

Sistema de Soporte para Gestión y Manejo de Información Orientado al Estudio del Neuro-desarrollo Infantil

Cano Ortiz, Sergio D. ¹
Lombardía Legra, Lienys ²
Martínez Cañete, Yadisbel ³
Langmann, Reinhardt ⁴
Jacques, Harald ⁵
Guilarte Tellez, Jorge ⁶

¹ Universidad de Oriente, CENPIS, Santiago de Cuba, Cuba, scano@uo.edu.cu

² Universidad de Oriente, CENPIS, Cuba, lienys@uo.edu.cu

³ Universidad de Oriente, CENPIS, Cuba, ymartinez@uo.edu.cu

⁴ Universidad de Ciencias Aplicadas de Duesseldorf, CCAD, Duesseldorf, Alemania, langmann@ccad.eu,

⁵ Universidad de Ciencias Aplicadas de Duesseldorf, CCAD, Duesseldorf, Alemania, harald.jacques@hs-duesseldorf.decu

⁶ Hospital Infantil Sur, Dpto. de Neurofisiología, Santiago de Cuba, Cuba, jorge.guilarte@infomed.sld.cu

Resumen: El presente trabajo aborda la implementación de un sistema de soporte al Sistema de Gestión de Información (SGI) para la Consulta Provincial del Neuro-desarrollo y Discapacidad Infantil (CPNDI) en Santiago de Cuba, que actualmente se desarrolla en una colaboración científica entre la Universidad de Oriente (UO) y la Universidad de Ciencias Aplicadas de Duesseldorf, Alemania. Parte de la necesidad de vincular el SGI con los resultados del uso del análisis del llanto infantil (ALLI) orientados al estudio del neuro-desarrollo infantil obtenidos por el grupo de Procesamiento de Voz de la UO. Se desarrollan herramientas de software en función de tres subsistemas (gestión de información clínica y acústica del llanto, entrenamiento del personal multidisciplinario que aplicará la metodología de diagnóstico con ayuda de ALLI y la clasificación de la señal de llanto) haciendo uso de tecnologías Web, elementos de computación suave y reconocimiento de patrones. Se desarrollaron varias pruebas de control en ambiente limitado a la intranet de la UO verificándose el cumplimiento de todas las funcionalidades para los 3 subsistemas del sistema de soporte. Las herramientas de software desarrolladas MediCry v1.0 y CryTrainer v1.0 (ambas con tecnología web) así como el clasificador híbrido de llanto (offline) facilitan el manejo efectivo de la información multidisciplinar que debe conducir a una detección temprana de bebés en riesgo que serán posteriormente estudiados, evaluados y pesquisados por la CPNDI.

Palabras clave: telemedicina, neuro-desarrollo infantil, análisis de llanto infantil.

I. INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de pesquisar precozmente alteraciones neurológicas, sensoriales y describir los factores de riesgo asociado en infantes recién nacidos surge en la década de los 90 la Consulta Provincial de Neuro-desarrollo y Discapacidad Infantil (CPNDI) en Santiago de Cuba, donde se pesqu岸an los recién nacidos que hayan terminado su vida posnatal con algún tipo de secuela tanto desde el punto de vista Neurológico como de Discapacidad Motora o Funcional. La misma se encuentra ubicada en el Hospital Infantil Sur y atiende a toda la población infantil de la provincia de Santiago de Cuba. La CPNDI cubre varios servicios como: atención a niños con factores de riesgo a debutar con alguna discapacidad o desviación de su neuro-desarrollo, el diagnóstico temprano de desviaciones en el neuro-desarrollo de neonatos, la rehabilitación de niños con limitaciones físicas, visuales y auditivas, facilitar la educación del niño en ambiente de familia, cualificar profesionales para atención de esos grupos de prioridad, entre otros.

