

Red de Sensores Inalámbrica para el Cuidado de Pacientes con Padecimientos Cognitivo-Degenerativos¹

Fabián N. Murrieta, Jorge A. Atempa, Arnoldo Díaz-Ramírez, Juan F. Ibáñez y
Heber S. Hernández

Departamento de Sistemas y Computación
Instituto Tecnológico de Mexicali

{fmurrieta, jatempa, adiaz, pacois, heberhdz}@itmexicali.edu.mx
(Paper received on August 10, 2012, accepted on August 24, 2012)

Resumen. La población del mundo está envejeciendo, por lo que nuevos desafíos relacionados con la salud de las personas están surgiendo. Recientemente ha habido un gran interés por investigar la manera en que la tecnología puede ayudar en la atención a pacientes con Padecimientos Cognitivo-Degenerativos, como la enfermedad del Alzheimer. En este artículo se presenta el Sistema Autónomo de Monitorización y Alerta (SAMA), un sistema de cómputo ubicuo escalable y no intrusivo basado en el uso de una red de sensores inalámbrica. SAMA ha sido diseñado para poder determinar en tiempo-real la ubicación de un paciente y para emitir alertas si alguno abandona una zona segura. Se presentan también los resultados de la evaluación de un prototipo del sistema propuesto.

Palabras Clave: Cómputo Ubicuo, Redes de Sensores, Inteligencia Ambiental.

1 Introducción

La población del mundo está envejeciendo, por lo que nuevos desafíos relacionados con la salud de las personas están surgiendo. Algunos de ellos están relacionados con los Padecimientos Cognitivos-Degenerativos (PCD), entre los que destacan la demencia senil o la enfermedad del Alzheimer.

La organización *Alzheimer's Disease International* [3] estima que en el mundo hay aproximadamente 35'558,717 personas con demencia senil y que los costos que ocasiona su atención son cercanos a los \$604 billones de dólares estadounidenses. Tan solo en México existen 350,000 personas con la enfermedad del Alzheimer. Esta es una enfermedad que no tiene cura y que requiere de un tiempo de cuidado de los pacientes de hasta 20 años. Se estima que por lo menos uno de cada cuatro mexicanos tendrá contacto con alguna persona con PCD en los próximos años [4].

La mayoría de las personas con PCD necesitan asistencia constante. Las caídas, el ingreso a zonas de riesgo o las salidas no controladas son algunas de las acciones que ponen en riesgo la salud y la vida de los pacientes con este tipo de padecimientos. El cuidado de pacientes con PCD representa un reto para los gobiernos y la sociedad, por

¹ Este trabajo ha sido apoyado parcialmente por el Programa para el Mejoramiento del Profesorado (PROMEP), con el proyecto No. 9077-2011

lo que en años recientes ha habido un gran interés por investigar la manera en que la tecnología puede ayudar en este problema, mejorando la calidad en la atención a pacientes con PCD y reduciendo costos.

En este artículo se presenta el Sistema Autónomo de Monitorización y Alerta (SAMA), un sistema de cómputo ubicuo escalable y no intrusivo basado en el uso de una red de sensores inalámbrica, diseñado para poder determinar en tiempo-real la ubicación de un paciente y para emitir alertas si alguno abandona una zona segura.

El problema de detección de personas en áreas específicas ha sido estudiado en la literatura, tanto para aplicaciones militares y de vigilancia [1], como en aplicaciones para la salud [2]. Sin embargo, no abordan los problemas de pacientes con PCD o proponen técnicas intrusivas que difícilmente son aceptadas por este tipo de pacientes.

El resto del documento esta organizado de la siguiente manera. En la Sección 2 se explica el modelo propuesto. El algoritmo para determinar si un paciente abandona una zona segura se discute en la Sección 3, mientras que la evaluación del modelo propuesto se presenta en la Sección 4. Finalmente, las conclusiones y el trabajo futuro se presentan en la Sección 5.

