

Diseño e Implementación de un Robot Guía Basado en la Interacción Humano-Robot ^{*}

Karla Lourdes Luna Gallegos ^{*}
Elvia Ruth Palacios Hernández ^{**}
Antonio Marín Hernández ^{***}

^{*} CIEP FI - UASLP, Av. Manuel Nava s/n 78290, San Luis Potosí,
SLP, México (e-mail: karla.luna@alumnos.uaslp.edu.mx).

^{**} Facultad de Ciencias - UASLP, Av. Salvador Nava s/n 78290, San
Luis Potosí, SLP, México (e-mail: epalacios@ciencias.uaslp.mx).

^{***} CIIA - UV, Sebastián Camacho No. 5, 91000, Xalapa, Veracruz
México (e-mail: anmarin@uv.mx).

Resumen:

Debido a que los robots de servicio tienen un contacto cercano con las personas, éstos requieren una interacción directa entre ellos. Para llevar a cabo una interacción eficiente y segura, se deben considerar circunstancias que afecten el desempeño del robot, estas pueden ser provocadas por las personas o por su entorno. Este trabajo de investigación propone el diseño de un robot guía el cual tanto la estructura como el control de sus acciones son diseñadas a partir de las necesidades del usuario. Se utilizó una plataforma móvil llamada Tbot y fue implementada en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. En primera instancia, el robot estará en espera de un usuario invitando a las personas a disponer de sus servicios. Una vez que éste tenga un usuario, se encargará de guiar a la persona a la meta sin perderlo de vista. Esta actividad requiere que el robot ubique al usuario a lo largo del recorrido, captando su atención para incrementar las posibilidades de que el usuario lo siga. Además deberá ajustar su velocidad de acuerdo con la velocidad del usuario. El control del sistema de operación del robot se realiza mediante una arquitectura de software, en el cual se tiene un supervisor que regulará sus actividades. Se realizaron una serie de experimentos en tiempo real para verificar el comportamiento del robot, éste puede guiar de manera satisfactoria al usuario a un punto meta a lo largo de un mapa en presencia de obstáculos.

Palabras clave: Robot Guía, Interacción Humano Robot, Arquitectura de Software, Navegación.

1. INTRODUCCIÓN

Los robots de servicio están cada vez más presentes en la vida diaria de las personas. En áreas comunes como el hogar, hospitales, centros comerciales y oficinas, es posible encontrar robots en aplicaciones de limpieza, transporte, entrega de paquetería, trabajos de carga, proveedor de información (robot guía) y entretenimiento.

Dentro de los robots que proveen información podemos ubicar a los robots guía, estos robots se encargan de guiar a una persona o un grupo de personas a un destino en específico. Este tipo de tarea requiere una interacción directa con las personas. La interacción que exista entre ambos, dependerá de muchos factores, tanto del usuario como de la programación del robot. Por ejemplo, la gente que esta familiarizada con los robots muestran más cercanía que los demás Walters (2008). Los niños tienden

^{*} Esta investigación contó con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT (CVU-372360).

a alejarse más de los robots que los adultos Walters et al. (2005). Las personas extrovertidas son más tolerantes a la invasión del espacio personal como se muestra en Syrdal et al. (2006) y Williams (1971). La apariencia del robot también influye de diferente forma en las personas, en Syrdal et al. (2008); Butler y Agah (2001); Ferrari et al. (2016) se concluyó que las personas prefieren un modelo mecanizado que uno humanoide. En lo que respecta a la voz que utilizan algunos robots para comunicarse, los adultos tienden a acercarse más a un robot con voz sintetizada que a robots con voz femenina, masculina o sin voz Walters et al. (2008). Un robot móvil con una velocidad de $1m/s$ es incómodo para las personas Butler y Agah (2001), mientras que su altura no influye de manera significativa en la aceptación del robot Walters (2008). Todos estos factores pueden o no, estar presentes al momento de realizar una actividad con un robot. El conocimiento parcial o total del entorno ayudará al robot a conocer su posición actual y ofrecer un mejor desempeño en la realización de su labor.