La misma ha sido factor participativo importante en las investigaciones que el Grupo de Procesamiento de Voz (GPV) del Centro de Estudios de Neurociencias, Procesamiento de Imágenes y Señales (CENPIS), Universidad de Oriente (UO) ha desarrollado a través del proyecto *Análisis del Llanto Infantil Orientado al Neuro-desarrollo Infantil* que ha permitido obtener importantes hallazgos e información con potencial para el diagnóstico neonatal a partir del procesamiento digital de la señal de llanto (1-2), mostrado en el resultado principal del GPV: una metodología de diagnóstico neonatal basada en Análisis de Llanto Infantil (ALLI) en enfermedades del Sistema Nervioso Central (SNC) en niños con trasfondo de hipoxia (3).

No obstante los éxitos y avances de la CPNDI persisten ciertas dificultades que limitan su accionar e impacto como: la no automatización del flujo de información vinculada con el estudio del neuro-desarrollo y discapacidad infantil, la no detección temprana de algunos casos de infantes que luego debutan con desviaciones en su neuro-desarrollo y discapacidades vinculantes. Por otro lado no hay vínculo entre las herramientas de ayuda al diagnóstico basado en ALLI con el flujo de información que maneja la CPNDI. Este vínculo debe garantizar: la introducción de la metodología de ayuda al diagnóstico basada en ALLI (3), el manejo de la información cibernética y estadística derivada del procesamiento digital del llanto, la ayuda a la detección temprana de posibles pacientes a ser seguidos por la CPNDI así como la preparación multidisciplinar del equipo de trabajo de la CPNDI que hará uso de la metodología de diagnóstico basada en ALLI.

En la actualidad se desarrolla un Sistema de Gestión de la Información (SGI) de la CPNDI en una colaboración entre la UO y la Universidad de Ciencias Aplicadas de Duesseldorf (UCAD), Alemania (proyecto WebIND) que debe atenuar considerablemente las limitaciones abordadas anteriormente. Para ello es necesario primero implementar un Sistema de Soporte al SGI que garantice el manejo de la información basada en análisis de llanto infantil (ALLI) y el uso de la metodología de diagnóstico neonatal basado en ALLI para una detección precoz de los neonatos en riesgo a ser tratados y seguidos por la CPNDI.

El objetivo central de la ponencia va dirigido al desarrollo e implementación de un sistema de soporte compuesto por herramientas de software no propietario (open source) que contribuya al cumplimiento de dos aspectos específicos:

(a) detección temprana de casos de recién nacidos a ser estudiados en su neuro-desarrollo por la CPNDI (según criterio multidisciplinar que incluye análisis del llanto infantil).

(b) informatización de todos los datos vinculados a la clínica inicial y procesamiento digital de su señal de llanto.

II. MÉTODO

2.1 Metodología de ayuda al diagnóstico neonatal basada en ALLI.

Esta metodología es el resultado de años de trabajo del GPV (1-5) visualizado inicialmente en una tesis doctoral defendida en 2010 (3) la cual se encuentra en su fase inicial de pruebas e introducción en la práctica médica. La metodología concibe la incorporación al diagnóstico clínico tradicional de la clasificación del llanto infantil a partir de técnicas derivadas de la computación suave y el reconocimiento de patrones (RP) (4-5). A la salida de la misma se debe dar un diagnóstico diferencial por el personal médico que determinará el seguimiento o no del neonato por la CPNDI. En la Fig 1 se visualiza su funcionamiento

