

Sistemas de Geolocalización y Monitoreo de pacientes médicos en alto riesgo

Femny Javier Díaz Jiménez
femnydiaz@ingenionetsas.com
fdiazjimenez@acm.org

Resumen:

La posibilidad de geolocalizar a pacientes en situaciones de emergencia (por ejemplo en caso de un ataque cardíaco) otorgaría a los servicios de emergencia minutos valiosos que podrían significar la diferencia entre la vida y la muerte. La miniaturización y portabilidad de sensores y transmisores GPS facilitan esta tarea. El sistema en funcionamiento debe generar en caso de emergencia una alarma a través del dispositivo portado por el paciente ya sea por voluntad del mismo al accionar un botón de pánico o automáticamente al detectar variaciones anormales en sus signos vitales. El *paper* aborda tanto *el estado del arte* de los sistemas de geolocalización de pacientes como el de los sistemas de monitoreo automático de signos vitales para determinar el grado de viabilidad del proyecto.

Palabras Clave:

Georreferenciación de pacientes, monitoreo de pacientes, GPS, Telemedicina.

Abstract:

The ability to georeference patients in emergency situations (eg in case of a heart attack) would give emergency services valuable minutes that could mean the difference between life and death. Miniaturization and portability of sensors and GPS transmitters facilitate this task. The operating system must generate an emergency alarm through the device worn by the patient either by his wishes to operate a panic button or automatically by detecting abnormal changes in vital signs. The paper addresses both the state of the art geolocation systems such as patient monitoring systems, automated vital signs to determine the degree of viability.

Key words:

Georeferencing of patients, patient monitoring, GPS, Telemedicine.

I. Introducción

Los pacientes en estado crítico necesitan cuidados especiales, en ocasiones los hospitales y centros médicos no cuentan con la capacidad necesaria para su atención, muchos pacientes son remitidos a sus hogares con diagnósticos delicados y requieren monitoreo constante por parte de personal médico asociado. Los cuadros clínicos asociados a enfermedades coronarias, diabetes o insuficiencia renal son por ejemplo propensos a estados de emergencia constante.

En muchas ocasiones los pacientes se encuentran solos cuando presentan una crisis, en estos momentos la atención médica de emergencia es vital.

La geolocalización del paciente por parte de los servicios de emergencia permitiría una atención más oportuna. La alarma se dispararía bien sea a voluntad del paciente mediante la presión de un "botón de pánico" o de forma automática al detectarse un cambio abrupto en los niveles normales de Signos Vitales manejados por el mismo. Esto implica el uso de dispositivos de georreferenciamiento mediante GPS

* Candidato a Magíster en Ingeniería de Sistemas y Computación. Universidad Simón Bolívar. Ingeniero Químico. Desarrollador Profesional de Software. PTC Corporación Univesitaria Americana.

con sensores para detección automática de signos vitales y conexión vía GPRS para la transmisión de la información asociada a la alarma y a la localización del paciente. El presente estudio aborda el estado del arte de los servicios de localización y monitoreo de pacientes médicos y su aplicabilidad al proyecto actual.

II. El sistema de posicionamiento global (GPS)

El sistema de posicionamiento global (GPS) es un sistema de localización diseñado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con fines militares para proporcionar estimaciones precisas de posición, velocidad y tiempo.

El servicio GPS se encuentra operativo desde 1995 y utiliza una red de computadores y un conjunto de 24 satélites para determinar por triangulación la altitud, la longitud y la latitud de cualquier objeto en la superficie terrestre [1].

Para determinar la posición el dispositivo receptor debe localizar automáticamente como mínimo tres satélites de la red, estos satélites envían la señal al receptor con su identificación y la hora del reloj correspondiente.

El aparato receptor debe entonces sincronizar el reloj del GPS y calcular el tiempo en que tardan las señales en llegar al equipo. Utilizando una técnica conocida como triangulación que consiste en hallar la distancia entre cada satélite y su receptor el dispositivo determina su posición relativa respecto a los tres satélites.

Luego, junto a las coordenadas de cada satélite es posible hallar las coordenadas o posición absoluta real del punto de medición.