Actualmente, podemos encontrar algunos robots guía tales como Minerva Thrun et al. (1999), Rhino Mrad y Deeb (1997), SCITOS G5 Gross et al. (2008), RoboSantral Denker et al. (2015), Eddie Al-Wazzan et al. (2016), entre otros. Estas investigaciones se han enfocado en ofrecer un servicio a diferentes grupos de personas, proveer información y navegar de manera autónoma siguiendo la ruta y esperando que el usuario los siga en su recorrido. En algunos trabajos el robot se detiene cuando se encuentra lejos del usuario dada una distancia predeterminada Stricker et al. (2012); Al-Wazzan et al. (2016). Este trabajo de investigación propone modificar la velocidad del robot de acuerdo a las características del usuario.

El artículo está estructurado de la siguiente manera. En la Sección II se describe el diseño mecánico del robot así como su ambiente de operación, en la Sección III se presentan las bases de la implementación, en la Sección IV se muestran los resultados experimentales y finalmente las conclusiones y trabajo futuro se muestran en la Sección V.

2. DISEÑO DE UN ROBOT GUÍA PARA UNIVERSIDAD

Para atender los intereses que competen a la aplicación de robot guía, el diseño del robot incluye el movimiento a lo largo de un piso interior, con cámaras y sensores que le proporcionen la información de su entorno, además de contar con una interfaz hombre-máquina que permita mantener una comunicación entre ambos.

2.1 Plataforma móvil

La plataforma móvil que utilizaremos se llama Tbot y se muestra en la Figura 1, este robot es una modificación del robot Turtlebot de la compañía Willow Garage. El robot cuenta con una base móvil iRobot Create que cuenta con dos actuadores y dos ruedas de castor. Su configuración es de tipo diferencial, cuenta con sensores para detectar cualquier precipicio frente a él y sensores para conocer la odometría del robot (giroscopio de 150grados/seg y encoders). Cuenta además con una batería de 3000mAh Ni-MH . El robot tiene dos sensores Microsoft Kinect (uno para la navegación y otro para la HRI), una batería para alimentar estos sensores de 12V , 4A y dos unidades de procesamiento para la navegación y el procesamiento de imágenes e instrucciones del comportamiento del robot.

El sensor Microsoft Kinect consta de una cámara RGB, un emisor/sensor de luz infrarroja (IR) que por medio de triangulación funciona como un sensor de profundidad. De manera predeterminada la cámara RGB del Kinect, obtiene imágenes de 640×480 píxeles, la secuencia de vídeo en RGB utiliza 8-bits por canal y 11-bit para medir la profundidad a una velocidad de 30 cuadros/s , con un ángulo de apertura de 43° en vertical y 57° en horizontal. Estas características proveen la información para el procesamiento de imágenes.

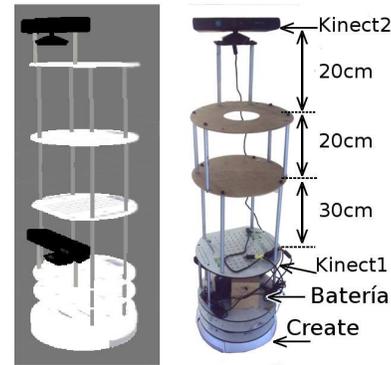


Fig. 1. Robot Tbot

Se estableció una altura determinada (120cm) para que una de las cámaras del robot logre percibir a personas de entre 1.2 y 1.8 metros a una distancia de 1 metro entre el robot y la persona. El robot tiene un diámetro de 35cm , pesa 20Kg en total, la duración del robot trabajando continuamente es de aproximadamente 4horas , la velocidad lineal máxima es de 0.5m/s y la velocidad angular es de 150grados/seg .

2.2 Entorno

Para el diseño del robot deben considerarse las dimensiones del lugar donde podrá transitar, cuantas personas circularan en el mismo espacio, la iluminación del lugar, que tipo de personas podrían utilizar los servicios del robot, entre otras.

Para esta investigación, el robot desarrollará su actividad en el segundo piso del edificio 3 de la Facultad de Ciencias de la UASLP donde se encuentran las oficinas de algunos docentes de la institución. En este piso se localiza un total de 24 oficinas, dos baños, una sala de maestros y escaleras que conducen al primer y tercer piso. En la Figura 2 se muestra el mapa del piso donde actualmente se encuentra el robot. El robot se ubica en la entrada al piso, frente a las escaleras (punto rojo), donde esperará por un usuario.