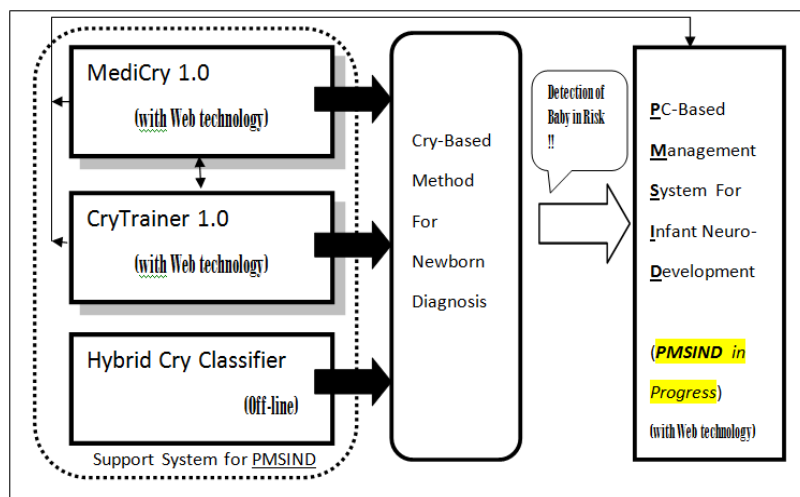


Fig. 1 Esquema de trabajo del Sistema de Soporte como gestor de información previa para el Sistema Informático de Gestión (SIG) de la CPNDI

Como se observa en la Fig. 1 el sistema de soporte suministra, al equipo multidisciplinar de especialistas que tienen la responsabilidad de aplicar la metodología de diagnóstico con apoyo del ALLI, tres tipos de información:

1. toda la información clínica inicial e información obtenida del procesamiento de la señal de llanto (paramétrica y estadística) del neonato (incluye información auditiva con los ficheros .wav con las grabaciones de llanto, el espectrograma digital y contorno tonal correspondiente) (suministrado por MediCry v1.0)
2. entrenamiento de los miembros del equipo multidisciplinar no familiarizados con el ALLI, los cuales se entrenan en adquirir habilidades para encontrar pistas con peso diagnóstico en el espectrograma digital del llanto del bebé (aportado por el Cry Trainer v1.0).
3. la ubicación en la clase normal o patológica del llanto del bebé a partir de la aplicación de un clasificador híbrido de llanto infantil.

Ver que los 2 primeros tipos de información se gestionan online vía web (se prevén vínculos de acceso al PMSIND¹). El clasificador en (3) entrega su información off-line.

Al aplicarse la metodología toda la información proveniente de los 3 grupos o sub-sistemas, más la proveniente de exámenes de reconocimiento del neonato realizados por los médicos especialistas arrojarán un resultado que ubica o no al bebe en una situación de riesgo de desviación en su neuro-desarrollo (bebé en riesgo), el cual de inmediato es remitido a consulta en la CPNDI para su estudio, valoración y posible seguimiento.

III. RESULTADOS

A. Manejo de la información clínica y cibernética del neonato.

Estudios e investigaciones vinculadas con el llanto infantil demuestran que el llanto del niño recién nacido puede contribuir al diagnóstico temprano de determinadas patologías en el lactante (1,3,6-7). El GPV del CENPIS Universidad de Oriente viene desarrollando el proyecto *Análisis de Llanto Infantil Orientado al Neuro-desarrollo* en estrecha colaboración con unidades de servicio neonatal en hospitales de Santiago de Cuba. Este proyecto necesita, entre otras cosas, la colección de un gran número de muestras de llanto, lo cual implica un enorme volumen de información. Manejar este volumen de información sería muy engorroso si no se contara con una base de datos adecuada (corpus).

Diseñada a tal efecto MediCry 1.0 es un software concebido para la consulta de dicha base de datos, a la cual se accede mediante un ambiente web. Esta consta de una tabla maestra con campos que describen casos clínicos de niños sanos y patológicos. El Módulo de Datos, contiene información del niño, la madre, factores prenatales y del periparto. El Módulo de ALLI tiene las grabaciones de llanto (archivos .wav), los espectrogramas de banda ancha y banda estrecha, contorno tonal y oscilogramas correspondientes a cada señal de llanto. En la Fig 2 se muestra una salida del software MediCry v1.0 donde se visualiza para un caso de neonato específico una tabla con información de los diferentes parámetros estimados de su señal de llanto, el oscilograma y el espectrograma de banda estrecha correspondiente.