2 Modelo Propuesto

El objetivo de SAMA es el de apoyar en las tareas de asistencia a pacientes con PCD. Particularmente, que permita conocer si un paciente abandona un lugar seguro y si es necesario, emita una alerta en tiempo-real dirigida al personal que lo cuida o a un familiar.

En este documento se define como *escape* el que un paciente abandone un sitio sin autorización. SAMA ha sido diseñado para identificar si un paciente escapa de una habitación, después de haber llegado a ella por si mismo o ayudado por alguna otra persona, como un enfermero. Se asume que los pacientes son personas de la tercera edad con PCD, que tienden a rechazar objetos tales como pulseras o dispositivos notorios. Por esta razón, se diseñó un sistema no intrusivo, basado en la utilización de una red de sensores inalámbrica, que es capaz de monitorizar el entorno sin que los pacientes se den cuenta.

Las redes de sensores inalámbricas o WSN (*Wireless Sensor Networks*) son un caso especial de las redes *ad hoc*, ya que pueden auto-organizarse formando diversas topologías y comunicarse sin necesidad de alguna infraestructura. En este tipo de redes, los nodos o *motes* contienen sensores capaces de medir las condiciones del ambiente, tales como temperatura, humedad, movimiento, etc., y de enviar a un nodo especial, llamado *dreno*, la información parcialmente procesada [7].

El uso de una WSN ofrece grandes ventajas para la implementación de SAMA. Una de ellas consiste en que no es necesaria la existencia de una infraestructura previa (e.g., cableado), para desplegar el sistema. De esta manera se tiene una aplicación con un alto grado de flexibilidad. Por otra parte, la posibilidad de integrar casi cualquier sensor a los nodos que forman la WSN permite tener un sistema homogéneo. Esto significa que utilizando tan solo la WSN es posible detectar una gran cantidad de eventos, minimizando así la necesidad de utilizar diversas tecnologías. Finalmente, el

bajo consumo de energía de los nodos hace a la WSN sumamente atractiva desde el punto de vista económico.

Para apoyar en el cuidado de pacientes con PCD, es necesario que los sensores con los que está equipada la WSN sean capaces de detectar los eventos que pueden comprometer la integridad física de los pacientes. Además, es importante la utilización de una cantidad mínima de sensores, y que éstos sean económicos y de alta disponibilidad.

Con la finalidad de elegir los tipos de sensores mas adecuados para detectar exitosamente los escapes, y tomando en consideración los resultados publicados en la literatura, se llevaron a cabo diversas pruebas con diferentes sensores. La elección se hizo con base a la precisión en la detección de los cambios en el entorno y su relación con la cantidad de procesamiento que debe darse a la señal recibida del sensor. De los sensores evaluados dos mostraron un desempeño sobresaliente en la detección de escapes: los pirómetros y los magnetómetros.

Los pirómetros son también conocidos como *sensores pasivos infrarrojos* o PIR, por sus siglas en inglés. Son sensores económicos que detectan la presencia del calor emitido por un objeto o cuerpo cercano. También son capaces de detectar el movimiento de las personas a través del cambio de temperatura provocado al moverse. Como puede observarse, con el uso de pirómetros es posible detectar actividad humana dentro un área específica.

Por otra parte, los magnetómetros son sensores que detectan el cambio de dirección de un campo magnético. Al colocarlos en las puertas de las habitaciones, es posible determinar si éstas se abren y cierran. Sin embargo, se requiere que el sistema sea capaz de diferenciar si la puerta se abrió para que alguien ingrese a la habitación, o si se abrió para que una persona salga de la habitación. Para esto, se ha propuesto un algoritmo que utiliza técnicas de fusión de información, que combinando los valores medidos por pirómetros y magnetómetros, permite determinar si una persona entra o sale de una habitación.

Debido a que existen muchos escenarios a considerar para la detección de escapes, se ha propuesto también otro algoritmo, que combina los valores medidos de los sensores (pirómetro y magnetómetro), así como los eventos *entrada a la habitación* y *salida de la habitación*, para detectar si algún paciente abandona una habitación sin autorización.

