

Jornadas de Automática

Una propuesta de integración de una red de sensores IoT en el robot Mini para monitorización del usuario en su domicilio

Palomares-Garrido, G.^{a,*}, Castro-González, Á.^a, Castillo, J.C.^a, Malfaz, M.^a, Salichs, Miguel A.^a

^a Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III de Madrid, C/ Butaque, n° 15, 28912, Leganés, Madrid, España.

To cite this article: Palomares-Garrido, G., Castro-González, Á., Castillo, J.C., Malfaz, M., Salichs, Miguel A. 2024. Integration of an IoT sensor network in the Mini robot to monitor the user at home: a proposal. *Jornadas de Automática*, 45. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2024.45.10916>

Resumen

En la robótica social existen aplicaciones donde es conveniente que las capacidades perceptivas del robot alcancen más allá de los propios sensores. Siendo especialmente relevante en robots de sobremesa, que permanecen en la ubicación donde se colocan. Concretamente en aplicaciones para monitorización de personas mayores esta puede ser una importante limitación. Para afrontar este problema, en el presente trabajo se propone ampliar las capacidades de percepción del robot social Mini integrando la información proporcionada por una red de sensores IoT. Se ha desarrollado un sistema de reglas que, en base a valores ambientales medidos por la red de sensores en tiempo real, detecta situaciones anómalas o de riesgo para las personas. Cuando se identifica una de estas situaciones, el robot contactará con el usuario sugiriendo una acción para afrontarla y preguntando si se encuentra bien. En caso de no recibir respuesta por parte del usuario, el robot podría avisar a un familiar o cuidador empleando una aplicación de mensajería instantánea.

Palabras clave: Interacción multimodal; Automatización y diseño centrados en el ser humano; Informática centrada en el ser humano; Tecnología asistencial e ingeniería de rehabilitación; Tecnología robótica; Percepción y detección; Sistemas robóticos autónomos; Robótica inteligente.

Integration of an IoT sensor network in the Mini robot to monitor the user at home: a proposal.

Abstract

In social robotics there are applications where it is desirable that the robot's perceptual capabilities reach beyond the sensors themselves. This is especially relevant in desktop robots, which remain in the location where they are placed. Particularly in applications for monitoring elderly people, this can be an important limitation. To address this problem, this paper proposes to extend the perception capabilities of the Mini social robot by integrating the information provided by an IoT sensor network. A rule system has been developed that, based on environmental values measured by the sensor network in real time, detects anomalous or risky situations for people. When one of these situations is identified, the robot will contact the user suggesting an action to deal with it and asking if he/she is well. If no response is received from the user, the robot could alert a family member or caregiver using an instant messaging application.

Keywords: Multi-modal interaction; Human-centered automation and design; Human-centered computing; Assistive technology and rehabilitation engineering; Robotics technology; Perception and sensing; Autonomous robotic systems; Intelligent robotics.

1. Introducción

La robótica ha experimentado una gran transformación en diversas industrias y aspectos de la vida cotidiana. Un ejemplo de esto es su aplicación dadas las mejoras que aporta en el ámbito sanitario y asistencial.

Es el caso de los robots asistenciales, que están ayudando en el cuidado de personas mayores y con necesidades especiales dando apoyo emocional y físico; como es el caso de Therabot, un perro robótico que ha conseguido reducir los niveles de estrés en pacientes y contribuir al proceso terapéutico (Bethel et al. 2023); o SnuggleBot, un peluche robotizado con forma de manatí diseñado para reconfortar física y mentalmente a los pacientes en estado de soledad mediante los abrazos a este (Passler Bates y Young 2020).

En este tipo de aplicaciones es crucial la relación que se pueda establecer entre el usuario y el robot. Es aquí donde la robótica social, enfocada al desarrollo de robots para la interacción humano-robot siguiendo las convenciones sociales establecidas (Hegel et al. 2009), cobra importancia. Algunos ejemplos son el robot Stevie, un robot humanoide diseñado para la interacción con personas de avanzada edad (Taylor et al. 2021); Mabu, un robot diseñado para la asistencia de personas mayores (Moine 2018); Buddy un robot compañero emocional enfocado a educación, apoyo emocional o cuidado de ancianos (Milliez 2018); o Mini, un robot de sobremesa diseñado para interactuar con personas de avanzada edad y discapacidades cognitivas (Salichs et al. 2020).

