

# Sistema de Supervisión no invasivo de Signos Vitales con un robot.

Juan-Carlos Cobos-Torres  
Universidad Carlos III de Madrid-Leganés, 100294413@alumnos.uc3m.3s

Mohamed Abderrahim  
Universidad Carlos III de Madrid-Leganés, mohamed@ing.uc3m.es

## Resumen

*ROS se está convirtiendo en un estándar en el desarrollo robótico, por lo cual, el presente proyecto realiza el diseño e integración bajo dicho software robótico, de un sistema para monitorización de signos vitales, mediante la técnica fotopleletismográfica. Esta es capaz de medir la frecuencia cardíaca y la frecuencia respiratoria. La información obtenida de cada signo vital es muestreada mediante una cámara digital y procesada en línea, por diferentes nodos, respetando la plataforma multimodal de ROS. El prototipo fue evaluado y simulado en el robot Turtlebot. Además se realizaron pruebas con personas con su correspondiente correlación de las medidas con instrumentos comerciales de medición.*

**Palabras Clave:** Cámara digital, monitoreo, robot, ROS, signos vitales, simulación.

## 1 INSTRUCCION

Actualmente la medicina solicita del médico aparte de gran preparación, habilidades y capacidad de diagnosticar con rigor a un paciente, la utilización de instrumentos que le permitan la supervisión de dicho paciente, tanto para valorarlo correctamente, como para llevar con éxito el control en el transcurso de la enfermedad. Por lo mismo, no solo se debe buscar la mejora constante de la medición de los signos vitales SV, implementando técnicas de segmentación, evaluación y filtrado de señales, que permitan presentar de mejor manera la información requerida, sino la transversalización con otras áreas del conocimiento, siendo aquí donde toman protagonismo los robots.

A pesar de lo diferente de las dos áreas, la robótica en la actualidad, mediante sus diversas aplicaciones puede ayudar, facilitar y beneficiar al cuidado de la salud humana. Ello permitirá mejorar el desempeño del personal sanitario, al liberarles de ciertas actividades y mejorando de manera sustancial el monitoreo a pacientes.

Uno de los ejemplos es el robot MOBISERV, que es un robot de compañía de ancianos, puede realizar una supervisión de SV, pero dentro del contexto de integrar sensores en prendas de vestir [7]. Otro ejemplo es el robot Charles, con el cual se busca medir el grado de aceptación de los robots por parte de sus usuarios, mediante la búsqueda de cambios de presión arterial. La información se recolecta mediante un sensor de marca Omron de brazaletes [8]. Además, existen robots que cuentan con sensores de emisiones de CO<sub>2</sub> para la comprobación de respiración del paciente, con lo que adquiere la capacidad de observar si el paciente respira [2].

Un ejemplo actual de robots en el sector de salud es HealthBot, que cuenta con tres dispositivos que le permiten adquirir los SV del paciente, dos pulsímetros y un tensiómetro, todos ellos conectados mediante redes inalámbricas. Además, existen robots quirúrgicos que supervisan los SV del paciente, mediante módulos que les permiten conectarse a diferentes sensores [5].

En todo caso, se observa en la mayoría de robots, ya sean estos de supervisión, rescate, cirugía o sociales entre otros, el patrón en todos ellos, para la medición de los SV es el electrocardiograma ECG [12], pulsímetro [11] o mediante la colocación de sensores piezoeléctricos [1], en la zona abdominal. Para romper el vínculo o conexión física, la transmisión de la información se realiza por diversas técnicas inalámbricas.

En todo caso, el ECG que necesita la grabación de potencial eléctrico generado por el corazón, requiere la aplicación adecuada de los electrodos. De igual manera, el pulsímetro que necesita su colocación en un dedo o lóbulo de la oreja. Y por último los sensores piezoeléctricos, su colocación mediante bandas. Todos estos métodos tienen una fuerte dependencia de su correcta colocación, pueden causar molestias al paciente, pero sobre todo pueden interferir en su movilidad, así como su interrelación con familiares.

