

ARTÍCULO ORIGINAL

Software para la conectividad de la consulta provincial del neurodesarrollo infantil y la discapacidad en Santiago de Cuba

Software for connectivity of the medical consultation for infant neuro-development and handicap in Santiago de Cuba

Sergio D. Cano Ortiz,^I Zoila Gonzales Videaux,^{II} Amilcar Borrás Gonzalez,^{III} Reinhardt Langmann,^{IV} Hartmut Haehnel,^{IV} Ludmila Regueiferos Diaz^V

I Universidad de Oriente. Centro de Estudios de Neurociencias, Procesamiento de Imágenes y Senales (CENPIS), FIE. Santiago de Cuba. Cuba. E-mail: scano@fie.uo.edu.cu

II Universidad de Oriente. Cuba. E-mail: zgv@fie.uo.edu.cu

III Universidad de Oriente. Cuba. E-mail: abg@fie.uo.edu.cu

IV Duesseldorf University of Applied Sciences. Germany. E-mail:

reinhard.langmann@fh-duesseldorf.de, hartmut.haehnel@fh-duesseldorf.de

V Servicio de Neonatología, Hospital Materno Sur Stgo de Cuba, Cuba.

RESUMEN

El presente trabajo aborda los primeros pasos hacia la conexión informática de las entidades que conforman la Consulta Provincial del Neurodesarrollo Infantil y la Discapacidad (CPNDI) en Santiago de Cuba. Se propone un sistema basado en tecnología Web para su uso en infraestructuras de comunicación limitadas como ocurre en zonas rurales, desarrollado en colaboración con la Universidad de Ciencias Aplicadas de Dusseldorf y la Univ. Benemérita de Puebla, México. El sistema se basa en el acoplamiento de un sistema de gestión de pacientes con acceso a equipos médicos ambulatorios con un sistema de asistencia especializada orientado al tratamiento de pacientes vía un navegador de internet. La combinación efectiva de aplicaciones web remotas y locales facilita una integración efectiva del equipamiento médico ambulatorio requerido en el sitio remoto donde se encuentra el paciente con el sistema de asistencia especializada donde se encuentran los doctores y especialistas todo a través de tecnología web.

Palabras Clave: telemedicina, neurodesarrollo infantil, análisis de llanto infantil.

ABSTRACT

In this paper are discussed, the first steps for a telemedicine network which connects the units and places within the Medical Consultation for Infant Neurodevelopment and Handicap (CPNDI) in Santiago de Cuba. A web-based system for use to connect sites within the CPNDI structure and to access rural areas with limited communication infrastructures is finally proposed. The system consists of a patient management system and a medical device system that are available to the doctor and the patient-side assistant during treatment via an Internet browser. The combination of local and remote web applications enables a seamless integration of the medical devices required at the patient's location into the doctor's remote station based on browser technology.

Key Words: telemedicine, infant neuro-development outcome, cry analysis.

INTRODUCCIÓN

El Grupo de Procesamiento de Voz (GPV) de la Universidad de Oriente inicia en 1990 el estudio del llanto infantil a partir del uso de técnicas cibernéticas y procesamiento digital de señales. En 1991 se conforma un grupo de trabajo multidisciplinar con la participación de especialistas del GPV, del Hospital Materno Sur, Hospital Infantil Sur y la Consulta de Neurodesarrollo Infantil, todos en Santiago de Cuba, dando inicio al proyecto Análisis de Llanto Infantil Orientado al Diagnóstico. En el 2008 los especialistas del GPV diseñan una metodología de ayuda al diagnóstico neonatal basada en análisis de llanto infantil la cual es publicada 3 años más tarde a través de una tesis doctoral defendida con éxito por uno de sus miembros en febrero 2010. Como resultados alternativos a la metodología se obtuvieron productos de software para caracterización paramétrica de la señal de llanto, un preclasificador de llanto basado en frecuencia fundamental, así como aportes teóricos con nuevos algoritmos para clasificación híbrida de llanto. Durante todos estos años de trabajo multidisciplinar el grupo ha establecido como una de sus prioridades el estudio del neurodesarrollo infantil y la discapacidad infantil, teniendo como eslabón central la Consulta Provincial de Neurodesarrollo y Discapacidad Infantil (CPNDI).