Como se observa en los ejemplos previos, una parte de los robots son de sobremesa, los cuales no pueden desplazarse. Este tipo de robots suelen fabricarse así para mejorar la aceptación por parte de los usuarios finales, que suelen mostrarse reacios a tener un dispositivo que se desplace libremente por su casa. Este es el caso del robot Mini (Salichs et al. 2016) (ver Figura 1), para el que los usuarios indicaron claramente que preferían un robot de sobremesa para poder controlar las estancias en las que este se encuentra.

Mini, el robot social utilizado en este trabajo, tiene como uno de sus principales objetivos mejorar la vida de las personas, para lo que es importante monitorizar el usuario y su entorno. De esta forma, se puede percibir ciertos comportamientos del usuario y vigilar situaciones potencialmente peligrosas. Sin embargo, Mini no puede desplazarse, por lo que sólo podría hacer esta monitorización en su zona cercana y con sus sensores.

Para permitir a Mini realizar esta monitorización en el entorno del usuario, por ejemplo, en su domicilio, e incluyendo información más heterogénea, se propone implementar una red de sensores ambientales para permitir al robot Mini tener información del estado y las actividades que el usuario está realizando, independientemente de donde se encuentre. De esta forma se puede tener información de un espacio mucho más amplio y no solo de la zona cercana al robot.

El sistema desarrollado en este trabajo está dirigido a personas que vivan solas o tengan que pasar tiempo solas, para proporcionar una capa extra de seguridad en el hogar a partir de las capacidades de monitorización continua de estos sensores. En estas situaciones, se propone el despliegue de un



Figura 1: Robot social Mini.

robot Mini en el domicilio del usuario y la instalación de sensores ambientales en las estancias que se desea monitorizar.

Además, este sistema podría emplearse también con robots móviles, pudiendo desplazarse este a la habitación en la que se detecta el valor anómalo para realizar una comprobación o solucionar la situación si el robot tiene la capacidad de hacerlo.

La estructura de este artículo es la siguiente. En la sección 2 se describe la plataforma de desarrollo de este trabajo, el robot social Mini. En la sección 3 se presenta la red de sensores IoT, describiendo tanto los valores medidos como la forma y protocolos de conexión. En la sección 4 se explica la habilidad de monitorización integrada en el robot Mini. En la sección 5 se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

2. El robot social Mini

El robot Mini fue originalmente diseñado con el objetivo de interactuar con personas de avanzada edad y problemas cognitivos. En proyectos posteriores se ampliaron sus capacidades para, entre otros usos, ayudar a personas mayores que viven solas y tienen problemas de soledad no deseada y aislamiento.

Mini tiene motores para el movimiento de su base, brazos, cuello y cabeza, lo que le otorga 5 grados de libertad. Para tener una mayor expresividad consta de LEDs en mejillas, boca y corazón; sensores capacitivos en hombros y barriga para detectar el tacto; y micrófono y altavoz para comunicarse. También tiene una tableta para mostrar contenido multimedia como fotos, videos e imágenes; así como para utilizar menús para interacción.

En cuanto al software, Mini funciona con ROS (Robot Operating System), que es un conjunto de bibliotecas y herramientas de software que ayudan a crear aplicaciones robóticas, todo de código abierto (Quigley et al. 2009). En concreto, el software de Mini se compone de tres sistemas:

- **DMS (Decision Making System):** Es el encargado de tomar las decisiones de ejecución de habilidades del robot, dando los valores pertinentes, como el nivel de dificultad en el caso de activar un juego.
- **HRI (Human-Robot Interaction):** Se encarga de la interacción con el usuario. Cuando alguno de los otros sistemas necesita dar información o pedírsela al usuario lo realiza a través de este. También administra los gestos y expresiones de Mini en función de lo que está realizando.

