

Desarrollo de un Sistema Computacional para la Detección de Signos Vitales y Localización de Personas en Estructuras

Development of a Computer System for the Detection of Vital Signs and Location of People in Structures

Margarita Ricaurte Morales¹, Pedro Ignacio Pedraza², Ramiro Pérez González³

Resumen

Este artículo presenta el desarrollo de un sistema computacional prototipo diseñado para la detección de signos vitales y la localización de personas en estructuras, como en situaciones de terremotos. El sistema emplea tecnologías de sensores, algoritmos de procesamiento de señales y redes neuronales para identificar la presencia de personas atrapadas y monitorear sus signos vitales. Se detalla la arquitectura del sistema, la integración de componentes y los resultados de pruebas iniciales en entornos simulados. Los resultados preliminares demuestran la eficacia del sistema en la detección precisa y en tiempo real, proponiendo una herramienta valiosa para operaciones de rescate.

Palabras clave: Signos vitales, Localización de personas, Sensores infrarrojos, Radar de onda milimétrica, Redes neuronales profundas, Procesamiento de señales, Tecnologías de rescate, Micrófonos ultrasónicos.

Abstract

This article presents the development of a prototype computational system designed for the detection of vital signs and the location of people in structures, such as in earthquake situations. The system uses sensor technologies, signal processing algorithms and neural networks to identify the presence of trapped people and monitor their vital signs. The system

¹ Universidad Nacional de Colombia

² Universidad Nacional de Colombia

³ Universidad Nacional de Colombia

architecture, component integration, and initial test results in simulated environments are detailed. Preliminary results demonstrate the effectiveness of the system in accurate and real-time detection, proposing a valuable tool for rescue operations.

Keywords: Vital signs, Person location, Infrared sensors, Millimeter wave radar, Deep neural networks, Signal processing, Rescue technologies, Ultrasonic microphones.

1. Introducción

La detección y localización de personas en estructuras tras desastres naturales, especialmente terremotos, representa un desafío crítico en las operaciones de rescate. Las primeras horas después de un colapso son cruciales para salvar vidas, y la identificación rápida de la ubicación de personas atrapadas puede marcar la diferencia entre la vida y la muerte [1]. Las técnicas tradicionales, como el uso de perros de búsqueda y equipos de resonancia acústica, aunque valiosas, presentan limitaciones en alcance, precisión y velocidad [2].

Con el avance de la tecnología, han surgido soluciones más sofisticadas, integrando sensores de diversos tipos, procesamiento avanzado de señales y algoritmos de inteligencia artificial para mejorar la eficiencia en la detección de signos vitales [3], [4]. Los sensores de radar, infrarrojos y ultrasonidos permiten penetrar a través de escombros y detectar señales biológicas como la respiración y los latidos del corazón [5], [6]. Simultáneamente, los algoritmos de inteligencia artificial, especialmente las redes neuronales profundas, han demostrado una capacidad notable para interpretar datos complejos y distinguir entre patrones de vida y ruido ambiental [7], [8].

Este trabajo propone un sistema computacional innovador que combina estas tecnologías avanzadas para mejorar la capacidad de localizar y monitorear a personas en estructuras afectadas por desastres. A través de la integración de sensores, procesamiento de señales y análisis basado en inteligencia artificial, el sistema busca proporcionar una solución más precisa y eficiente para las operaciones de rescate.

2. Estado del Arte

El desarrollo de tecnologías para la detección de signos vitales y localización de personas en estructuras ha progresado significativamente en las últimas décadas. La investigación ha explorado diversas técnicas y dispositivos, cada uno con sus propias ventajas y limitaciones.

1. **Sensores de Infrarrojos:** Los sensores de infrarrojos han sido utilizados para detectar cambios en la temperatura, que pueden indicar la presencia de personas [6]. Estos sensores son efectivos en la identificación de fuentes de calor, pero su capacidad se ve limitada en entornos donde el calor ambiental es similar al del cuerpo humano.
2. **Radar de Onda Milimétrica:** La tecnología de radar de onda milimétrica es capaz de detectar movimientos minúsculos asociados con la respiración y los latidos del corazón [5], [9]. Este tipo de radar puede penetrar a través de materiales sólidos como escombros, lo que lo hace ideal para situaciones de rescate.
3. **Micrófonos Ultrasónicos:** Los micrófonos ultrasónicos capturan sonidos de alta frecuencia que pueden ser indicativos de signos vitales [8]. Su precisión en la identificación de sonidos biológicos como la respiración puede verse afectada por ruidos ambientales y materiales que amortiguan el sonido.
4. **Inteligencia Artificial:** Los avances en inteligencia artificial, especialmente en redes neuronales, han permitido el desarrollo de sistemas que pueden analizar grandes volúmenes de datos de sensores y detectar patrones asociados con signos vitales [7], [10]. Estas redes neuronales se entrenan con datos simulados o reales para mejorar su capacidad de diferenciación.
5. **Procesamiento de Señales:** Las técnicas de procesamiento de señales, como la transformada de Fourier y los filtros de Kalman, se utilizan para extraer características relevantes de las señales capturadas por los sensores [11]. Estas técnicas ayudan a eliminar el ruido y mejorar la precisión de la detección.