Esta entidad asume como objetivo pesquisar precozmente alteraciones neurológicas, sensoriales y describir los factores de riesgo asociado en neonatos. De ese modo se pesquisan 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.

El funcionamiento efectivo de la CPNDI con frecuencia se ve limitado por complejidades de nuestra vida cotidiana como lo es el transporte, problemas con las comunicaciones, limitaciones en el acceso y uso de las nuevas tecnologías de las comunicaciones, situación remota y difícil acceso a áreas donde viven algunos neonatos, etc. A pesar de los grandes esfuerzos que vienen llevando adelante el

Gobierno de Cuba en la informatización de la sociedad cubana, aun es insuficiente el acceso a esas tecnologías y la CPNDI no escapa a esa realidad.

Con el objetivo de contribuir a la solución de este problema, los autores proponen un sistema de bajo costo basado en tecnología web que debe garantizar la comunicación vía web de los nodos que conforman la CPNDI y sitios rurales remotos situados en los municipios de la provincia de Stgo de Cuba.

El sistema permitirá no solo la comunicación remota entre las entidades de la CPNDI sino también la comunicación entre un doctor especialista (o colectivo multidisciplinar en la CPNDI) y un médico-asistente con paciente en un lugar remoto o de difícil acceso (ej. un poblado de municipio).

En países desarrollados con una infraestructura médica extensiva, los sistemas tele-médicos se usan principalmente para mejorar la calidad de vida de personas ancianas,^{1,2} así como también en sistemas de emergencia médica²⁻⁴ y sistemas usados en situaciones peculiares (en barcos,⁵ en la industria de vuelos espaciales^{6,7} y en aplicaciones militares.^{8,9}

Los sistemas telemédicos actuales no son pertinentes para un proceso de tratamiento regular y convencional con solo personal médico no especializado y no suficientemente entrenado en la localidad del paciente. Además, los costos de los sistemas convencionales accesibles en el mercado exceden los límites permisibles para sistemas prácticos de telemedicina en países en desarrollo. Las soluciones técnicas se basan en status propietario y en suministradores de componentes específicos.

Ya han sido desarrollados proyectos de telemedicina basado en tecnología web planificados para ser desplegados en regiones y países subdesarrolladas.¹⁰⁻¹² Sin embargo la mayoría de ellos solo se limita a la infraestructura tele médica requerida en el momento del despliegue, sin tener en cuenta varios de los requerimientos actuales para estas estaciones, para las cuales los sistemas convencionales accesibles en el mercado deben ser usados. En áreas rurales y áreas aisladas donde existen limitaciones geográficas, el uso de estaciones tele médicas que tengan en cuenta conectividad satelital, fuentes de alimentación como son los paneles solares y equipamientos ambulatorios de teleconsulta son altamente necesarios y no siempre de fácil acceso en el mercado.

REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Para el diseño e implementación del sistema de telemedicina, denominado TeleMedSys, se definieron las siguientes entidades:

- Una estación Doctor (DS) que ubica al doctor especialista o colectivo multidisciplinar CPNDI, el cual deberá interactuar con N estaciones Paciente (PS) respectivamente.
- La locación de la estación PS puede o no tener fuente de energía e infraestructura de comunicaciones. El TeleMedSys prevé ser transportado a través de terrenos agrestes hasta el sitio de despliegue o hasta otra unidad integrante de la estructura de la CPNDI.
- Solo los asistentes médicos o personal no especializado será accedido en el sitio de PS, el cual será guiado y orientado por el doctor especialista durante el proceso de tratamiento.