Alegando razones de seguridad el uso civil de los sistemas GPS se encuentra deliberadamente degradado y su emisión se restringe a frecuencias específicas, sin embargo, existen técnicas diferenciales (DGTS) que permiten reducir y casi anular el error.

III. Aplicaciones de los GPS

Los campos de acción de los sistemas GPS son múltiples tanto en sistemas de ayuda a la navegación como en modelización del espacio atmosférico y terrestre o aplicaciones con requerimientos de alta precisión en la medida del tiempo[2].

Se pueden enumerar los siguientes usos:

- Modelos geológicos y topográficos
- Ingeniería Civil
- Estudio de fenómenos atmosféricos
- Localización y navegación en regiones inhóspitas
- Sistemas de alarma automática

- Sincronización de señales
- Guiado de disminuidos físicos
- Navegación y control de flotas de vehículos
- Sistemas de aviación civil
- Navegación desasistida de vehículos

IV. La localización de pacientes para cuidado médico es una tecnología en creciente desarrollo.

J.P. Black, et al. en su investigación "Pervasive Computing in Health Care: Smart Spaces and Enterprise Information Systems" propone un sistema prototipo que incluye software, hardware, bases de datos, estándares y ciclo de vida en un caso de estudio para escenarios hospitalarios.

La propuesta incluye pacientes totalmente instrumentados con monitores de signos vitales y con dispositivos para determinar su posición. Se considera el personal médico con dispositivos tipo PDA conectados a la red inalámbrica con la posibilidad de determinar también su ubicación.

Las aplicaciones del sistema ayudan a optimizar rondas médicas, a proveer información médica actualizada a los actores del sistema y a brindar comunicación entre los mismos [3].

Esta propuesta está limitada a los alcances de una red LAN local para el hospital o centro de atención médica referenciado. Utiliza tecnología RFID (Identificación por radio frecuencia) con sensores tipo manillas para ubicar al paciente en puntos específicos del edificio donde se presta la atención médica. La información de localización se complementa con información de la historia clínica del paciente e información sobre sus signos vitales.

Los datos generados por el sistema se acumulan en un servidor web desde el cual son accesibles a través de internet. Otros estudios abarcan espectros de red mucho más amplios.

Wei-Hsun Chen del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Chung Wuan en Taiwan en su estudio "MGuider: Mobile Guiding and Tracking System in Public Transit System for Individuals with Cognitive Impairments" ha propuesto su sistema MGuider que abarca un servicio de localización basado en la orientación y seguimiento en el transporte público para las personas con deterioros cognitivos [4].

Chen trabajó con diversos dispositivos de orientación y rastreo de personas basados en señales GPS, sin embargo, estos dispositivos presentan dificultades al momento de detectar señales bajo tierra, y en el entorno donde el investigador aplicó su estudio (la ciudad de Taipei) la gran mayoría del desplazamiento urbano se realiza mediante túneles.

El equipo de investigación tornó entonces un escenario adverso en una oportunidad al utilizar como entorno de comunicación la red WiFi de la ciudad.

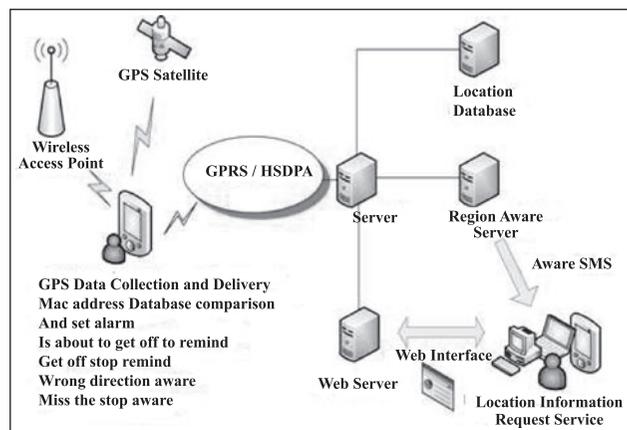


Fig. 1 Arquitectura del sistema MGuider [4]

Taipei fue la primera ciudad del mundo con red inalámbrica IEEE 802.11 con cobertura metropolitana, lo que hizo viable el estudio.