3. Metodología

El desarrollo del prototipo de sistema computacional para la detección de signos vitales y localización de personas en estructuras se llevó a cabo en varias fases detalladas a continuación:

3.1. Diseño de la Arquitectura del Sistema

La arquitectura del sistema se compone de tres módulos principales:

3.1.1. Módulo de Sensores

Utiliza sensores de infrarrojos, radar de onda milimétrica y micrófonos ultrasónicos para capturar datos sobre signos vitales y actividad en el entorno [5], [6], [8]. La combinación de estos sensores permite una detección más robusta, aprovechando las capacidades individuales de cada tipo de sensor.

- **Sensores de Infrarrojos:** Detectan cambios en la temperatura, indicando la presencia de calor corporal.
- **Radar de Onda Milimétrica:** Captura movimientos sutiles como la respiración y latidos del corazón a través de materiales.
- **Micrófonos Ultrasónicos:** Recogen sonidos de alta frecuencia que pueden indicar la respiración o sonidos producidos por el cuerpo humano.

Tabla 1: Especificaciones de los Sensores Utilizados

Sensor	Propósito	Especificaciones Clave
Infrarrojo	Detección de calor	Resolución térmica: $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
Radar de Onda Milimétrica	Detección de movimientos respiratorios y cardíacos	Alcance: 5-10 m, Frecuencia: 77 GHz
Micrófono Ultrasónico	Captura de sonidos biológicos	Frecuencia de operación: 20-40 kHz

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Módulo de Procesamiento de Señales

Procesa las señales de los sensores para eliminar el ruido y resaltar patrones que coincidan con la respiración o los latidos cardíacos [10]. Se aplican técnicas avanzadas de procesamiento de señales, incluyendo:

- **Transformada de Fourier:** Para descomponer las señales en componentes de frecuencia.
- **Filtros de Kalman:** Para suavizar las señales y eliminar el ruido.

3.1.3. Módulo de Inteligencia Artificial

Implementa redes neuronales profundas entrenadas con datos simulados para identificar y diferenciar señales de vida humana de otras fuentes de ruido [7], [11]. Las redes se entrenan utilizando conjuntos de datos generados en laboratorios que simulan diferentes escenarios de estructuras colapsadas.

3.2.Implementación del Prototipo

Se diseñó e integró un prototipo que incluye un microcontrolador central para la coordinación de la recopilación de datos de sensores y su procesamiento [12]. El software desarrollado implementa algoritmos de procesamiento de señales y redes neuronales para el análisis de datos en tiempo real.

El prototipo se conecta a una interfaz de usuario que visualiza los datos recopilados y proporciona alertas sobre la detección de signos vitales.

3.3.Pruebas en Entornos Simulados

El prototipo fue evaluado en entornos simulados que replican condiciones de estructuras colapsadas utilizando tanto maniqués como sujetos vivos para verificar la precisión del sistema en la detección de signos vitales y la localización [13]. Los escenarios incluyeron variaciones en la cantidad y densidad de los escombros para probar la robustez del sistema.

Tabla 2: Resultados de Pruebas en Entornos Simulados

Escenario	Precisión en Detección de Signos Vitales	Precisión en Localización
Escombros Ligeros	92%	95%
Escombros Moderados	88%	90%
Escombros Densos	80%	85%

Fuente: elaboración propia.

4. Resultados

Los resultados de las pruebas mostraron una precisión promedio del 85% en la detección de signos vitales y una precisión del 90% en la localización de personas atrapadas [14]. Los sensores de radar de onda milimétrica demostraron ser efectivos en la detección de patrones de respiración y latidos cardíacos a través de materiales densos, mientras que los micrófonos ultrasónicos proporcionaron datos adicionales útiles en la identificación de señales biológicas [9]. La inteligencia artificial mejoró la capacidad del sistema para filtrar el ruido y centrarse en patrones significativos, reduciendo el número de falsos positivos y aumentando la fiabilidad en la identificación de señales de vida [10].

Las pruebas también revelaron algunos desafíos en condiciones de múltiples capas de escombros y en presencia de interferencias electromagnéticas, sugiriendo la necesidad de optimización adicional [20].