- La estación PS puede también ubicarse en otra entidad de la CPNDI donde estén especialistas en modo teleconferencia.
- El TeleMedSys estará basado en tecnología web con el objetivo de integrar elementos simples de e-Learning en paralelo (aprendizaje integrado).
- El 95% del proceso de tratamiento debe desarrollarse de forma asincrónica entre PS y PD, mientras el 5% restante será desarrollado sincrónicamente vía video conferencia y/o chat en tiempo real.
- El uso del PS será de 3-4 horas a la semana. La máxima distancia entre la PS y la DS será de 2000 km.
- El equipamiento médico para la realización del examen del paciente tendrá una conexión a la PS, la misma podrá ser desbloqueada por el DS, así como operada por los asistentes de acuerdo a las instrucciones del doctor (en la DS). Los datos de medición respectivos son automáticamente enviados al DS.
- Un reto particular será el proceso de tratamiento asíncrono debido a que en la práctica médica tradicional tal procedimiento no es requerido y es desconocido. La DUAS inició un proyecto de investigación donde se involucran investigadores del GPV (Centro de Neurociencias, Procesamiento de Imágenes y Senales, CENPIS de la Universidad de Oriente) con el objetivo de desarrollar el primer prototipo.

SOLUCION CIENTIFICO-TECNICA AL PROBLEMA

Estructura del equipamiento del TeleMedSys:

La parte de la estación DS relativa a equipo puede ser implementada con una simple PC estándar, asumiendo que el doctor especialista cuenta con la requerida infraestructura (fuente de energía fija, acceso a internet) sin necesidad de equipos médicos a ser conectados. El desarrollar la estación PS será entonces el mayor reto del proyecto. Basado en los requerimientos anteriormente mencionados, la estación PS deberá ser constituida por los siguientes componentes:

- Una estación solar robusta que suministra una operación de batería para la fuente de energía (salida 28W; batería:15Ah, 12,8V; salida del modulo : 15V, 1800mA).
- Modem satelital (Inmarsat satellites) para una conexión internet a 384 Kbit/s en descarga y a 240 Kbit/s en subida.
- Equipo ambulatorio para examen médico con interfaz bluetooth. El prototipo debe incorporar equipo para medición de presión arterial y un equipo de ECG-6 canales.

Para este primer prototipo solo se prevé el equipamiento médico básico para necesidades primarias del servicio de salud y enfermedades comunes del área. Para futuros desarrollos del sistema deberán ser conectados al sistema los siguientes equipos médicos:

- Equipo para diagnóstico ultrasonido.
- Cámara digital.

Para todo el equipamiento de la PS se habilita una caja especial de transportación para su fácil traslado por terrenos abruptos. Después de la prueba de campo del prototipo se prevé un nuevo examen del equipamiento médico con conectividad

Bluetooth. Aunque la conexión inalámbrica del equipamiento médico con la PS es una solución flexible y elegante, todas las unidades requieren una fuente de energía extra con baterías, lo cual puede no siempre estar disponible. Además se necesitarían los protocolos de comunicación respectivos y los APIs para la interfaz de comunicación del equipamiento médico (Bluetooth, USB o serie). Este no es nuestro caso ya que los equipos vienen como una solución de aplicación completa.

Constituyen una excepción los equipos de Corscience Company (Germany) los cuales se usan en el prototipo de la PS. El protocolo serie es publicado por Corscience y puede ser usado muy bien para propósitos de desarrollo. El protocolo es diseñado de forma simple para una implementación de salva en memoria en un microcontrolador. El fenómeno de over.read se mantuvo lo más bajo posible. El principio de este protocolo es básicamente modelado en un PPP (protocolo punto a punto), el cual es frecuentemente usado para establecer conexiones de modem. Además, se usan secuencias de escape para filtrar bytes reservados (start-flag, end-flag, escape-flag) desde un stream de datos.

