

Modelos Computacionales del Comportamiento Ocular para la Evaluación del Desempeño Cognitivo

Juan A. Biondi^(1,2,4), Gerardo Fernández^(2,4), Marcela Schumacher^(2,4), Juan Arriola^(3,4),
David Orozco^(4,5), Liliana R. Castro^(3,4), Silvia M. Castro^(1,4), Osvaldo Agamennoni^(2,4)

⁽¹⁾VyGLab, Dpto. de Cs. e Ing. de la Computación

⁽²⁾Dpto de Ing. Eléctrica y de Computadoras, Instituto de Investigación en Ingeniería Eléctrica (IIIIE)

⁽³⁾Dpto. de Matemática

⁽⁴⁾Grupo de Investigación y Desarrollo en Procesos Cognitivos (www.gmics.diec.uns.edu.ar)

Universidad Nacional del Sur – Avda. Alem 1253- (8000) Bahía Blanca

⁽⁵⁾Clínica Privada Bahiense, Darregueira 1127, (8000) Bahía Blanca

juan.biondi@gmail.com, gerardo.fernandez@uns.edu.ar, schumachermarcela@gmail.com,

juan.arriola@uns.edu.ar, davidorozco@live.com, lcastro@uns.edu.ar, smc@cs.uns.edu.ar,

oagamen@uns.edu.ar

Resumen

El seguimiento de los movimientos oculares (eye tracking) permite evaluar la información adquirida por una persona durante la lectura u observación de una imagen. Durante ambos procesos, el ojo realiza movimientos sacádicos seguidos de fijaciones en las cuales la información es adquirida para luego ser interpretada por el cerebro. El *eye-tracker* registra y graba tanto el lugar de fijación ocular de donde se extrae la información, y como el tiempo que necesita la persona para procesar la información. Esta técnica es utilizada en disciplinas muy diversas vinculadas a la evaluación de los procesos cognitivos que se desarrollan en un ser humano. Estos procesos constituyen un importante desafío desde el punto de vista del modelado de los mismos. Su estudio permitiría avanzar en el conocimiento sobre el manejo eficiente de la información y el control óculo-motor, que tienen implicancias en diversas áreas como la medicina, las interfaces hombre-máquina y la ingeniería de sistemas cognitivos, entre otras.

Nuestro grupo de investigación tiene como objetivos el desarrollo de métodos para diagnosticar y medir el deterioro cognitivo temprano a partir del modelado del movimiento ocular.

Palabras clave: *movimiento ocular, enfermedad de Alzheimer leve, deterioro cognitivo.*

Contexto

Este trabajo se desarrolla en el contexto de la línea de investigación Identificación y Desarrollo en Procesos Cognitivos. El grupo está integrado por becarios e investigadores del Dpto. de Matemática, del Dpto. de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras pertenecientes al Instituto de Investigaciones en Ingeniería Eléctrica (IIIIE) y del Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Visualización y Computación Gráfica (VyGLab) del Dpto. de Ciencias e Ingeniería de la Computación, todos ellos pertenecientes a la Universidad Nacional del Sur.

La línea de Investigación presentada está inserta en el proyecto Proyecto PICT 2013 0403 *Evaluación del desempeño cognitivo a través del comportamiento ocular* Categoría: Plan Argentina Innovadora 2020. Tipo: A, dirigido por el Dr. Osvaldo Agamemnoni y financiado por la ANPCyT.

Introducción

Para la Organización Mundial de la Salud, la Enfermedad de Alzheimer (EA) es uno de los problemas de salud pública más relevantes de este siglo. La *Alzheimer's Disease International* (<http://www.alz.co.uk>) estima que el número de afectados de EA a nivel mundial treparía de cerca de 40 millones actuales, a 140 millones para el año 2050. Según la Fundación Favaloro, actualmente la EA afecta a más de 400.000 personas en Argentina. Si se aplicara el mismo modelo que el de la *Alzheimer's Disease International*, la población de afectados en Argentina para el año 2050 sería de 1.4 millones de personas.

Las etapas de desarrollo de la EA son: Pre-sintomática, Asintomática en riesgo, Prodrómica y Demencial (leve/moderada/severa) [1]. En la etapa Prodrómica aparecen los primeros síntomas (olvidos preocupantes y eventuales cambios de conducta) conservando el paciente cierta autonomía y capacidad funcional.