Fig. 2 : Una pantalla del MediCry v1.0

¹ Es el sistema de gestión de información (SGI) actualmente en desarrollo a través del proyecto WebIND (investigación conjunta entre UO y la UASD con financiamiento del DAAD)y

B. Clasificación híbrida de la señal de llanto infantil.

Se desarrollaron por el GPV varios clasificadores híbridos que combinan modelos conexionistas con modelos evolutivos y difusos con resultados superiores a los clasificadores de llanto estándar (basados en redes neuronales, en valores umbrales) (4-5). El clasificador híbrido desarrollado solo indicará una posible desviación de normalidad en el patrón acústico analizado y trabajará off line dentro del sistema de soporte. La salida del clasificador es incorporada al análisis multidisciplinar (derivado de la metodología) que realice el equipo médico encargado de aplicar la metodología de diagnóstico con apoyo en ALLI (ver Fig 1). En esa decisión interviene, además del resultado del clasificador, la valoración del reconocimiento neuro-fisiológico aplicado al neonato, de la información proveniente de los equipos médicos y pruebas realizadas al neonato, valoración de la información estadística, visual y auditiva derivada de las otras herramientas basada en ALLI (Medicry). Es aquí donde se precisa de una adecuada preparación del personal médico especializado para una evaluación objetiva y eficaz de esa información visual y auditiva presente en los espectrogramas digitales de los llantos grabados.

C. Uso efectivo de la información por parte del equipo médico de la CPNDI y especialistas que utilizan la metodología apoyada en ALLI.

Para ello fue implementada la herramienta CryTrainer v1.0 que debe garantizar mediante una interfaz usuario amigable el uso efectivo de información proveniente del procesamiento digital del llanto con potencial diagnóstico (espectrogramas digitales de los llantos y contorno tonal). El CryTrainer es un software desarrollado en ambiente Web capaz de entrenar al usuario en asociar el comportamiento de diferentes parámetros y fenómenos acústicos de la señal de llanto, a partir de información visual y auditiva, con la presencia de diferentes patrones neurofisiológicos y patológicos presentes en niños recién nacidos. En general una buena parte de los atributos acústicos del llanto pueden ser reflejados e inducidos por simple inspección en el espectrograma digital del llanto. En la Figura 3 se tiene el esquema de algunos de esos atributos (3):

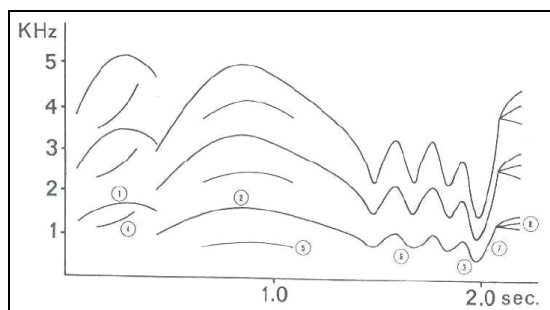


Fig. 3 : Espectrograma esquemático que muestra algunas características o atributos en la señal de llanto infantil: 1- Máximo pitch o tono de desplazamiento; 2-Máximo de la frecuencia fundamental; 3-Mínimo de la frecuencia fundamental; 4- Bi-fonación; 5- Ruptura de Subarmónico; 6- Vibrato; 7- Deslizamiento; 8- Bifurcación

Son estos atributos los que, según su comportamiento, presencia o combinación pueden servir de pistas o indicadores para establecer un posible status neurofisiológico en el neonato, que solo cuenta con la señal de llanto para interactuar con el mundo exterior circundante (incluye al personal médico que lo atiende).

A manera de ejemplo veamos en la Figura 4 el espectrograma del llanto de un niño con problemas de asfixia (llanto patológico).