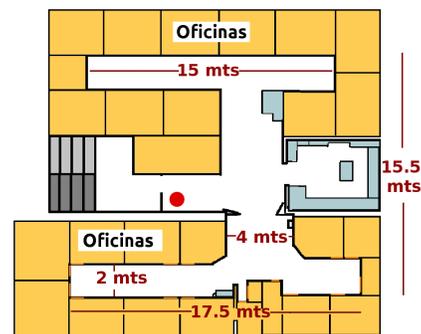


Fig. 2. Mapa completo del entorno donde opera el robot.

2.3 Comunicación, ROS

Para llevar a cabo la tarea de robot guía el robot debe cumplir con diferentes tareas de manera paralela

o individualmente. Se utilizará el sistema operativo de robots (ROS) que es un framework flexible para programar y configurar robots. ROS ofrece una colección de herramientas, librerías y convenciones que facilitan la creación de funciones y aplicaciones para manipular el comportamiento del robot y este sea complejo y robusto ROSIntro (2012).

Además, debe existir un sistema de comunicación entre las funciones de robot. ROS utiliza un sistema de mensajería entre nodos, distribuidos a través de un mecanismo de publicación y suscripción. Un nodo es un ejecutable dentro de un paquete que puede comunicarse con otros nodos. Estos nodos interactúan entre sí por medio de mensajes llamados “topics”. El uso de nodos permite controlar las diferentes tareas que ejecuta el robot, esto permite que la comunicación entre procesos sea más rápida y la complejidad del código se reduce en comparación a los sistemas monolíticos.

3. IMPLEMENTACIÓN

El experimento se realizó con el robot Tbot en un piso de la Facultad de Ciencias donde se ubican algunos docentes, en la Sección II se detalla la información de los componentes del robot y su entorno de trabajo. El funcionamiento de Tbot se inicia con la localización del robot en un mapa conocido, mientras que se encuentra inmóvil en espera de un usuario. Una vez que se cuenta con un usuario y un punto meta, Tbot deberá realizar una trayectoria a dicho punto reconociendo y ubicando al usuario a lo largo del recorrido, cuidando de la integridad de ambos.

Para que el robot realice con éxito todas estas actividades, deberá ser capaz de ejecutar diferentes habilidades en conjunto y de forma individual. El control de las múltiples tareas que ejecutará el robot deben ser reguladas por un sistema de prioridades a través de un supervisor. Se propuso una arquitectura de software la cual permite controlar los comportamientos del robot en distintos niveles y de forma paralela.

Además de lo anterior, es importante definir modelos que permitan una comunicación natural, intuitiva y eficiente entre humanos y robots, ya que un robot guía debe establecer una interacción constante con las personas. Esto permitirá que las personas tengan la confianza de acercarse al robot y disponer de sus servicios. También, proveerá al robot la información necesaria para poder establecer las estrategias de modificación de parámetros del control para realizar su tarea.

3.1 Arquitectura jerárquica del comportamiento del robot

La arquitectura se compone de seis capas, ver Figura 3, en la primera capa se encuentran los dispositivos de entrada y salida, la segunda capa es la información que se extrae de los sensores, en la tercera capa se encuentran las habilidades que tiene el robot, en la cuarta capa se encuentran las actividades que ejecutará el robot, en la

quinta capa se opera el comportamiento del robot y en la sexta capa está el supervisor. Todas las capas están conectadas al middleware ROS para la transferencia de información entre procesos.

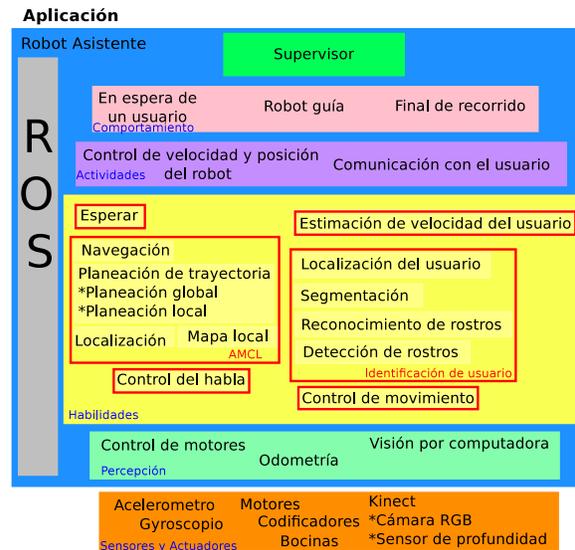


Fig. 3. Arquitectura de software propuesta.