Es importante mencionar que los sensores envían la información al dreno solamente cuando detectan actividad. Con la información recibida se ejecutan los algoritmos arriba descritos. En caso de que se detecte un escape, el dreno puede emitir una alerta a algún usuario predeterminado. Por ejemplo, puede enviar un mensaje a algún dispositivo móvil utilizando tecnologías de comunicación inalámbrica o a través de Internet. En la Fig. 1 puede observarse la arquitectura del modelo propuesto.

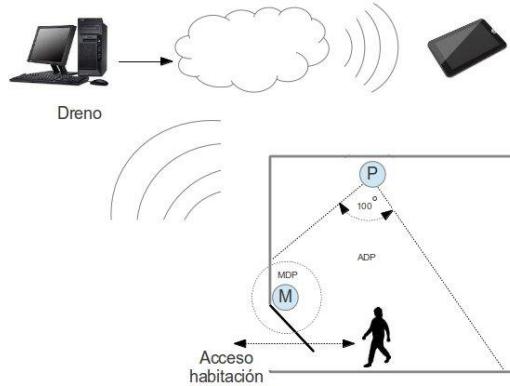


Figura 1 Arquitectura de SAMA

3 Algoritmo basado en relaciones temporales entre eventos

Para definir y obtener un modelo característico de la actividad del paciente que se escapa, se llevaron a cabo experimentos en los que se midieron diferentes variables físicas. Como se mencionó previamente, al analizar los resultados de los experimentos, se llegó a la conclusión de que con nodos equipados con magnetómetros y pirómetros era posible determinar cuando una persona entra a una habitación o la abandona. En la Fig. 1 puede observarse el despliegue del magnetómetro (M) y del pirómetro (P) en los experimentos, así como el área de detección del magnetómetro (MDP) y del pirómetro (ADP).

Una de las observaciones importantes de los experimentos, es que la entrada y salida de una habitación puede diferenciarse utilizando los valores registrados por los sensores. La Fig. 2 muestra las mediciones obtenidas en una entrada a una habitación, y posteriormente en una salida. Puede observarse que en una entrada se registran mediciones del magnetómetro (movimiento de la puerta al entrar), posteriormente se registran mediciones en ambos sensores, y finalmente solo mediciones del pirómetro (actividad dentro de la habitación). En contraste, cuando ocurre una salida, se registra primero actividad en el pirómetro (movimiento dentro de la habitación), seguido de mediciones de ambos sensores, y termina con mediciones solo del magnetómetro (movimiento de la puerta al salir). Utilizando las relaciones anteriores entre los valores medidos por los sensores, en función tiempo, fue posible diseñar un algoritmo basado en técnicas de fusión de información para determinar el tipo de evento ocurrido (e.g., entrada o salida).

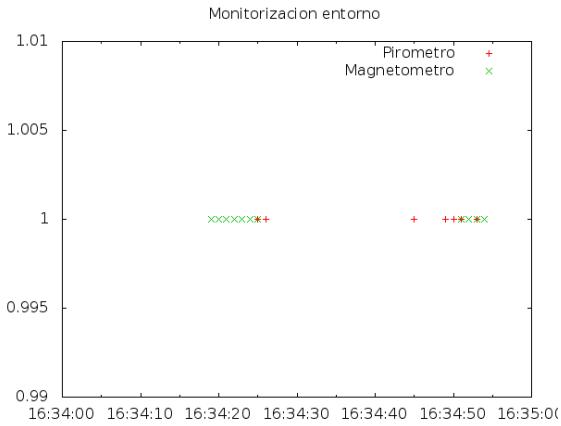


Figura 2 Valores medidos en una entrada y salida de una habitación

Por otra parte, el algoritmo propuesto para la detección de escapes esta basado en la relación temporal mantenida por el orden en que los sensores se activan cuando alguien escapa. A través de diversos experimentos, se observó que un escape es la ocurrencia de eventos o un cambio de estados en el entorno en un orden determinado, donde el paciente que escapa de la habitación primero realiza alguna actividad dentro de la misma (como caminar), posteriormente se abre la puerta y finalmente se tiene inactividad en la habitación. La máquina de estados (ME) que se muestra en la Fig. 3 representa el algoritmo propuesto para la detección de escapes. El algoritmo supone que tan sólo personas autorizadas pueden ingresar a la habitación a través de algún mecanismo de seguridad.