En el campo comercial las empresas GTX Corp líder en Servicios de Localización de Personas mediante GPS de doble vía y Aetrex Worldwide Inc. líder mundial en productos de calzado ortopédicos colaboraron en el desarrollo e ingeniería de transmisores de doble vía y sistemas de software para monitorear y geolocalizar pacientes con trastornos mentales (como la enfermedad de Alzheimer) con dispositivos embebidos en un calzado común [5].

Según estudio realizado por dichas empresas el 50% de los enfermos de Alzheimer deambulan frecuentemente sin saber con exactitud en qué lugar se encuentran ubicados.

Esta tecnología informará a las personas autorizadas sobre la geolocalización de los pacientes a través de interfaces web accesibles desde PCs, portátiles o dispositivos móviles.

Los estudios de georreferenciación de pacientes apuntan sobre todo al mercado de pacientes con dificultades mentales, aquellos que no pueden valerse por sí mismos o aquellos que pierden la memoria y en consecuencia el sentido de ubicación en el espacio.

Yao-Jen Chang y Hung-Huan Liu en Junio del 2009 publicaron su artículo "Mobile Social Networks as Quality of Life Technology for People with Severe Mental Illness" que aborda nuevamente el problema de geolocalización en pacientes con trastornos mentales. Los investigadores Chang y Liu implementaron un sistema utilizando PDAs con conexiones de teléfono celular para usuarios con dificultades mentales que viajan hacia o desde su trabajo. El dispositivo cliente utilizado incluye un botón que el usuario pue-

de presionar para pedir ayuda si se encuentra perdido o encuentra algún problema durante su desplazamiento, el sistema georreferenciará al usuario y lo pondrá en contacto con el proveedor del servicio más cercano [6].

Este sistema retorna la localización del usuario independientemente de la tecnología utilizada para su cálculo. Puede emplear GPS en zonas relativamente descubiertas o localización WiFi en espacios cerrados. Además utiliza interfaces web y mensajería SMS como parte del proceso de comunicación.

El estudio de las investigaciones anteriores permite concluir que la localización de pacientes en estado crítico o con enfermedades de gravedad es viable, el paciente puede ser localizado a través de tecnología GPS. En el momento de ocurrir una emergencia el paciente accionará un botón de pánico en su dispositivo geolocalizador personal que enviará la señal de su posición vía GPRS al centro de mando y alertará vía SMS al personal médico de atención y familiares autorizados.

Pero, ¿Qué sucede si el paciente no alcanza a presionar el botón de pánico? o ¿Qué pasaría si sus niveles de pulso, presión o temperatura exceden los límites permisibles para su enfermedad?, en un caso de paro cardíaco o respiratorio es muy probable que el paciente no pueda utilizar el dispositivo localizador. En este caso se plantea la posibilidad de que el dispositivo pueda monitorear signos vitales del paciente para determinar su estado actual y de ser necesario activar la alarma.

V. Signos vitales

Los signos vitales son indicadores que reflejan el estado fisiológico de los órganos vitales (cerebro, corazón, pulmones). Expresan de manera inmediata los cambios funcionales que suceden en el organismo.

- Los cuatro principales signos vitales son:
- Frecuencia cardíaca, medida por el pulso
 - Frecuencia respiratoria
 - Tensión (presión) arterial
 - Temperatura

VI. Monitoreo automático de signos vitales

Un aspecto importante del sistema que se propone para la Tesis de Maestría es el de la detección automática de niveles anormales de Signos Vitales en el paciente. Una brusca disminución o ascenso de los niveles permisibles en los Signos Vitales de un paciente puede indicar un estado de crisis letal, como por ejemplo un paro cardíaco. En la dimensión de los dispositivos para monitoreo automático de signos vitales destacan muchas investigaciones, prototipos y productos comerciales, algunos de los cuales se resumen a continuación. Emil Jovanov, et al. de la

Universidad de Alabama propone en su investigación "Patient Monitoring Using Personal Area Networks of Wireless Intelligent Sensors" (Redes inalámbricas de sensores fisiológicos inteligentes para aplicaciones médicas). Sensores individuales monitorean signos vitales específicos y se comunican con el servidor central. Su prototipo se basa en microcontroladores de bajo consumo y procesadores digitales de señal [7].