- **Habilidades:** El robot puede realizar una amplia variedad de juegos y habilidades, que abarcan desde juegos como el “Preguntados” hasta leer las noticias o dar el tiempo meteorológico (Velázquez Navarro et al. 2019).

3. Red de sensores ambientales

Para monitorizar amplias zonas con distintas estancias, se ha optado por una red de sensores IoT (Internet of Things) que proporcionan información ambiental o del entorno. Como ejemplo ilustrativo del escenario de aplicación, la Figura 2 muestra una posible distribución del robot y los sensores ambientales en una casa particular. En este ejemplo, el robot Mini se encuentra ubicado en el salón, una estancia en la que el usuario pasará la mayor parte del tiempo, y donde puede utilizar sus sensores para detectar al usuario y su entorno. También en esta estancia hay un sensor de ambiente para mejorar la monitorización, ya que el robot carece de ciertos sensores como humedad, temperatura o partículas volátiles. En el resto de habitaciones, Mini utilizará la información proporcionada por los sensores ambientales para monitorizar todas las estancias de la casa de forma poco intrusiva.

En concreto se han empleado los sensores IoT de la empresa RGS Care¹ que pueden verse en la parte izquierda de la Figura 3. Se tratan de unos dispositivos dotados de los siguientes sensores: temperatura (°C), humedad (%), luz (lux), presión (mbar), IAQ (Indoor Air Quality, %), partículas volátiles (partes por millón, ppm), CO2 (ppm), detección de movimiento (unitario), tiempo de movimiento (segundos) y nivel de sonido (decibelios, dB). El dispositivo funciona mediante baterías que les permiten una autonomía de operación de 10 meses y cuentan con una conectividad LoRaWAN, la cual se explica en más detalle en la siguiente subsección.

3.1. Funcionamiento de la red

La red de sensores ambientales está formada por los dispositivos presentados previamente, que se comunican a través de una puerta de enlace (*gateway*) a una *RaspberryPi* 4 modelo B que actúa como servidor para la comunicación entre los dispositivos y el robot.

Los sensores recogen los datos en periodos de 10 minutos. El procesador del dispositivo combina los valores de estos, haciendo una media de los datos medidos en este intervalo y manda en único mensaje con todos los valores. El mensaje tiene un formato json:

```
{id=1f-3h-d6-78; temperature=24.4; humidity=43; ...}
```

El campo *id* es el identificador del dispositivo y, a continuación, se envían los valores proporcionados por los distintos sensores del dispositivo (ver Tabla 1 para más información sobre los valores). Este mensaje se envía por radio a un *gateway* mediante el protocolo LoRaWAN. Es un protocolo de red inalámbrica caracterizado por su bajo consumo y su amplia cobertura. Está pensado para dispositivos que funcionan con baterías teniendo en cuenta

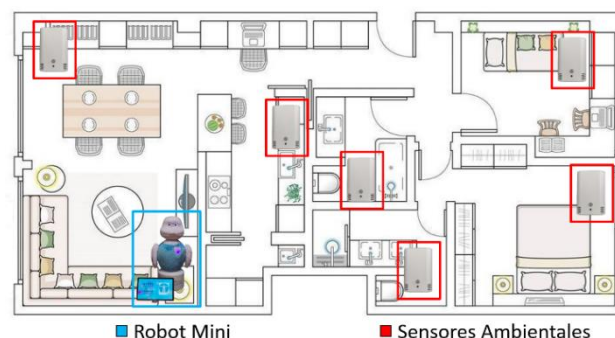


Figura 2: Mapa con un ejemplo de la distribución en el piso del usuario.

aspectos como la comunicación bidireccional, la seguridad de extremo a extremo, la movilidad y los servicios de localización («LoRa Alliance» 2019).