La ME tiene cuatro estados que representan los cambios en el entorno del paciente. El estado 0 representa que la habitación está vacía, mientras que el estado 4 representa que un escape ha ocurrido. Los estados 1, 2 y 3 son estados de transición, y representan el que una o varias personas han entrado a la habitación; que otra persona entró a la habitación estando el paciente en ella; o que una persona ha salido de la habitación dejando al paciente en la misma, respectivamente. Los cambios de estado se producen cuando se han detectado una secuencia de mediciones de los sensores, evaluadas en función del tiempo.

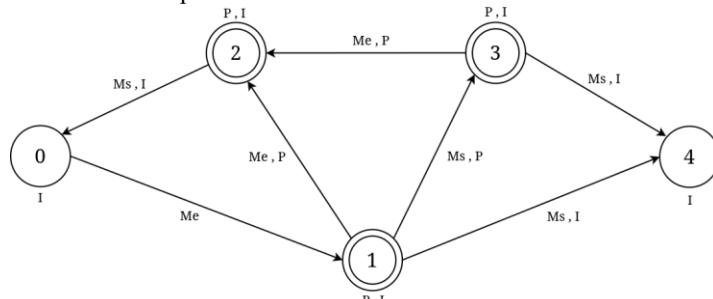


Figura 3 Máquina de estados

Los eventos que provocan cambios de estado son: M_E , que representa que el magnetómetro (considerando también los valores registrados por el pirómetro, como se muestra en la Fig. 2) detectó una entrada; M_S , que representa que el magnetómetro detectó una salida; P , que significa que el pirómetro detecta actividad en la habitación; y finalmente I , que representa un periodo de inactividad dentro de la habitación.

4 Evaluación

El algoritmo propuesto fue evaluado utilizando una habitación con solo un acceso y simulando diversos escenarios de actividad. Los escenarios que se evaluaron fueron los siguientes: a) el paciente llega solo a la habitación y sale con la ayuda de alguna persona autorizada; b) el paciente llega solo a la habitación y la abandona por sí mismo; c) el paciente llega y sale de la habitación acompañado; y d) el paciente llega acompañado a la habitación y sale de ella solo. Como puede observarse, los escenarios b y d representan situaciones de escape.

Para la implementación del prototipo se utilizaron nodos con dos tipos de sensores. Uno de ellos fue el pirómetro, que es capaz de detectar el movimiento de las personas a través de la energía emitida por ellas; esto permite medir su temperatura corporal. El pirómetro utilizado tiene un distancia máxima de detección radial (hacia el frente) de 7 metros, y un ángulo de detección de 100°. El otro sensor utilizado fue el magnetómetro, que permite detectar el cambio en la dirección del campo magnético. Este sensor se utilizó en conjunto con un magneto integrado en la puerta para detectar cuando la misma se abre.

En los experimentos fue utilizada una red de sensores integrada de tres nodos. Cada uno de ellos usa una plataforma de hardware IRIS programada en lenguaje nesC y con sistema operativo TinyOS [6, 7]. Un nodo funciona como dreno y está conectado a una computadora personal a través de una tarjeta de interfaz MIB520. Los otros nodos están integrados a una tarjeta MTS300CA que contienen un magnetómetro y un pirómetro.

El pirómetro utilizado es modelo DYP-ME003. Es un sensor digital que tiene una salida verdadera (*true*) cuando alguien entra en su área de detección. La salida del pirómetro depende de la corriente eléctrica en su fuente de energía. Esto implica que cuando la magnitud de esta corriente decrece, también lo hace la magnitud del nivel alto en la salida del pirómetro.