Jovanov centra su estudio en obtener sensores inalámbricos de pequeño tamaño y totalmente usables (como un reloj o pulsera) que no limiten a la persona al momento de caminar o efectuar sus actividades diarias. Las aplicaciones posibles son muchas: Monitores inteligentes portables, Monitor de respiración, de trastornos del sueño, de grado de estrés, de ritmo cardiaco, rehabilitación asistida por computador, monitoreo de soldados en el campo de batalla, etc. Por otro lado la Universidad de Harvard adelanta uno de los estudios más ambiciosos en cuanto a monitoreo de signos vitales de pacientes se refiere. El proyecto es denominado CODEBLUE e incluye una infraestructura de red de sensores para el tratamiento de las emergencias médicas.

D. Malam, T. Fulford-Jones, M Welsh y S. Moulton de la división de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad de Harvard exponen en su investigación "CodeBlue: An Ad-hoc sensor infraestructure for Emergency Medical Care" como dispositivos sensores con pequeños procesadores embebidos de bajo consumo energético y una modesta capacidad de almacenamiento pueden optimizar el cuidado de las emergencias médicas [8].

CodeBlue es entonces una compleja infraestructura inalámbrica con sensores inalámbricos de signos vitales, PDAs y sistemas para PC cuyo objetivo es mejorar la atención del paciente en el lugar, asegurar la transmisión correcta de la información y facilitar la asignación eficiente de los recursos hospitalarios [8].

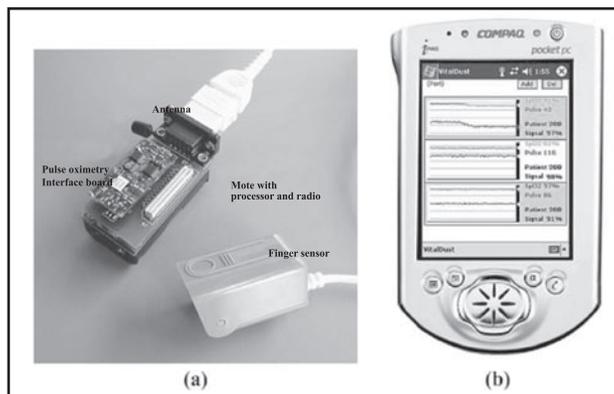


Fig. 2 Dispositivos utilizados por CodeBlue (a) Sensor oximétrico de pulso (b) Aplicación para Triage de Pacientes[8]

Una de las aproximaciones más cercanas de estudios sobre georreferenciación en pacientes y monitoreo de signos vitales es la investigación adelantada

por Nada Hashmi, et al. denominada "A sensor-based, web service-enabled, Emergency medical response system", en donde el grupo de investigación aborda el uso de sensores inalámbricos y servicios web para describir un sistema escalable de respuesta médica a emergencias [9].

Esta investigación centra su enfoque en los Servicios Médicos de Emergencia y su comunicación con los centros hospitalarios para intercambiar información acerca de la condición del paciente, tiempo esperado de llegada e incluso la disponibilidad para la atención.

El sistema propuesto por Hasmi y sus colaboradores incluye:

- Un servicio web para procesar la información
- Un sitio local para coordinación
- Enlaces a satélite y a red celular
- Infraestructura inalámbrica para transporte de datos entre sensores y PDAs
- Sensores para pacientes (un sensor oximétrico de pulso integrado con receptor GPS)
- PDAs o Tablets PC con conexión inalámbrica para el personal de apoyo

La geolocalización del paciente y sus datos de pulso cardiaco y saturación de oxígeno en la sangre son almacenados en el registro electrónico de cada paciente. Estos datos son transmitidos por el vehículo de atención médica hacia el centro de comando en el Hospital.