En la capa de *Dispositivos* se incluye la base móvil del robot, los sensores y actuadores; en esta capa se establece la interfaz con el usuario. La capa de *Percepción y Acción* comunica a través de ROS los dispositivos y la unidad de procesamiento, esto se logra por medio de librerías y herramientas que permiten obtener la información de los sensores así como establecer la comunicación con los actuadores. Una vez que se obtuvo la información de los dispositivos, tenemos la capa de *Habilidades* las cuales son las actividades individuales que puede realizar el robot. A continuación se listan las habilidades que el robot utiliza y se describen brevemente:

Identificación de usuario: Utilizando el sensor Kinect superior, se utilizó el algoritmo de Viola y Jones (2001) para detectar la cara de las personas en el espacio de trabajo, además es validado por un umbral de color y con el porcentaje de la existencia de ese color en la región facial Rivera-Bautista et al. (2012). Entonces, se clasifica al usuario por el color de su ropa en el espacio de color HSV (Hue-Saturation-Value) y luego es segmentado por la información de profundidad con el algoritmo de región de crecimiento. Por medio de estos valores, el usuario puede ser reconocido y localizado en el espacio tridimensional, el desarrollo de estos algoritmos se describe en Luna-Gallegos et al. (2014).

Estimación de velocidad del usuario: Una vez que una persona ha sido localizada respecto a la posición del robot, el robot les guiará a un punto específico en el mapa. Para ello, se debe transformar la posición del usuario en un sistema de referencia mundial a través de una herramienta en ROS, esto nos servirá para ubicar al usuario a lo largo del recorrido. Se obtienen los datos de posición de la persona y el tiempo de desplazamiento para

obtener la estimación de velocidad y ajustar el control del movimiento del robot a esta velocidad. Con el cálculo de esta velocidad podemos manipular la velocidad lineal del robot en el problema de seguimiento de trayectorias.

Control del habla: Se utilizó un paquete de ROS que es capaz de reproducir canciones y voces a partir de un texto. Esta habilidad permitirá al robot comunicarse de forma natural con el usuario durante el servicio.

Navegación: Para la navegación se utiliza otro paquete de ROS que por medio de un sistema de localización probabilística es capaz de localizar al robot en un mapa conocido, así como los posibles obstáculos que puedan aparecer en el recorrido, las funciones que utiliza este algoritmo son descritas en Thrun et al. (2005).

La navegación se realiza conociendo el punto actual del robot, el punto próximo y el punto final del recorrido. Existen dos tipos de navegación, la pasiva y la reactiva, la navegación pasiva proporciona al robot una trayectoria de un punto inicial a un punto final, sin considerar posibles obstáculos en el camino. La navegación reactiva, permite al robot esquivar obstáculos sin la necesidad de conocer la ubicación de dicho obstáculo. Una navegación híbrida incluye ambos tipos de navegación y permite calcular una trayectoria global y una local. La trayectoria global nos brinda la información general para llegar al punto objetivo, mientras que la trayectoria local ayudara al robot a evitar obstáculos en el trayecto. Este tipo de navegación es la que utilizaremos en este trabajo de investigación.

Control de movimiento: La manipulación de la posición del robot en el tiempo se realiza mediante la modificación de la velocidad lineal y la velocidad angular. La velocidad lineal estará dada con la estimación de velocidad del usuario de acuerdo a un perfil de velocidad. La velocidad angular, estará dada de acuerdo a un controlador difuso que se implementó para el seguimiento de trayectorias en base a la velocidad lineal estimada. En la lógica difusa el razonamiento es aproximado, la importancia de esto se deriva del hecho que la mayoría de los modos de razonamiento humano y de sentido común son aproximados Yager y Zadeh (1992). Esto permitirá dar mayor grado de acción al robot.

El esquema del control difuso implementado para la navegación del robot se presenta en la Figura 4.

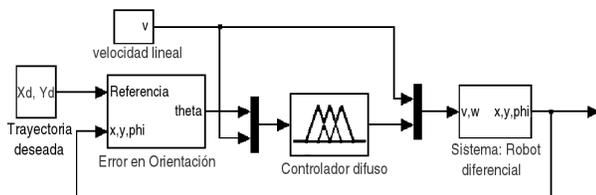


Fig. 4. Esquema del control difuso implementado.