Estructura funcional del sistema:

El software TeleMedSys consiste de los siguientes componentes claves:

- Sistema de Gestión Paciente (PMS)
- Sistema de Equipo Médico (MDS)
- Sistema de Colaboración Online (OCS)

La figura 1 muestra la estructura funcional del sistema TeleMedSys:

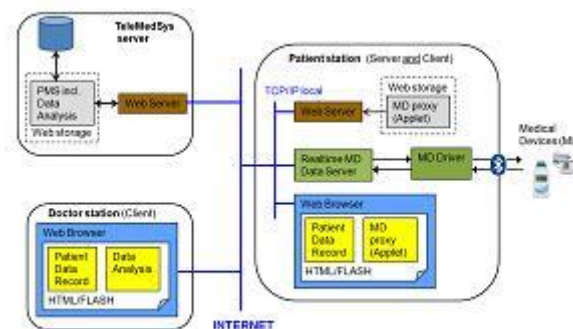


Fig. 1. Estructura funcional del TeleMedSys

Toda la información del paciente es almacenada por el Sistema de Gestión de Paciente (PMS) en un servidor TeleMedSys, y puede manipular la información en un Directorio Datos de Paciente (PDR). La estación DS está trabajando como un cliente y usa solamente un navegador web. El tratamiento asíncrono del paciente es el punto principal del PMS (ver Fig. 2). Este requiere dividir la sesión completa de tratamiento de un paciente en pasos parciales para el asistente en el PS y el doctor en el DS. Esos pasos parciales son desarrollados alternadamente por el asistente y el doctor. El sistema automáticamente muestra el estatus de todas las sesiones de paciente y provee información sobre el requerido paso siguiente para cada paciente a través de una pantalla de evento.

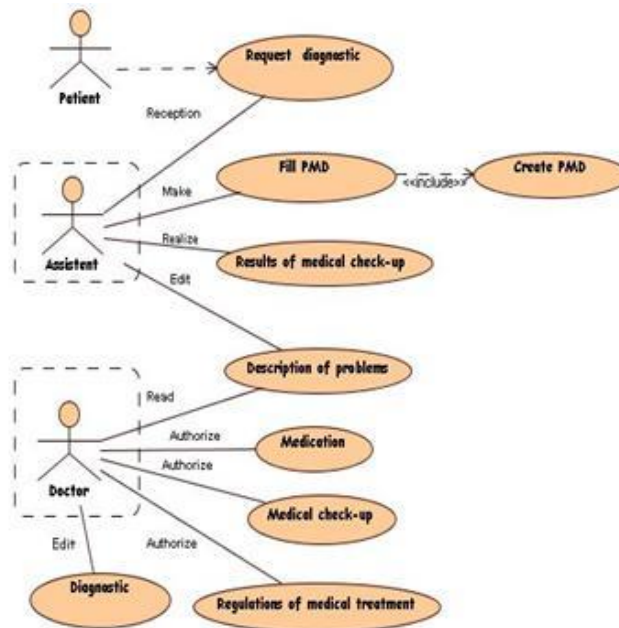


Fig. 2. Esquema descriptivo del modo asíncrono

En principio, el tratamiento se efectúa en modo de operación asíncrono similar a los procedimientos de diagnóstico y servicio remotos en un sistema tecnológico cualquiera. El proceso completo es bien estructurado y cada subpaso finaliza con una conclusión. Los pasos parciales finalizados no son repetibles en la sesión actual.

Se necesita una regulación rígida de los pasos del tratamiento del paciente porque del lado del paciente se asume que solo trabajan personal médico no profesional o con habilidades limitadas. Durante las pruebas de campo del prototipo bajo condiciones reales se demostrara si este proceso paso a paso es adecuado para el tratamiento médico y además si cuentan con la aceptación del personal médico (especialistas) participante.

El doctor especialista puede desbloquear los equipos médicos requeridos vía el PMS en el sitio PS y además proveer al asistente con instrucciones de apoyo relativas al contexto en que se efectúa el tratamiento. El doctor especialista mantiene un asesoramiento constante del asistente en la estación PS, para que el mismo no cometa errores en la realización de las mediciones medicas.

El sistema de Equipo Medico MDS consiste en lo fundamental de los siguientes componentes:

- Driver MD: para la implementación del protocolo Corscience de interfaz con el equipamiento médico.
- Servidor de datos MD: para la grabación y preprocesamiento de los datos de las mediciones médicas e implementación de una interfaz comando TCP/IP.
- Proxy MD: implementación del comando TCP/IP para intercambio entre la pagina web MDS y el servidor de datos MD.
- Páginas web MDS: la operación de cada equipo médico se realiza vía web con un panel operador de equipo MD.