Otra alternativa, que mejora el confort de los pacientes, al no tener que estar conectado a diferentes sensores, es mediante la emisión de microondas, que al ser reflejadas por el paciente, un radar las recibe y

mediante el efecto Doppler detectan la frecuencia cardiaca FC y la frecuencia respiratoria FR, según comenta el autor es una tecnología probada en un robot prototipo [10].

Otro método, es mediante la utilización de ultrasonido, una aplicación muy práctica es el robot quirúrgico. Mediante la medición de la FC, busca predecir los movimientos del corazón y permite al doctor operar un corazón mientras este está latiendo. El robot se encarga de sincronizar sus movimientos a los latidos del corazón [3, 4].

El método implementado en este trabajo, se basa en el análisis de las variaciones en dos zonas seleccionadas, la primera en la frente y la otra en la zona abdominal del paciente, para demostrar que es posible determinar la FC y FR, en pequeñas regiones rectangulares de imágenes capturadas por una cámara digital, todo esto integrado dentro de un robot móvil, que cuente con su sistema de navegación y además de detección del usuario.

## 2 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

A continuación, se describe de manera general el sistema de supervisión. La idea principal es enviar al robot a la posición donde está el paciente y que este identifique al paciente y compruebe el signo vital de la persona. Aquí, nuestro sistema se divide en cuatro partes principales: seguimiento de posición del paciente, navegación, la detección de la pose del paciente, y la medición de signos vitales por el robot, como se puede ver en la Figura 1.

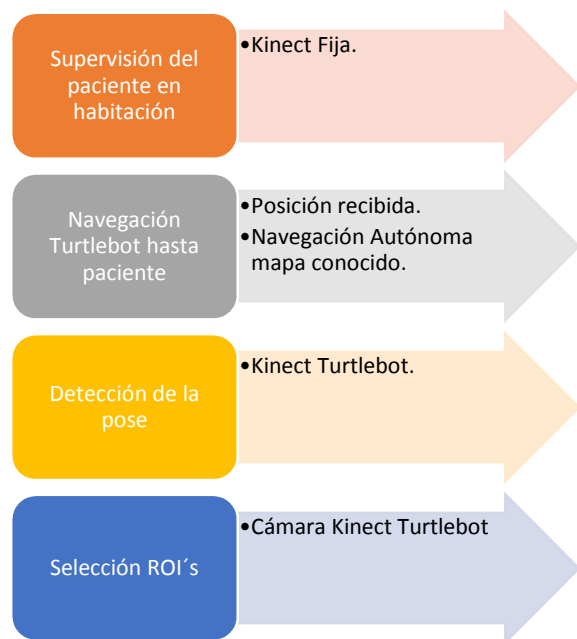


Figura 1: Sistema robótico de supervisión de SV.

El robot situado en una habitación diferente y equipado por una gama de sensores, recibe la llamada de supervisión, con lo cual inicia la navegación hacia el paciente. En este caso se utiliza el turtlebot de Willow Garage, que permite trabajar en un ambiente simulado como Gazebo. El objetivo es ubicar el robot frente al paciente, enfocar su rostro y parte de su zona abdominal. El uso aquí de este robot en particular y su simulación, tiene el único objetivo de probar el concepto y mostrar la viabilidad del método propuesto. Para la tarea encomendada, el robot recibirá una posición estimada, gracias a la posición del paciente calculada por una cámara Kinect fija en la habitación. Una vez frente al paciente, se procede a calcular su pose, con lo cual se reubica y enfoca las zonas de interés, procediendo a la medición de los signos vitales por la técnica fotopletiométrica, mediante la cámara digital del robot.

## 3 MATERIALES Y METODO

### 3.1 DETECCION Y SEGUIMIENTO DEL PACIENTE

El robot debe ser capaz de detectar y rastrear a las personas en la habitación. La percepción en ambientes dinámicos puede ser extremadamente compleja para un robot. Eso requiere realizar el seguimiento del paciente, en todo momento, para contar con un referente de la posición del mismo. La medición de los SV, se realizará siempre con el paciente sentado, pero no en un lugar específico, ya que este podrá estar sentado en un sillón, cama u otro mueble que su altura le permita interactuar con el Turtlebot.