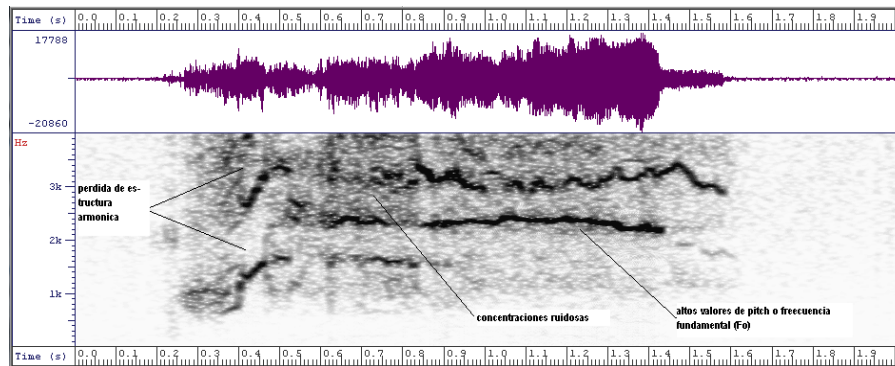


Fig. 4: Espectrograma de una señal de llanto correspondiente a un neonato con problemas de hipoxia (asfixia)

En el mismo se observan aspectos vinculados con el llanto de asfixia como son: llanto débil (pobre contenido energético), con pérdida de su estructura armónica, valores elevados de frecuencia fundamental o tono F0 (por encima de 1000 Hz), así como zonas con concentraciones ruidosas (niveles altos de energía dados por el negror o nivel de gris pero sin estructura de armónicos establecida).



Fig 5 : Salida en pantalla del Módulo de Evaluación del CryTrainer v1.0)

En la Fig 5 se muestra una salida del sistema. La herramienta de software incorpora métodos didácticos que permiten mediante evaluación y estímulo el avance del estudiante a través del proceso de adquisición de habilidades para localizar estas desviaciones con potencial diagnóstico, haciendo uso de información de texto, visual (imagen) y acústica (reproducción de la señal acústica de llanto mediante multimedia).

D. Uso de tecnología web para el desarrollo de las herramientas de software..

Los sub-sistemas MediCry 1.0, CryTrainer 1.0 fueron desarrollados usando tecnología web: para la implementación de los sub-sistemas online se utilizó arquitectura cliente-servidor, el lenguaje de programación php del lado del servidor y del lado del cliente Html y JavaScript, diseñados para la Web, Apache como servidor web, Dreamweaver como IDE de desarrollo, MySQL-Server sistema para la administración de base de datos, y el sistema gestor de contenidos (CMS) JOOMLA (8-13)

Se desarrollaron varias pruebas de control en ambiente limitado a la intranet de la UO. Se verificó el funcionamiento efectivo de todas las funcionalidades para los componentes en línea (online) del sistema de soporte con tecnología web (MediCry 1.0 y CryTrainer 1.0): acceso remoto, servicios de e-mail y chat, seguridad, control de accesos por capas a base de datos. Para el componente off-line (clasificador híbrido) se pre-clasificaron llantos en 2 categorías: sano y patológicos utilizando los mismos datos reportados en las referencias bibliográficas [4-5]. Las pruebas del clasificador híbrido fueron realizadas con la misma base de datos usada en [5], así como se mantuvieron los mismos criterios para ambos sub-clasificadores. Esta información constituye una de las entradas a la metodología de diagnóstico neonatal basado en ALLI donde un equipo multidisciplinar evaluará de forma multidisciplinar (según se explicó en la Fig 1) toda la información obtenida (clínica, pre-clasificación según ALLI, estadística, etc).

Al estar aun en implementación el SGI no se pudo efectuar una prueba integral con todos sus componentes ensamblados. Pero si fueron verificadas las prestaciones esperadas de cada uno de los 3 sub-sistemas. Las pruebas con la metodología se comenzarán cuando se termine el prototipo inicial del Sistema Informático de Gestión SGI o PMSIND (proyecto WebIND), previsto para finales del 2018.

IV. CONCLUSIONES

El sistema de soporte propuesto garantiza la gestión y control de la información previa a ser suministrada al SGI de la CPNDI (actualmente en desarrollo). Las herramientas de software desarrolladas MediCry v1.0 y CryTrainer v1,0 (ambas con tecnología web) así como el clasificador híbrido de llanto (offline) facilitan el manejo efectivo de la información multidisciplinar que debe conducir a una detección temprana de bebés en riesgo que serán posteriormente estudiados, evaluados y pesquisados por la CPNDI. En el futuro se recomienda la incorporación online del clasificador de llanto como parte integral del sistema de soporte (con tecnología web). Los componentes del sistema de soporte probaron satisfactoriamente sus funcionalidades en la intranet CENPIS bajo diferentes configuraciones de Windows. Los autores consideraron en el diseño el uso de código abierto, estándares de programación orientada a objeto y portabilidad.