Posteriormente, el *gateway*² manda mediante una conexión ethernet y el protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) estos mensajes a la *Raspberry*. MQTT es un protocolo de mensajería ampliamente utilizado para IoT. Está diseñado como un transporte de mensajería de publicación/suscripción extremadamente ligero, que resulta ideal para conectar dispositivos remotos con recursos limitados y un ancho de banda de red mínimo (Stanford-Clark y Nipper 2019).

Finalmente, el robot está en constante comunicación con la *RaspberryPi* mediante el protocolo MQTT y cuando llega un mensaje a esta, Mini lo lee y procesa.

3.2. Conexión MQTT - ROS

La arquitectura software de Mini está basada en ROS y para que la información de los sensores ambientales pueda ser utilizada por el robot, tiene que convertirse a un formato aceptado por ROS.

Para ello, en la *RaspberryPi* se configura un servidor MQTT empleando Eclipse Mosquitto (Light 2017), que recibe los datos enviados por el *gateway* y el robot puede acceder a ellos mediante una conexión wifi. Una vez el robot ha recibido el mensaje, el paquete “*mqtt_client*” (Institut für Kraftfahrzeuge 2024) transforma el mensaje del protocolo MQTT y lo envía de forma interna como tópicos de ROS que las demás habilidades del robot pueden interpretar. Podemos ver un esquema de este proceso en la Figura 3.

De esta forma se convierte el mensaje de los sensores mediante el protocolo LoRaWAN a un tópico de ROS fácilmente interpretable por el robot Mini. Podemos observar un ejemplo del mensaje final:

```
temperature: 27.73
humidity: 16.33
lux: 382.0
pressure: 1003.0
iaq: 85.0
bvoc: 0.810
co2: 796.0
co2e: 940.0
det_count: 8.0
occ_time: 10.0
sound_min_dba: 23.86
sound_avg_dba: 63.18
sound_max_dba: 130.32
batt_mv: 3483.0
```

¹ <https://www.rgs-care.com/>

² <https://multitech.com/wp-content/uploads/86002212.pdf>

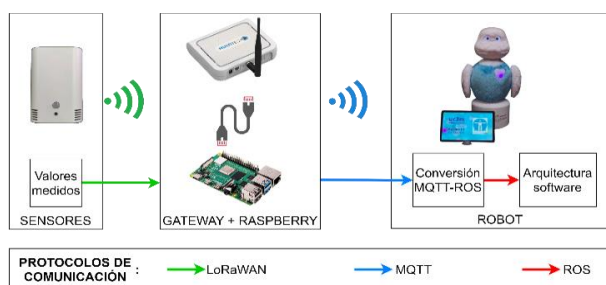


Figura 3: Diagrama de la lectura y envío de los valores de los sensores.

4. Habilidad de monitorización

El objetivo de este proyecto es la detección de situaciones anómalas o peligrosas para el usuario. Para ello, se ha desarrollado en el robot Mini una habilidad basada en reglas para detectar estas situaciones y darles una respuesta.

Las reglas consideradas se basan en detectar valores fuera de los rangos recomendables para el ser humano. Estos umbrales han sido proporcionados por el fabricante de los sensores y se muestran en la Tabla 1. Además, se añaden umbrales para situaciones que queremos detectar, por ejemplo, una humedad superior al 60% para detectar que el usuario se está duchando. Actualmente hemos definido 3 situaciones que queremos detectar: el usuario está cocinando, el usuario se está duchando y se ha producido un incendio. La Tabla 2 recoge los umbrales fijados para las reglas que identifican estas situaciones. Estos umbrales se identificaron tras el estudio de los valores medidos en tres domicilios y el incendio mediante una estimación respecto a los datos de un alimento quemado en la cocina.

La habilidad utiliza tres nodos de ROS:

- **Tratamiento de datos:** Encargado de suavizar los datos medidos y convertir el mensaje completo del tópic de ROS en un diccionario con los distintos valores para que el siguiente nodo pueda acceder a ellos de forma sencilla. Para cada sensor, el nodo almacena los últimos valores recibidos de cada magnitud y calcula la media aritmética de estos, evitando falsos positivos en las medidas. Podemos configurar cuantos valores queremos utilizar para realizar la media, así como indicar si queremos realizarla o no.