Resulta de suma importancia poder hacer un diagnóstico temprano en las etapas "Pre-sintomática" o "Asintomática en riesgo", es decir antes de que la EA se manifieste. Actualmente no se dispone de métodos precisos de detección en dichas dos primeras etapas y que puedan llevarse a cabo masivamente y con un costo

relativamente bajo. Por el contrario, la detección de la EA se lleva a cabo mediante una resonancia magnética que permite conocer si el patrón de atrofia del cerebro es típico de Alzheimer.

Dado que los fármacos actuales son medicamentos que no curan la enfermedad pero sí ayudan a ralentizar la evolución de la misma, la detección temprana de la EA permitiría extender el tiempo transcurrido entre la aparición de los primeros síntomas y la irrupción de la demencia. De esta manera, sería posible prolongar una calidad de vida razonable para el paciente y el entorno familiar, como así también reducir el costo asistencial, ya que el mismo se incrementa considerablemente con la evolución de la patología.

Lograr avances en el conocimiento sobre el modelado de los movimientos oculares en el proceso de lectura y de observación de una escena o imagen nos permitirá ahondar en el conocimiento de las estrategias que utiliza el cerebro cuando procesa información. Por ejemplo, cómo reconoce individualmente las palabras, cómo filtra la información del ruido, etc. En el caso de la lectura, los movimientos lineales, de salteo, de retroceso y curvos muestran qué tipo de estrategias desarrollan los lectores para percibir una oración, para entenderla y, finalmente, para recordarla [10]. Del análisis de este proceso dinámico ya hemos encontrado, en el caso de la lectura, patrones cognitivos y conductuales que son de gran interés para estudiar deterioros propios de enfermedades neurodegenerativas, tales como la EA. Definir nuevos y mejores modelos que permitan tener en cuenta aspectos fisiológicos del sistema óculo-motor permitirá efectuar mejores predicciones sobre tales comportamientos.

Líneas de Investigación, Desarrollo e Innovación

En la línea de investigación planteada en este proyecto se pretende avanzar en encontrar metodologías que permitan una evaluación objetiva (no dependiente del profesional que la efectúa), sin someter a estrés a la persona evaluada y no invasiva (se registran los movimientos oculares con una cámara de video de alta velocidad) que posibiliten detectar Deterioro Cognitivo Leve (DCL) o incipiente [1]. De esta manera se pretende facilitar la determinación de deterioro cognitivo normal por edad del producido por otras patologías neurodegenerativas y, posteriormente, el seguimiento temporal periódico del paciente.

Resultados y Objetivos

En el grupo de trabajo se desarrolló un método orientado al diagnóstico y medición del deterioro cognitivo temprano a partir del modelado del movimiento ocular durante el proceso de lectura ([2], [5], [6], [7], [8]). Se desarrollaron diversos modelos del comportamiento ocular que permiten evaluar la manera en que personas sanas y pacientes en una fase muy temprana de la enfermedad procesan información durante la lectura. Para ello se diseñó el material de estímulo apropiado que permitió medir el desempeño de la memoria ejecutiva, de la memoria de trabajo, de la memoria semántica y de la memoria de recuperación (*retrieval memory*).

A partir de este trabajo de investigación se analizaron distintos aspectos de la problemática del DCL o incipiente. Se estudiaron los efectos de la predictibilidad de las palabras actualmente fijada y de las entrantes (que no son necesariamente las inmediatas siguientes) sobre la duración

de la fijación. Cuando una oración es leída por lectores sanos, se generan expectativas y realizan predicciones sobre las palabras entrantes reduciendo luego el tiempo de fijación ocular sobre tales palabras. Tales fijaciones permiten evaluar el funcionamiento de la memoria de trabajo, de la memoria semántica y de la memoria de recuperación, entre otras facultades. Esta capacidad predictiva se distorsiona durante los primeros estadios de la enfermedad [6].

Se analizó el efecto de la previsibilidad contextual de una oración en el comportamiento del movimiento ocular de los pacientes con enfermedad de Alzheimer leve, en comparación con los controles de la misma edad, utilizando la técnica de eyetracking y modelos lineales de efecto mixto [7]. Los resultados de este trabajo indican que es posible hacer el diagnóstico temprano del deterioro cognitivo típico de una enfermedad tipo Alzheimer [1] y, por otro lado, que existe un amplio margen de variación en dicho comportamiento sobre el cual es importante concentrar el estudio, con el fin de evaluar la posibilidad de hacer una detección antes de llegar a la etapa Prodrómica.