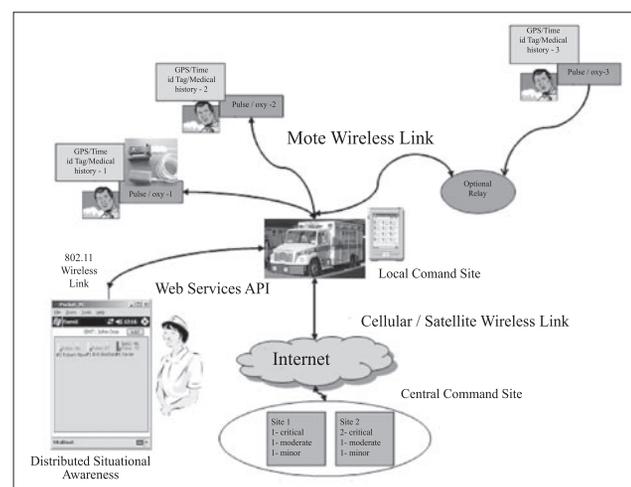


Fig. 3 Arquitectura del sistema para respuesta a emergencias médicas propuesto por N. Hasmi et al[9].

VII. Conclusión

Los servicios de georreferenciación de pacientes

emergen de la necesidad de localizar a personas con deficiencias mentales que imposibilitan su desplazamiento normal a través de las ciudades.

Existen varios estudios, prototipos y productos comercializados al respecto, sobre todo orientados a las personas que sufren mal de Alzheimer.

Estos sistemas proveen interfaces web que geolocalizan en todo momento al paciente y alertan si éste se encuentra fuera de los límites regulares de desplazamiento.

El monitoreo automático de los signos vitales del paciente surge como respuesta a la exigencia natural del mercado de dispositivos portables que permitan verificar en todo momento el estado del paciente.

Existen estudios avanzados como el CodeBlue de la Universidad de Harvard que provee un sistema completo de dispositivos de detección y monitoreo de signos vitales interconectado a través de redes inalámbricas, PDAs, dispositivos celulares, PCs, etc. para asegurar la transmisión de la información médica del paciente.

Otros estudios combinan la posibilidad de geolocalizar al paciente y transmitir su información médica en sistemas escalables de respuesta rápida a emergencias.

Utilizan tecnologías de servicios web, enlaces GPS y GPRS, infraestructura inalámbrica y sensores para los pacientes.

Estos estudios corroboran la viabilidad técnica de construir un Sistema de detección de pacientes en emergencia médica que envíe vía GPRS la información vital de geolocalización del paciente así como su estado actual a través de la medición de sus signos vitales y además que alerte vía SMS a personal médico y familiares autorizados.

Bibliografía:

T.A. HERRING, "The Global Positioning System", Scientific American, 1996, pag 32-38.

A. POZO-RUZ, et al. "Sistema de Posicionamiento Global (GPS): Descripción, Análisis de errores, Aplicaciones y Futuro", Instituto de Automática Industrial, pag 5-6.

J. P. BLACK et al. "Pervasive Computing in Health Care: Smart Spaces and Enterprise Information Systems", IBM T.J. Watson Research Center, Hawthorne, NY.

WEI-HSUN Chen, MGuider: Mobile Guiding and Tracking System in Public Transit System for Individuals with Cognitive Impairments, Department of Electronic Engineering Chung Yuan Christian University, Taiwan.

GTX Corp and Aetrex Worldwide, Inc. Enter Platform Test Agreement to Bring GPS Shoes to Senior Market - Patented GPS Shoe Offers Caretakers Simple Solution to Locate "Wandering" Seniors Using 2-Way GPS Technology - 2009.

YAO-JEN Chang y Hung Huan Liu, "Mobile Social Networks as Quality of Life Technology for People with Severe Mental Illness", IEEE Wireless Communication.

E. JOVANOVIĆ et al., "Patient Monitoring Using Personal Area Networks of Wireless Intelligent Sensors", Electrical and Computer Engineering Department, University of Alabama".

D. MALAM, T. Fulford-Jones, M Welsh y S. Moulton, "CodeBlue: An Ad-hoc Sensor Network Infrastructure for Emergency Medical Care", Division of Engineering and Applied Science, Harvard University.

N. HASMI, et al., "A Sensor-based, Web Service-enabled, Emergency Medical Response System", USENIX Association, EESR '05: Workshop on End-to-End, Sense-and-Respond Systems, Applications, and services.