- **Análisis de datos:** Encargado de comparar los valores medidos con los umbrales recomendados para detectar las situaciones anómalas. También realiza la comparación en busca de las situaciones que queremos detectar. Cuando se detecta una situación relevante, este nodo lo comunica enviando un tópic "Aviso" indicando además el nivel de gravedad. También estudia las situaciones detectadas para actuar en consecuencia. Por ejemplo, si el usuario lleva tiempo sin ducharse manda un aviso.

Cuando se detecta una ducha se almacena en un archivo la fecha y hora de esta. De forma diaria se realiza una comprobación y si el usuario no se ha duchado en los últimos 3 días, se le sugiere que tome una ducha. En el caso de cocinar si lleva 2 días es cuando salta la alerta.

El sistema de reglas funciona de la siguiente forma: compara el valor medido con el umbral definido en la Tabla 1 y, si este está fuera, se manda la alerta correspondiente. El valor se encuentra fuera en los siguientes casos:

- El valor medido es menor que el valor mínimo del umbral (si hay uno). Es una alerta de valor bajo, del tipo grave.
- El valor medido es mayor que el valor máximo del umbral. Es una alerta por valor alto, del tipo grave.
- El valor medido es mayor que el valor recomendado/aceptable y menor que el valor máximo. Es una alerta por valor no recomendado, del tipo leve.

- **Notificación al usuario:** este nodo se encarga de gestionar la interacción con el usuario cuando ocurre una situación relevante. Una vez el nodo anterior notifica un aviso, este nodo que indica el tipo de alerta, una forma de actuar para solventar la situación y pregunta al usuario si se encuentra bien. En caso de no recibir respuesta, este nodo envía un mensaje instantáneo a un familiar o el cuidador del usuario.

Con este proceso, Mini es capaz de detectar valores fuera de los umbrales definidos y generar un aviso que puede ser leve o grave. Los avisos leves se producen cuando los valores no son recomendables porque una exposición prolongada a ellos puede ser perjudicial para los seres humanos; y los avisos graves se producen cuando los valores son tan elevados que su exposición representa un riesgo para la salud de las personas.

Un ejemplo de aviso leve sería cuando los niveles de CO₂ están entre 1000 y 2000 ppm, Mini recomendará que se abra la ventana para ventilar un poco. Estos valores no suponen un riesgo inmediato, pero una larga exposición puede ser perjudicial; pero mejorar esta situación no es urgente. Por esta razón, se le indica al usuario como resolverlo en vez de avisar al familiar o cuidador directamente, ya que se trata de una situación que puede resolver el usuario de forma autónoma.

La forma de proceder en este caso sería: se manda un aviso por voz al usuario y se le da una recomendación para mejorar la situación adversa. Además, se le pregunta al usuario si se encuentra bien para verificar que su salud no se ha visto afectada. En caso de recibir una respuesta negativa o no recibir respuesta, Mini usará una aplicación de mensajería que está integrada en el robot mediante una habilidad para avisar al familiar o cuidador designado. Los autores Carrasco-Martínez et al. en su artículo hacen referencia al uso de la aplicación de mensajería instantánea. En nuestro caso de uso, el mensaje se envía de forma inmediata considerando que, al alcanzar el punto del aviso la situación es crítica para la salud de la persona. A pesar de esta velocidad en la respuesta, tenemos el retraso generado por el envío de los sensores, que ocurre cada 10 minutos. Además, podrían producirse falsos positivos, de ahí la importancia del nodo de tratamiento de datos.