Nuestro objetivo es utilizar esta capacidad de abordaje sobre temáticas de modelado al caso particular del sistema oculomotor a los efectos de vincular los aspectos sistémicos funcionales con los fisiológicos y cognitivos.

Una de las primeras actividades previstas es definir una serie de marcadores que muestren claramente el desempeño cognitivo vinculado a los aspectos atencionales, de funcionamiento de la memoria de trabajo, la memoria ejecutiva y la memoria semántica.

Se estudiarán diversas formulaciones de los mismos con el fin de contar con un conjunto que permita describir, de la mejor manera posible, los distintos aspectos de la capacidad cognitiva de una persona. Para ello se utilizarán también técnicas que permitan cuantificar la incertidumbre de los modelos [13] a los efectos de mejorar progresivamente las estimaciones a medida que se adquieran nuevos datos y poder estimar con la mayor precisión posible un DCL ocasionado por la EA.

Con el objetivo de facilitar la rápida comprensión de toda la información disponible y su desarrollo temporal por parte de los profesionales de la salud, se estudiarán y evaluarán distintas alternativas de visualización de la misma ([3],[4],[9]).

Formación de Recursos Humanos

El Dr. Agamenmoni y la Dra. Liliana Castro son especialistas en el área de desarrollo de modelos determinísticos y de los límites de incertidumbre de los mismos. La Dra. Silvia Castro trabaja en el área de Visualización. El Dr. Gerardo Fernández trabaja en el modelado de los movimientos oculares y su utilización en el desarrollo de técnicas de diagnóstico de deterioro cognitivo. La Farm. Marcela Schumacher realiza tareas vinculadas con la evaluación de la técnica de diagnóstico temprano de deterioro cognitivo y el Dr. David Orozco realiza actividades vinculadas con los aspectos médicos. El Ing. Juan Biondi trabaja en aspectos computacionales del desarrollo de los tests y en el diseño y desarrollo de las visualizaciones adecuadas. El Prof. Juan Arriola está trabajando en el procesamiento y clasificación de ondas electroencefalográficas (EEG) utilizando wavelets y redes neuronales, con la idea de utilizar un electroencefalógrafo

simultáneamente con el eytracker durante el proceso de lectura.

Tesis en Desarrollo

Tesis de Doctorado en Ciencias de la Computación

- Juan Andrés Biondi. *Desarrollo de modelos del comportamiento ocular*. Dirección: Dra. Silvia Castro, Dr. Osvaldo Agamenmoni.

Tesis de Magíster en Matemática

- Juan Manuel Arriola. *Representación matemática de ondas cerebrales*. Dirección: Dra. Liliana Castro.

Trabajos finales de Carrera

- Juan Andrés Biondi. Tema: *Framework para evaluación y análisis de comportamientos en ambientes dinámicos e interactivos usando Eye-Tracker*. Proyecto Final Ing. En Sistemas de Computación Dirección: Dra. Silvia Castro, Ing. Ma. Luján Ganuza. 2014.
- Rodolfo Carlos Bavio. *Desarrollo de un prototipo de eyetracker: parte I*. Proyecto Final. Dirección: Dr. Osvaldo Agamenmoni. 2014.
- Enzo Omar Filocamo *Desarrollo de un prototipo de eyetracker: parte II*. Proyecto Final. Dirección: Dr. Osvaldo Agamenmoni. 2014

Becarios

- Juan A. Biondi. Becario PICT.
- Juan M. Arriola. Becario UNS.

Cursos relacionados con el tema de la línea de Investigación dictados por integrantes del Grupo de Trabajo

Cursos de Pregrado

- Wavelets de primera generación: Una introducción. Materia optativa para los estudiantes de la Licenciatura en Matemática. Liliana Castro. Dto. de Matemática. UNS.
- Visualización. Materia optativa para los estudiantes de la Licenciatura en Cs. de

la Computación y de la Ingeniería en Sistemas de Computación. UNS

- Procesamiento de Imágenes. Materia optativa para los estudiantes de la Ingeniería en Sistemas de Computación. UNS
- Teoría de Sistemas Lineales.