Además de desarrollar la metodología de visión por computador para medir los SV, se integra el método en el robot móvil mencionado usando ROS. Se utiliza un método fiable disponible en ROS Wiki llamado el paquete de ROS *openni\_tracker* [6], que permite realizar un seguimiento constante del paciente. Esta información es solicitada por el robot, para dirigirse a la posición donde está el paciente. Una vez alcanzada la posición del usuario, este procede a realizar el reconocimiento de la pose del paciente, para con esta información ubicarse frente al paciente. Para esto, utiliza el paquete de ROS *head\_pose\_detection* [9], también disponible en ROS Wiki. Este paquete realiza el cálculo de la pose de la cabeza del paciente, mediante la estimación de los datos de profundidad.

### 3.1 MEDICION DE LOS SIGNOS VITALES DEL PACIENTE

El método consiste en crear un nodo de adquisición de imágenes mediante la cámara digital, bajo el lenguaje de programación *Python* y utilizando la biblioteca

*CvBridge*, que permite contar con una interfaz ROS-OpenCV. La adquisición con la cámara se realiza a 20 Hz, con una resolución de 640x480 píxeles. Este nodo además realiza la selección de dos ROIs; una en la parte superior y la otra en la parte inferior de la imagen y ambas centradas horizontalmente. Cada una con una dimensión de 40x40 píxeles. Finalmente el nodo envía cada ROI por tópicos independientes.

Aquí, se conectan dos nodos, son los encargados de separar los canales de color para el análisis y calcular su respectivo promedio. En el caso de la FC, se utiliza el canal verde G y para la FR el canal rojo R. Con dicho promedio se generan pilas de tipo FIFO, con una dimensión de 6s para la FC y una de 9s para la FR. Estos valores fueron seleccionados, bajo la premisa de ser el tiempo suficiente para contar con un mínimo de 6 pulsos, tanto cardiacos como respiratorios. No se debe olvidar que para la técnica fotopletismográfica, existen tres variables que influyen en la medición, la distancia de la cámara, la perfusión tisular de la piel del paciente y la iluminación. Bajo estas tres condiciones trabajar con el canal G, permite observar las variaciones de perfusión tisular en la piel. Y en el caso del canal R, permite observar las variaciones de distancia de la zona abdominal del paciente.

Una vez llenas las pilas, se proceden a enviar las pilas de datos como mensaje, mediante el tópico de salida de cada nodo. Se continúa a la vez actualizando las pilas, con los nuevos promedios de cada nueva imagen.

Dos nuevos nodos suscritos a los anteriores, toman los mensajes y filtran las señales de baja frecuencia, tanto la distancia a la cámara, así como la iluminación dentro de la señal promediada contribuyen con señales de baja frecuencia, por lo cual mediante técnicas de análisis numérico se busca la aproximación a estas bajas frecuencias para quitar el offset de la señal de análisis.

Se analizan los rangos de frecuencias tanto para la FC y FR mostrados en la Tabla 1, en busca de los picos de frecuencia. Si dichos picos superan el umbral de potencia necesario, se toma dicho valor y se presenta la medida, en el tópico de salida.

Tabla 1: Rangos de frecuencias.

	Niños	Adultos
<b>Frecuencia Cardíaca</b>	1,00 a 2,33 Hz	0,83 a 1,67 Hz
<b>Frecuencia Respiratoria</b>	0,30 a 0,50 Hz	0,20 a 0,33 Hz

## 4 RESULTADOS

Con el fin de comprobar el comportamiento del sistema, se realizaron las simulaciones pertinentes, dentro de ROS y Gazebo, tanto para la navegación del robot dentro de la habitación, así como para su correcta ubicación frente al paciente. Si bien es cierto que el simulador, representa las características y comportamiento del robot, este nunca llegara a actuar exactamente, como lo hace en la vida real. Sin embargo, la característica de proteger el robot y probar código y librerías experimentales, de manera sencilla y ágil, ha permitido comprobar el funcionamiento adecuado de los paquetes de navegación y detección de pose de la cabeza, Figura 2.