La forma de proceder para los avisos graves es similar, pero el aviso al usuario y comprobación de su estado de salud se realiza de forma simultánea al aviso al familiar o cuidador. Se trata de una situación que supone un riesgo inmediato para la salud del usuario, por lo que requiere la supervisión de una tercera persona. Un ejemplo de aviso grave sería si el nivel de partículas volátiles es muy alto. Estamos en una situación muy peligrosa para el usuario y que debe cambiarse de forma urgente, ya que una exposición a muy corto plazo es perjudicial o incluso mortal. En este ejemplo podría llevar a una intoxicación o asfixia. Aquí radica la importancia de

Tabla 1. Rangos de valores de los sensores

Sensor	Información del sensor	Valores normales	Unidades
Temperatura	Medición de la temperatura	10-40	Grados Celsius (°C)
Humedad	Medición de la humedad	30-60	Humedad relativa (%)
Luz	Medición de la luz solar	<50	lux
Presión	Medición de la presión atmosférica	No hay, depende de la localización geográfica	Milibares (mbar)
IAQ (Indoor Air Quality)	Valoración de la calidad del aire en función de los valores de partículas volátiles, CO2 y humedad	0-100 (0 Mejor)	Unitario
Partículas volátiles	Medición de las partículas orgánicas volátiles presentes en el aire	< 800 Ok 800-4000 max 15 mins > 4000 perjudicial	Partículas por millón (ppm)
CO2	Medición del nivel de CO2	< 1000 Ok 1000-2000 aceptable > 2000 Perjudicial	Partículas por millón (ppm)
Detección de movimiento	Medición de los movimientos, se trata de un contador que se incrementa con cada detección	No hay	Unitario
Tiempo de movimiento	Tiempo durante el que se ha detectado el movimiento, es una suma de los tiempos de todas las detecciones	No hay	Segundos (s)
Sonido	Medición del ruido	< 85	Decibelios (dB)

Tabla 2. Actividades a detectar usando la información de los sensores ambientales y los umbrales establecidos.

Actividad	Umbral	Sensor	Tiempo
Ducharse	> 60%	Humedad	> 10 mins
Cocinar	> 5000 ppm	Partículas volátiles	> 20 mins
Incendio	> 40°	Temperatura	> 20 mins
	>5000 ppm	Partículas volátiles	

avisar a la tercera persona, reduciendo el tiempo al mínimo para que la ayuda llegue lo antes posible.

En cuanto a la detección de las acciones, funciona de manera similar al sistema de reglas, pero teniendo en cuenta la habitación en la que se dan los incrementos en los valores.

La situación de la ducha, se da cuando la humedad en el cuarto de baño supera el umbral definido. Almacenando la fecha y hora en las que ocurren las detecciones se puede saber la frecuencia con la que el usuario toma duchas, pudiendo ver patrones anómalos en su higiene. En el caso de cocinar ocurre algo similar, almacenando las fechas y horas de esto se pueden detectar patrones de alimentación anómalos o falta de alimentación. Si no hay detecciones de forma continuada, puede suponer un riesgo en la salud del usuario, ya que no estaría comiendo. En la situación del incendio, es una combinación de varios valores, identificando esta situación peligrosa para la salud.

Con la forma de proceder diferenciando avisos leves y graves, damos cierta autonomía al usuario, permitiéndole solucionar por el mismo situaciones que no suponen un riesgo