REFERENCIAS

1. Cano-Ortiz, S.D., Escobedo Beceiro, D.I. y Socarrás Reyes, M. (1995) The Spectral Analysis of Infant Cry: An Initial Approximation. Proceedings of EUROSPEECH'95 (sponsored by ESCA and IEEE). 4th European Conference on Speech Communication and Technology, 3, 1895-1898, Madrid, Spain 18-21 Sept.1995, ISSN 1018-4074
2. Cano-Ortiz, SD. (2011) Cry-based newborn diagnosis of CNS diseases and speech developmental aspects: software and hardware tools, cry databases, methodologies, Proceedings of the

7th International Workshop on Models and Analysis of Vocal Emissions for Biomedical Applications MAVEBA 2011, Firenze, Italia. Agosto 2011

3. Escobedo Beceiro, D. I.: (2010) "Análisis acústico del llanto del niño recién nacido orientado al diagnóstico de patología en su neuro-desarrollo debido a Hipoxia", Tesis de Doctorado (Registro: 1015-2010), Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.
4. Reyes Garcia, C.; Reyes Galaviz, O.; Cano-Ortiz, SD y Escobedo Beceiro, D: (2010) Soft Computing to the Problem of Infant Cry Classification with Diagnostic Purposes. . In Melin, P. : Studies in Computational Intelligence , vol. 312, pp 3-18, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, ISSN: 1860949X, ISBN: 978-364215110-1.
5. Cano-Ortiz, S.D., Escobedo, D.I., Suaste, I. , Ekkel, T. y Reyes Garcia, C.A.: (2006) "A Combined Classifier of Cry Units with New Acoustic Attributes. " In Fco. Martinez Trinidad et al Progress in Pattern Recognition, Image Analysis and Applications, CIARP 2006, Lecture Notes in Computer Science LNCS 4225, pp 416-425, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2006, Cancun, Nov 13-17 2006, México
6. Michelsson, K., Wasz-Höckert, O. (1980) "The value of cry analysis in neonatology and early infancy". In Murry, T., Murray, J., (eds). Infant Communication: Cry and Early Speech. College-Hill Press. Houston. 152-182
7. Chittora, A., Patil, H.A. (2015) Classification of Normal and Pathological Infant Cries Using Bi-spectrum Features, Proceedings of 23rd European Signal Processing Conference (EUSIPCO), 2015, IEEEExplore.
8. Cano-Ortiz, S.D., Langmann, R., Martinez-Cañete, Y., Lombardía-Legrá, L., Herrero-Betancourt, F., Jacques, H. (2017): A Web-Based Tool for Biomedical Signal Management. In: Auer M., Zutin D. (eds) Online Engineering & Internet of Things. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 22. Springer, ISSN 2367-3370 ISSN 2367-3389 (electronic), ISBN 978-3-319-64351-9 ISBN 978-3-319-64352-6 (eBook), DOI 10.1007/978-3-319-64352-6_71
9. Jacobson, Ivar; Booch, Grady; Rumbaugh, James. El Proceso Unificado de Desarrollo de Software. La Habana. Cuba. Editorial Félix Varela. 2004.
10. Visual Paradigm . http://en.wikipedia.org/wiki/Visual_Paradigm_for_UML. (10/2/2010)
11. https://developer.mozilla.org/es/docs/JavaScript/Acerca_de_JavaScript(12/04/2013)
12. Osmani, A. (2012) Learning JavaScript Design Patterns O'Reilly, 2012. – 188
13. The HTML5 Creation Engine <http://www.pixijs.com/> (23/05/2015)