Todos los componentes MDS se localizan en la estación PS y serán activados vía páginas web del MDS en el navegador web de la PS. Por esta razón en la estación PS estará corriendo un servidor web local por el cual las páginas web MDS serán reiniciadas. El PMS (cargado desde el servidor remoto TeleMedSys) y el MDS

(cargado desde el servidor web local en la PS) se conectan en una sección del sitio web de acuerdo al principio de interconexión marsh up. Solo por esta vía es posible que a través de esta página web puedan ser accesadas las componentes médicas (equipamiento médico) de la estación PS.

La figura 3 muestra la sección del sitio web de la estación PS. Quedan pendientes para una próxima versión del prototipo mejoras en la optimización del diseño del sitio web.



Fig. 3. La sección del sitio Web correspondiente a la estación PS en el prototipo

En el caso de un volumen limitado de datos, el MDS transmite la medición del dato (ej. presión sanguínea) en tiempo real al PMS y almacena los datos en la base de datos. En caso de volúmenes grandes de datos (ej. ECG de 6 canales) los datos son salvados localmente en un fichero primero y subsecuentemente transferidos remotamente en un fichero del servidor TeleMedSys. En este caso, solo el nombre y la localización del fichero dato (no el dato en sí) son almacenados en la base de datos.

La medición del dato puede ser analizado en la estación DS. La Figura 4 muestra un ejemplo para el dato de electrocardiograma (ECG) de seis canales en el navegador web DS. Para la presentación gráfica de los datos de ECG se usa el objeto ActiveX del paquete de visualización IOcomp.¹³ Sin embargo aquí aparece un problema para la solución óptima de la visualización del ECG de larga duración:

La grabación de los datos del ECG ocurre en rango de reloj de 100 Hz o 500 Hz. Para un ECG normal de estrés con, por ejemplo, una duración de 20 minutos (min) y una resolución de 10 milisegundos (100Hz), resultará en 120,000 valores. La representación de ese dato en el objeto de ploteo XY no es en principio un problema, pero veamos que solamente para la visualización de cada punto de dato en el objeto de ploteo XY se requiere cerca de 2ms. Añada a esto la recuperación del dato desde el servidor TeleMedSys, lo cual tomaría alrededor de 30 segundos. Esto trae como resultado para nuestro ejemplo un retraso de 4.5 min para la muestra inicial en pantalla de los datos. Una vez que el dato de la medición es almacenado en la RAM de datos del objeto de ploteo XY, el análisis de los datos se efectúa rápidamente.

La implementación del PMS se basa en una combinación de HTML/Flash con Java para el acceso a la base de datos. Se usa con tal propósito mySQL como servidor

base de datos y el diseño de la base de datos relacional se hace de acuerdo con las especificaciones de las aplicaciones comerciales. El MDS es desarrollado con applets de HTML, JavaScript y Java. El servidor MD es una aplicación Java que se opera vía una interfaz Bluetooth y controlado a través de comandos TCP/IP por un applet Java (Proxy-MD, ver la fig. 1).

Para asegurar la funcionalidad de PMS se usa el marco de trabajo Hibernate. La tarea principal de Hibernate es el mapeo relacional de objeto (ORM del inglés Object-Relational Mapping). Esto hace posible el almacenar objetos ordinarios de Java, con diferentes atributos y métodos, en bases de datos relacionales, y así crear otra vez objetos desde esos records (grabaciones). Las relaciones entre objetos son mapeadas a relaciones de bases de datos correspondientes. De este modo en caso de aborto de conexión o fallo en conexión internet ningún dato se pierde durante el proceso de tratamiento médico del paciente, y el sistema puede ser puesto a punto otra vez en la fecha del último tratamiento.