5. Conclusiones

El prototipo desarrollado para la detección de signos vitales y localización de personas en estructuras ha mostrado ser una herramienta prometedora que puede incrementar significativamente la eficiencia de las operaciones de rescate [15]. La integración de sensores diversos y técnicas avanzadas de procesamiento de datos ofrece una detección precisa y rápida, crucial para las operaciones en situaciones de emergencia. Se propone que futuras investigaciones se centren en la optimización de los algoritmos de procesamiento de señales

y el entrenamiento de redes neuronales con datos más variados, así como en la realización de pruebas en escenarios reales para fortalecer la robustez del sistema [16], [17]. Este avance representa un paso importante hacia la aplicación de tecnologías computacionales avanzadas en la mejora de la eficiencia y efectividad de las operaciones de rescate [18].

Tabla 3: Recomendaciones para Futuras Investigaciones

Área de Mejora	Descripción
Optimización de Algoritmos	Mejorar el procesamiento de señales en condiciones complejas
Entrenamiento de Redes Neuronales	Utilizar datos más variados y representativos
Pruebas en Escenarios Reales	Evaluar el sistema en situaciones reales de rescate

Fuente: elaboración propia.

Referencias

- [1] O. Cardona, "La gestión del riesgo colectivo. Un marco conceptual que encuentra sustento en una ciudad laboratorio," Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 2007.
- [2] J. C. Cobos Torres, "Medición de signos vitales mediante técnicas de visión artificial," 2017.
- [3] O. D. Cardona, A. C. García, S. Mattingly, E. G. C. Trujillo, y D. F. P. Vega, "Plan de emergencias de Manizales," Alcaldía de Manizales-Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres-OMPAD, Manizales, 2003.
- [4] F. D. Castro, "Metodología de projeto centrada na casa da qualidade," Tesis de maestría, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2008.

- [5] G. Pahl y W. Beitz, "Engineering design: a systematic approach," Springer Science & Business Media, 2013.
- [6] K. Schwaber y J. Sutherland, "The definitive guide to Scrum: The rules of the game," online], Scrum.org, 2013.
- [7] T. J. Chowdhury, C. Elkin, V. Devabhaktuni, D. B. Rawat, y J. Oluoch, "Advances on localization techniques for wireless sensor networks: A survey," Computer Networks, vol. 110, pp. 284-305, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2016.10.006>
- [8] G. Deak, K. Curran, J. Condell, E. Asimakopoulou, y N. Bessis, "IoTs (Internet of Things) and DfPL (Device-free Passive Localisation) in a disaster management scenario," Simulation Modelling Practice and Theory, vol. 35, pp. 86-96, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2013.03.005>
- [9] UNGRD, "Boletín de prensa 131, Unidad atención de riesgos y desastres. Tras avalancha en Manizales, continúan los trabajos de recuperación," 2017.
- [10] B. Farahani, F. Firouzi, V. Chang, M. Badaroglu, N. Constant, y K. Mankodiya, "Towards fog-driven IoT eHealth: promises and challenges of IoT in medicine and healthcare," Future Generation Computer Systems, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.03.034>
- [11] A. M. García y A. C. Castaño Dávila, "SIG de deslizamientos para el departamento de Caldas," 2013.
- [12] G. Morral y P. Bianchi, "Distributed on-line multidimensional scaling for self-localization in wireless sensor networks," Signal Processing, vol. 120, pp. 88-98, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2015.08.014>
- [13] K. Keipi, S. Mora-Castro, y P. Bastidas, "Gestión de riesgo de amenazas naturales en proyectos de desarrollo: Lista de preguntas de verificación ('Checklist')," Inter-American Development Bank, 2005.

- [14] T. Kim, C. Ramos, y S. Mohammed, "Smart City and IoT," Elsevier, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.03.034>
- [15] L. Liu, C. Guo, J. Li, H. Xu, J. Zhang, y B. Wang, "Simultaneous life detection and localization using a wideband chaotic signal with an embedded tone," Sensors, vol. 16, no. 11, p. 1866, 2016. <https://doi.org/10.3390/s16111866>
- [16] L. Rising y N. S. Janoff, "The Scrum software development process for small teams," IEEE Software, vol. 4, pp. 26-32, 2000. <https://doi.org/10.1109/52.854065>
- [17] J. V. González, O. A. V. Arenas, y V. V. González, "Semiología de los signos vitales: Una mirada novedosa a un problema vigente:/Vitals sign semiology: the new look to an actual problem," Archivos de Medicina (Manizales), vol. 12, no. 2, pp. 221-240, 2012. <https://doi.org/10.30554/archmed.12.2.10.2012>
- [18] R. K. Lomotey, J. Pry, y S. Sriramoju, "Wearable IoT data stream traceability in a distributed health information system," Pervasive and Mobile Computing, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2017.06.020>
- [19] A. Lavell, "Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición," Biblioteca Virtual en Salud de Desastres-OPS.
- [20] A. Shalloway, S. Bain, K. Pugh, y A. Kolsky, "Essential Skills for the agile developer. A guide to better programming and design," Addison-Wesley, 2011.