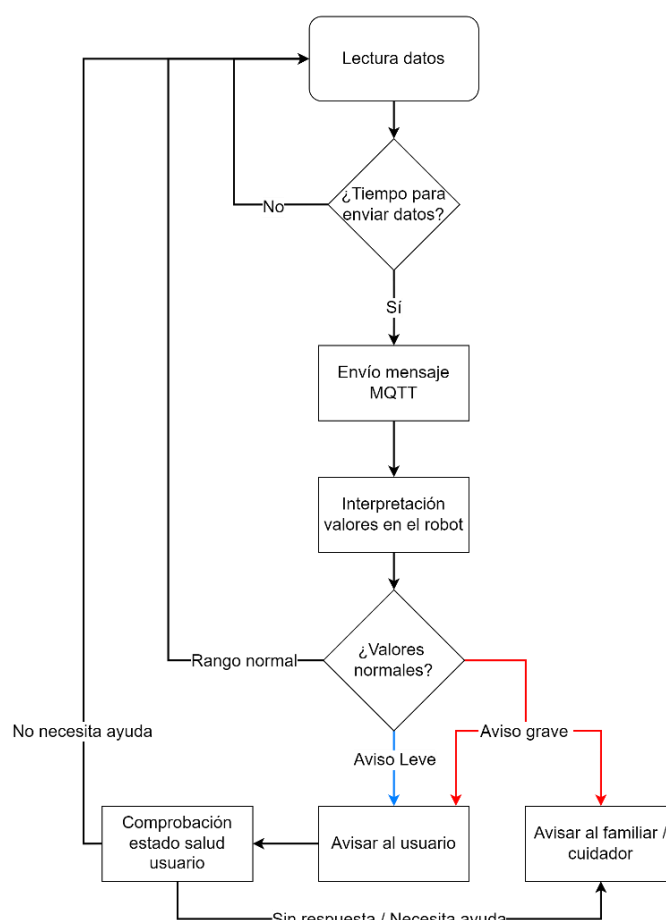


Figura 4: Funcionamiento nodos.

inminente, haciéndole sentir útil. Igualmente, se tiene conocimiento de las condiciones en las que se encuentra y se contacta rápidamente con la persona a su cargo para intervenir en las situaciones que el usuario no pueda hacerlo por sí mismo.

En la Figura 4 podemos ver el proceso completo del funcionamiento de los nodos. Los sensores capturan la información y la envían en el periodo correspondiente. Una vez enviado este mensaje MQTT, el robot lo recibe e interpreta los valores. Si los valores son normales no sucede nada, pero si están fuera de este rango, se activa un aviso en función de la gravedad. Si se trata de un aviso leve se avisa al usuario y comprueba su estado de salud, avisando al familiar o cuidador si no hay respuesta o necesita ayuda. Si se trata de un aviso grave hace ambas acciones a la vez.

5. Conclusiones

Los robots sociales de sobremesa carecen de la capacidad de monitorizar al usuario fuera del rango de alcance de los sensores que tiene, lo que limita su funcionamiento en algunas situaciones. En el caso del robot Mini hemos conseguido paliar esta situación empleando una red de sensores y un sistema de reglas que detecta situaciones potencialmente peligrosas.

Con este trabajo se ha realizado de forma satisfactoria la conexión de los sensores y la arquitectura software del robot, combinando distintos protocolos de comunicación. También se ha desarrollado el sistema de reglas para la detección, no solo de las situaciones perjudiciales, si no también, para identificar ciertas rutinas del usuario. Conociendo estas, Mini tiene un mayor conocimiento del usuario, pudiendo actuar en consecuencia.

El trabajo tiene un gran potencial de mejora, especialmente en la detección de situaciones y actividades. En el presente trabajo se han incluido tres, pero se prevé ampliar este conjunto utilizando la información de los sensores ambientales. Esto permitiría tener un mayor conocimiento sobre las rutinas y actividades del usuario.

De esta forma podríamos ver patrones anómalos que pueden ser perjudiciales, tales como un mal horario de sueño, comidas a deshoras o la falta de higiene. Con esta información se incrementaría la calidad de vida del usuario dándole recomendaciones personalizadas.

Agradecimientos

Estos resultados han sido financiados por los proyectos Robots sociales para mitigar la soledad y el aislamiento en mayores (SoRoLI), PID2021-123941OA-I00, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por ERDF A way of making Europe; TED2021-132079B-I00 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGenerationEU/PRTR; Mejora del nivel de madurez tecnológica del robot Mini (MeNiR) financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033. 13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGenerationEU/PRTR; Robot social portable con alto grado de vinculación (PoSoRo) PID2022-140345OB-I00 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y ERDF A way of making Europe.