Cursos de Posgrado

- Introducción a la teoría de wavelets y sus aplicaciones. Liliana Castro. Dpto. Graduados U.N.S.
- Seminario: Aplicaciones de wavelets Liliana Castro. Dpto. Graduados U.N.S.
- Modelación de Sistemas. Osvaldo Agamennoni Dpto. Graduados U.N.S.
- Procesamiento y Análisis de Imágenes. Silvia Castro, Dpto. Graduados U.N.S.
- Introducción al Análisis Funcional y a la Teoría de Operadores. Liliana Castro. Dto. de Matemática.

Referencias

1. Alberta, M.S., DeKosky, S.T., Dickson, D., Duboise, B., Feldman, H., Fox, M., Gamst, A., Holtzman, D.M., Jagust, W.J., Petersen, R.C., Snyder, P.J., Carrillo, M. C., Thies, B., Phelps, C.H. *The diagnosis of mild cognitive impairment due to Alzheimer's disease: Recommendations from the National Institute on Aging-Alzheimer's Association workgroups on diagnostic guidelines for Alzheimer's disease.* Alzheimer's & Dementia. Vol 7, pp: 270–279. 2011.
2. Alvarez, M., Castro, L., Agamennoni, O. *Set Membership Estimation Theory for Wiener Modelling using HLCPL Functions.* International Journal of Modelling, Identification and Control. Vol 14, pp 13-26. Nos. ½, 2011.
3. Card, S., Mackinlay, J., Shneiderman, B., *Readings in Information Visualization – Using Vision to Think*, M. K., 1999
4. Escarza, S., Larrea, M., Urribarri, D., Martig, S., Castro, S., *Integrating Semantics in the Visualization Process.* En Scientific Visualization: Interactions, Features, Metaphors, Dagstuhl FOLLOW-UPS Series Hans Hagen Ed., Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum für Informatik. Dagstuhl, Alemania, 2, 92-102, Vol2, 2011.
5. Fernández, G., Castro, L., Schumacher, M., Agamennoni, O. *Diagnosis of mild Alzheimer Disease through the Analysis of Eye Movements during Reading.* Journal of Integrative Neuroscience. (en prensa). 2015.
6. Fernández G., Laubrock J., Mandolesi P., Colombo O., Agamennoni O. *Registering eye movements during reading in Alzheimer disease: difficulties in predicting upcoming words.* Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology. Vol. 36, Iss. 3, pp: 302-316. 2014^a.
7. Fernandez G., Manes F., Rotstein N., Colombo O., Mandolesi P., Politi L., Agamennoni O. *Lack of contextual-word predictability during reading in patients with mild Alzheimer disease* Neuropsychologia, Vol 62, pp 143:151. 2014b.
8. Fernández G., Schumacher M., Mandolesi P., Colombo O., Castro L., Agamennoni O. *Eye movement behavior during reading in patients with probable Alzheimer disease.* Presentado en la 17th European Conf. of Eye Movements (ECEM), Lund, Suecia, 2013c
9. Ganuza, M.L., Ferracutti, G., Gargiulo, M. F., Castro, S., Bjerg, E., Matkovic, K., Gröller, E. *The Spinel Explorer – Interactive Visual Analysis of Dpinel Group Mineral.* IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, 20(2), 1913-1922, 2014.
10. Kliegl, R., Nuthmann, A., Engbert, R. *Tracking the mind during reading: The influence of past, present, and future words on fixation durations.* Journal of Experimental Psychology: General, 135, 12-35. 2006
11. Sigut, J., Piñeiro, J., González, E., Torres, J. *An expert system for supervised classifier design: Application to Alzheimer diagnosis.* Expert Systems with Applications 32 927–938. 2007.
12. Škrjanc, I., Blažič, S., Agamennoni, O. *Interval fuzzy model identification using l_∞ -norm.* IEEE Trans. on Fuzzy Systems. Vol. 13, No.5, pp 561-568, 2005.
13. Uusitalo L., Lehtikoinen A., Helle I., Myrberg K. *An overview of methods to evaluate uncertainty of deterministic models in decision support.* Environmental Modelling & Software Vol: 63, pp: 24-31. 2015.