Figura 2: Simulación del Turtlebot.

Aparte de la simulación, de manera real se realiza la medición de los SV de un paciente. Se observa la estructura del sistema de medición de SV en ROS en la Figura 3, donde se ve un nodo común de adquisición de imágenes y dos ramales distintos una para la FC y otro para la FR.

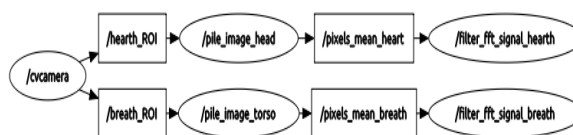


Figura 3: Estructura del Sistema en ROS.

Se realiza la medición en un paciente y para contrastar los datos, se utiliza un pulsímetro de dedo. En cuanto a la FR, se utiliza el método de regulación voluntaria de la respiración, con la ayuda de la aplicación de un dispositivo móvil llamada *Paced Breathing*, que permite al paciente controlar la FR en 15 rpm. Todo esto lo podemos observar en la Figura 4.

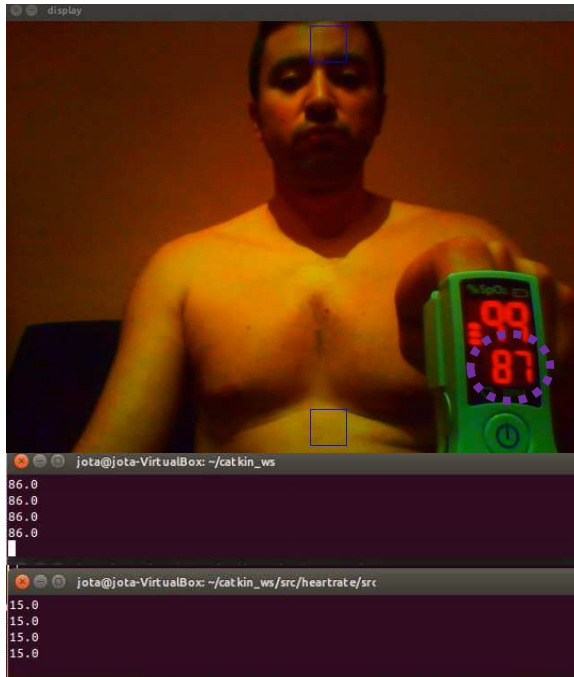


Figura 4: Sistema ejecutándose en ROS.

Además se observa las dos ROI's, tomadas a partir del detector de pose del paciente, que permite ajustar el ángulo de la cámara 50 pixeles por encima de la posición de la nariz (basado en la regla de los tercios de proporciones faciales, y tras varias pruebas de distancia robot – paciente en simulación, se estima que el rostro ocupa aproximadamente 150 pixeles de la imagen) y el segundo ROI de manera vertical con respecto al primero y a 20 pixeles por encima de la parte inferior de la imagen, para capturar una sección de la zona abdominal.

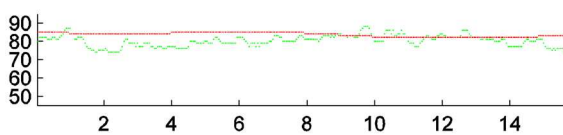


Figura 5: Comparación de medidas de FC, técnica pletismográfica (línea verde) y pulsímetro de dedo (línea roja).

Se observa en la Figura 5, la estimación de la FC, mediante la cámara superpuesta a los valores obtenidos con el oxímetro de pulso. Muestra tomada durante 15 segundos, que proporciona evidencia visual de una buena concordancia entre las estimaciones de la cámara y los valores de referencia. Por último, si se presta atención a la Figura 4, se ve que la iluminación es de tipo artificial y con una calidad baja, lo que confirma la robustez del método.