Referencias

- Bethel, C.L., Z. Henkel, K. Henkel, J. Thompson, y K. Smith. 2023. «From Components to Caring: The Development Trajectory of a Socially Therapeutic Assistive Robot (STAR) Named Therobot™». En *2023 World Symposium on Digital Intelligence for Systems and Machines (DISA)*, 31-45. Košice, Slovakia: IEEE. <https://doi.org/10.1109/DISA59116.2023.10308910>.
- Carrasco-Martínez, S., M. A. Quispe-Flores, J. Sevilla-Salcedo, J. Gómez-Jiménez, F. Alonso Martín, y M.A. Salichs. 2021. «Comunicación remota entre familiares a través de la robótica social». En *XLII JORNADAS DE AUTOMÁTICA : LIBRO DE ACTAS*, 565-72. Servizo de Publicacións da UDC. <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497498043.565>.
- Hegel, F., C. Muhl, B. Wrede, M. Hielscher-Fastabend, y G. Sagerer. 2009. «Understanding Social Robots». En *2009 Second International Conferences on Advances in Computer-Human Interactions*, 169-74. Cancun, Mexico: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ACHI.2009.51>.
- Institut für Kraftfahrzeuge. 2024. «mqtt-client». 19 de marzo de 2024. https://github.com/ika-rwth-aachen/mqtt_client.
- Light, R.A. 2017. «Mosquito: server and client implementation of the MQTT protocol». *The Journal of Open Source Software* 2 (13): 265. <https://doi.org/10.21105/joss.00265>.
- «LoRa Alliance». 2019. LoRa Alliance. 7 de marzo de 2019. <https://lora-alliance.org/>.
- Milliez, G. 2018. «Buddy: A Companion Robot for the Whole Family». En *Companion of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 40-40. Chicago IL USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/3173386.3177839>.
- Moine, I. 2018. «For the elderly who are lonely, robots offer companionship». *Wall Street Journal*. <https://s3.us-east-2.amazonaws.com/elementcarenewsarticles/Wall+Street+Journal++Avatar+Story++digital+edition.pdf>.
- Passler Bates, D., y James E. Young. 2020. «SnuggleBot: A Novel Cuddly Companion Robot Design». En *Proceedings of the 8th International Conference on Human-Agent Interaction*, 260-62. Virtual Event USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/3406499.3418772>.
- Quigley, M., K. Conley, B. Gerkey, J. Faust, T. Foote, y others. 2009. «ROS: an open-source Robot Operating System». En *ICRA workshop on open source software*, 3:5. Kobe, Japan.
- Salichs, M.A., A. Castro-González, E. Salichs, E. Fernández-Rodicio, M. Maroto-Gómez, y others. 2020. «Mini: A New Social Robot for the Elderly». *International Journal of Social Robotics* 12 (6): 1231-49. <https://doi.org/10.1007/s12369-020-00687-0>.
- Salichs, M.A., I.P. Encinar, E. Salichs, A. Castro-González, y M. Malfaz. 2016. «Study of Scenarios and Technical Requirements of a Social Assistive Robot for Alzheimer's Disease Patients and Their Caregivers». *International Journal of Social Robotics* 8 (1): 85-102. <https://doi.org/10.1007/s12369-015-0319-6>.
- Stanford-Clark, A., y A. Nipper. 2019. «MQTT». MQTT. 7 de marzo de 2019. <https://mqtt.org/>.
- Taylor, L., A. Downing, G.A. Noury, G. Masala, M. Palomino, y others. 2021. «Exploring the applicability of the socially assistive robot Stevie in a day center for people with dementia». En *2021 30th IEEE International Conference on Robot & Human Interactive Communication (RO-MAN)*, 957-62. Vancouver, BC, Canada: IEEE. <https://doi.org/10.1109/RO-MAN50785.2021.9515423>.
- Velázquez Navarro, E., S. González-Díaz, F. Alonso-Martín, J.C. Castillo, A. Castro-González, y others. 2019. «El robot social Mini como plataforma para el desarrollo de juegos de interacción multimodales». En , 92-97. https://www.researchgate.net/publication/336999731_El_robot_social_Mini_como_plataforma_para_el_desarrollo_de_juegos_de_interaccion_multimodales.