt The measurement of circularity and ellipticity on a digital grid Pattern Recognition Vol.24 no. 8 1991
19. Rafael C. Gonzalez, Paul Wintz Digital Image Processing Addison-Wesley 1977
20. K.S.FU, R.C.Gonzalez, C.S.G. Lee ROBOTICA CONTROL, DETECCIÓN, VISIÓN E INTELIGENCIA Mc Graw Hill segunda edición 1990
21. Baosheng Hu and MingHua Qui "A new method for human-computer interaction by using eye gaze" System Engineering Institute, Xi'an 710049, China IEEE, Pag. 2723-2727 1996
22. Everett E. Crisman, Anne Loomis, Robin Shaw, Sofia Laszewski "Using the Eye Wink Control Interface to Control a Powered Wheelchair" IEEE Rehabilitation Engineering, Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Vol 13, No 4 1991
23. Thomas E. Hutchinson, K. Preston white Jr., Worthy N. Martin, Kelly C. Reichert and Lisa A. Frey Human-Computer Interaction Using Eye-Gaze input IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Vol. 19 No. 6 1989 pp. 1527-1533
24. Burger Dominique "Improved access to computers for the visually handicapped: New prospects and principles" IEEE Transactions on rehabilitation engineering Vol. 2 No. 3, September 1994.
25. Philippe Ballard and George C. Stockman "Controlling a computer via facial aspect", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 4, April 1995
26. Carlo Colombo, Alberto del Bimbo and Silvio de Magistris. "Combining head tracking and pupil monitoring in vision-based human-computer interaction" CAIP'95 Proceedings, LNCS 970, pp. 717-722. 1995
27. Ricketts, Y. W.; Cirns, A. Y; Newell, A. F. "ARCHIE - an essential component in mechatronic aids for the disabled". IEE Colloquium Mechatronic aids for the disabled , pp 11/1. 1996