## 5 CONCLUSION

Se puede observar que este sistema es muy simple y robusto, tanto estructuralmente como fácilmente integrable a cualquier robot, que funcione bajo el sistema operativo ROS, que en la actualidad se está convirtiendo en un esquema general para la robótica. La robótica hoy en día es un eje de muchas áreas de la vida cotidiana, por lo cual pensamos que esta aplicación pronto se verá utilizada en áreas como la medicina, rescate, supervisión, detección de estados de ánimo, entre otros y todo bajo un esquema de medición de SV no invasivo, técnicamente hablando, al no tener que estar conectado a ningún dispositivo o tener un sensor pegado al cuerpo.

### Agradecimientos

El trabajo ha sido financiado parcialmente por el proyecto RoboCity2030-III-CM (Robótica aplicada a la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos. fase III; S2013/MIT-2748) financiado por Programas de Actividades I+D en la Comunidad de Madrid y cofinanciado por los Fondos Estructurales de la Unión Europea.

Además, el primer autor agradece al Gobierno Ecuatoriano, por la beca estudios que apoya y financia sus estudios. Su gratitud también a la ayuda directa de los laboratorios de la Universidad Carlos III de Madrid.

### Referencias

- [1] K. Aminian, X. Thouvenin, P. Robert, J. Seydoux and L. Girardier. A piezoelectric belt for cardiac pulse and respiration measurements on small mammals. *Presented at Engineering in Medicine and Biology Society*, 1992 14th Annual International Conference of the IEEE. 1992.
- [2] I. Ardiyanto, J. Satake and J. Miura. Autonomous monitoring framework with fallen person pose estimation and vital sign detection. *Presented at Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, 2014 6th International Conference On. 2014.
- [3] M. Bowthorpe, M. Tavakoli, H. Becher and R. Howe. Smith predictor-based robot control for ultrasound-guided teleoperated beating-heart surgery. *Biomedical and Health Informatics, IEEE Journal Of 18(1)*, pp. 157-166. 2014.
- [4] M. Bowthorpe, M. Tavakoli, H. Becher and R. Howe. Smith predictor based control in teleoperated image-guided beating-heart

- surgery. *Presented at Robotics and Automation (ICRA)*, 2013 IEEE International Conference On. 2013.
- [5] B. J. CHOI, Y. B. Shim, Y. J. Kim, J. H. Kim, S. G. ROH, Y. B. Lee and J. W. Lee. Surgical robot. 2014.
- [6] T. Field. (2013-03-05). *openni\_tracker* [Consulta: 2015-28-05, 12:11:34]. Disponible: [http://wiki.ros.org/openni\\_tracker](http://wiki.ros.org/openni_tracker).
- [7] J. Kivirinta. The right UI for elderly people; a review of recent and current research. Disponible: [http://www.oamk.fi/~karil/mit\\_studies/wireless\\_future\\_seminar/papers2013/final\\_paper\\_kivirinta\\_jouni.pdf](http://www.oamk.fi/~karil/mit_studies/wireless_future_seminar/papers2013/final_paper_kivirinta_jouni.pdf). 2013.
- [8] I. H. Kuo, J. M. Rabindran, E. Broadbent, Y. I. Lee, N. Kerse, R. Stafford and B. A. MacDonald. Age and gender factors in user acceptance of healthcare robots. Presented at Robot and Human Interactive Communication, 2009. RO-MAN 2009. the 18th IEEE International Symposium On. 2009.
- [9] D. Lazewatsky. (2014-10-09). *head\_pose\_estimation* [Consulta: 2015-28-05 13:43:23]. Disponible: [http://wiki.ros.org/head\\_pose\\_estimation](http://wiki.ros.org/head_pose_estimation).
- [10] C. Li, J. Cummings, J. Lam, E. Graves and W. Wu. Radar remote monitoring of vital signs. *Microwave Magazine, IEEE 10(1)*, pp. 47-56. 2009.
- [11] J. G. Webster. *Design of Pulse Oximeters* 1997.
- [12] J. G. Webster. Medical instrumentation-application and design. *J. Clin. Eng. 3(3)*, pp. 306. 1978.