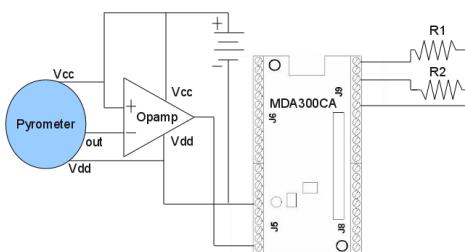


Fig. 4. Pirómetro conectado a tarjeta MDA300CA.

Para tener un mayor tiempo de vida del nodo con el pirómetro y una mayor certidumbre en sus mediciones, el pirómetro se conectó a un amplificador operacional (Opamp) modelo LM741C, que se conecta en una configuración de comparador de magnitud. La salida del amplificador está conectada a la tarjeta MDA300CA. Esta conexión es ilustrada en la Fig. 4. Es importante notar que las resistencias conectadas tiene valores de $10\text{ k}\Omega$ y $\text{Vcc}=5\text{ VCD}$.

Experimento	Transición de estados
A	0,1,2,0
B	0,1,4
C	0,1,3,2,0
D	0,1,3,4

Tabla 1. Resultados de experimentos realizados.

La Tabla 1 muestra los resultados de los experimentos que se llevaron a cabo, así como la transición de estados detectados por el algoritmo en cada experimento (escenario). Puede observarse que para cada escenario, la Máquina de Estados detectó correctamente los eventos que fueron presentándose, tal y como se puede comprobar revisando la transición de estados generados. Es importante destacar que todos los casos el algoritmo fue capaz de detectar exitosamente los escapes.

5 Conclusiones y trabajo futuro

En este artículo se propuso un modelo para apoyar la atención de pacientes con PCD. El modelo se denominó Sistema Autónomo de Monitorización y Alerta (SAMA), un sistema escalable y no intrusivo basado en el uso de una red de sensores inalámbrica. SAMA fue diseñado para poder determinar en tiempo-real la ubicación de un paciente y para emitir alertas si alguno abandona una zona segura.

Se implementó un prototipo para evaluar el modelo propuesto. Se definieron cuatro experimentos que representaran situaciones comunes en el cuidado de los pacientes. Como resultado, se comprobó que el modelo propuesto es capaz de detectar los escapes existentes.

Como trabajo futuro se contempla la identificación y seguimiento de los pacientes que se escapan, así como la detección de caídas.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Asociación del Alzheimer de Baja California, A.C., y a la Estancia Alegre Amanecer de Mexicali, B.C, por el apoyo brindado para el desarrollo de este trabajo.

Referencias

- [1] A. Arora, P. Dutta, S. Bapat, V. Kulathumani, H. Zhang, V. Naik, V. Mittal, H. Cao, M. Demirbas, M. Gouda, Y. Choi, T. Herman, S. Kulkarni, U. Arumugam, M. Nesterenko, A. Vorae, M. Miyashita. A Line in the Sand: A Wireless Sensor Network for Target Detection, Classification, and Tracking. *Computer Networks*, 46(5):605-635, 2004. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S138912860400146X>. Military Communications Systems and Technologies.
- [2] A. Wood, J. Stankovic, G. Virone, L. Selavo, Z. He, Q. Cao, T. Doan, Y. Wu, L. Fang, R. Stoleru. Context-Aware Wireless Sensor Networks for Assisted-Living and Residential Monitoring. *IEEE Network*, 22(4):26—33, 2008.
- [3] Alzheimer's Disease international. www.alz.co.uk.
- [4] Instituto Nacional de Neurlogía y Neurocirugía. <http://www.innn.salud.gob.mx/>.
- [5] Jennifer Yick, Biswanath Mukherjee, Dipak Ghosal. Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, 52:2202-2230, 2008.
- [6] Philip Levis, David Gay. *TinyOS programming*. Cambridge University Press, 2009.
- [7] Philip Levis, Sam Madden, Joseph Polastre, Robert Szewczyk, Alec Woo, David Gay, Jason Hill, Matt Welsh, Eric Brewer, David Culler. *TinyOS: An Operating System for Sensor Networks*. Ambient Intelligence, 2004.