En la estación PS está corriendo un servidor web Apache como un servidor web local. El PMS usa un servidor web Tomcat con un marco de trabajo Spring como aplicación Java de soporte. La estación DS funcionará como un servidor TeleMedSys simultáneamente durante una primera prueba de campo del prototipo. Más tarde, el servidor TeleMedSys operará sin embargo en una computadora dedicada para garantizar la seguridad requerida y la protección de los datos.

CONCLUSIONES

El artículo describe un sistema de telemedicina de bajo coste basado en tecnología web para ser usado en dos tipos de redes: urbana para la conexión de los puntos remotos de la Consulta Provincial del Neurodesarrollo y Discapacidad de la provincia de Stgo de Cuba, y para redes rurales. La combinación de aplicaciones web remotas y locales permite el acceso remoto directo a equipos médicos ambulatorios a través de un navegador web sin lagunas tecnológicas. La estación doctor y una red distribuida de n estaciones pacientes son provistas de un acceso estructurado a todos los datos de los pacientes a través de un navegador web común, permitiéndole a los actores del sistema desarrollar procedimientos de tratamiento asíncronos.

Una primera prueba de campo del prototipo fue realizada en Stgo de Cuba en septiembre del 2011, complementada con una segunda prueba en la ciudad de Dusseldorf, donde quedaron evidenciadas la ejecución de las diferentes funcionalidades del sistema. Ambas pruebas fueron realizadas con la participación de pacientes reales.

Actualmente se trabaja en la importación del equipamiento médico a Cuba para la prueba de un segundo prototipo que asume las mejoras en el diseño visual de la primera versión así como su conexión con otras plataformas web colaborativas diseñadas para el funcionamiento de la CPNDI en Stgo de Cuba.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se desarrolló gracias al financiamiento parcial del proyecto Webbased FuE-Plattform Zur Signalanalyse entre la Universidad de Oriente y la Universidad de Ciencias Aplicadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Zydacron. Information about CareStation 140. 2009. Disponible en: www.zydacron.com
2. Bellazzi R, et al. Web-based telemedicine systems for home-care: technical issues and experiences. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 64 (2001), pp. 175-187.
3. TMA Medical: Erfolg für Telemedizin und E-health durch das Mobile Care Unit. 2010. Disponible en: www.tma-medical.com
4. MEYTEC: Ein neues Telemedizinssystem für Echtzeitanwendungen in Rettungsfahrzeugen. 2010. Disponible en: www.meytec.com
5. GS Elektromedizinische Geräte G. Stemple: Information about corpuls systems. 2009. Disponible en: www.corpuls.de
6. Williams D. R, et al. A Strategic Vision for Telemedicine and Medical Informatics in Space Flight. Telemedicine Journal and e-Health. Vol 6, Nov 4, 2001, pp 441-448.
7. Centre Spatial Guyanais. Telemedicine in French Guiana. 2010. Disponible en: www.cnes-csg.fr
8. Cali C. The Italian Military Medical Services and Telemedicine. Proc. of the Telemedicine Workshop and 3rd Meeting of the SIMIHO new Experts technical Group. Rome, 7 - 8 July 2003.
9. Melcer T, et al. A Prospective Evaluation of ENT Telemedicine in Remote Military Populations Seeking Specialty Care. Journal and e-Health. September 2002, 8(3), pp 301-311.
10. Logan J. S. Telemedicine 101: Innovations in Rural Health Care Delivery Systems. Proc. of Cooperative Solutions to Rural Health Care Problems: Emergency Medical Services. University of California, Davis School of Medicine, June, 1993.
11. Blue print. The Ohanyido Matrix: Development of a Telemedicine System for Nigeria. 2005. Disponible en: <http://ohanyido.tripod.com/id13.html>
12. Pandian P. S, et al. Store and Forward Applications in Telemedicine for Wireless Ip Based Networks. Journal of Networks. Vol. 2, No. 6, Dec. 2007, pp 58 - 65.
13. IOcomp. Description of the iPlot object. 2010. Disponible en: www.iocomp.com

Recibido: 22 de marzo de 2016.

Aprobado: 12 de mayo de 2016.