El controlador difuso utiliza las variables velocidad lineal v dada por la velocidad del usuario y el error en

orientación θ , que es la diferencia entre la orientación actual del robot y la orientación del punto próximo en la trayectoria deseada; y como salida la velocidad angular del robot w .

La Figura 5 muestra los valores de pertenencia de las variables de entrada, mientras que las salidas de la variable w son constantes: $Na = -1$, $N1 = -0.55$, $N2 = -0.25$, $Z = 0$, $P2 = 0.25$, $P1 = 0.55$, $Pa = 1$.

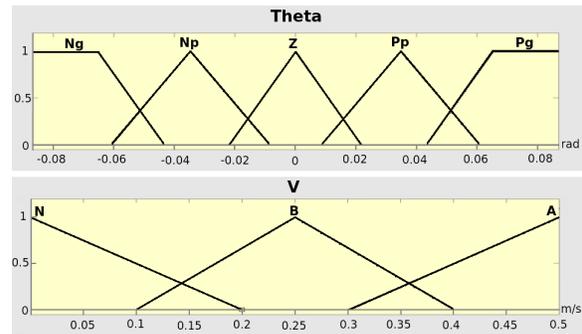


Fig. 5. Valor de pertenencia de la variable θ y V .

Las leyes del controlador difuso que corresponden a los valores de pertenencia de θ , V se obtienen de la Tabla 1. Este controlador se implementó en un algoritmo para acoplarlo con la navegación del robot.

Tabla 1. Entradas θ , v y Salida w

v/θ	N_g	N_p	Z	P_p	P_g
N	Z	Z	Z	Z	Z
B	N_a	P_1	Z	N_1	P_a
A	N_1	Z	Z	Z	P_1

La capa de *Ejecución* se encarga de manejar la acción final del robot, la cual dividimos en dos acciones generales realizar un desplazamiento o comunicarse con el usuario.

En la capa de *Comportamiento* se establecieron 3 funciones generales del robot, 1. El robot en espera de un usuario, 2. El robot guiando usuarios, 3. El robot finaliza su recorrido y regresa a su punto de origen.

De las capas que integran la arquitectura de software, la capa del supervisor es la principal, ya que se encarga de dirigir las otras capas y decidir en que momento debe accionarse o desactivarse cada una de las actividades. En la Figura 6, se muestra la operación del supervisor en un diagrama de flujo.

3.2 HRI

Para la interfaz con el usuario, el robot en su estado inicial invita a las personas que se aproximen a él a disponer de sus servicios con la frase "Hola, soy Tbot ¿Puedo ayudarte?". Luego de captar la atención del usuario, se utilizó una tablet Acer con sistema operativo android que por medio de una aplicación, el usuario escogerá el destino a donde desea ser dirigido. La aplicación de la tablet mostrará un menú con las opciones disponibles, en

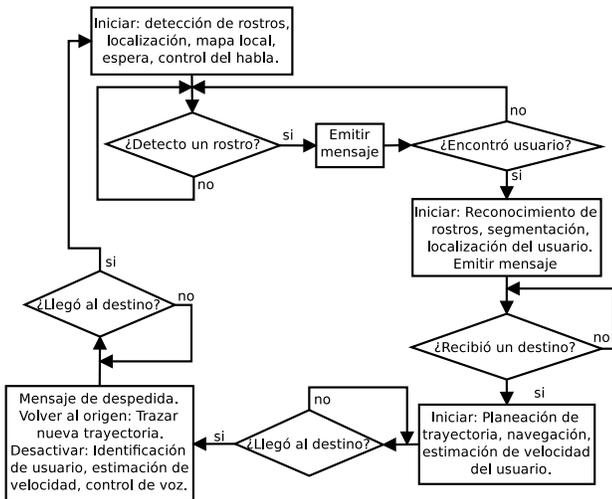


Fig. 6. Supervisor.

este caso, los nombres de los docentes que se encuentran en el piso. El usuario debe elegir un nombre en la lista y aceptar. El sistema android es compatible con ROS, la información del punto objetivo se enviará por medio de mensajes a la función de navegación y comenzará el recorrido. A lo largo del trayecto, el robot se comunicará con el usuario por medio de una voz robótica invitando al usuario a seguirlo. Para mantener la atención del usuario, el robot utilizará frases como “sígueme”, “vas muy rápido”, etc. ofreciendo así un servicio más amigable.

4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Las pruebas experimentales se realizaron en el área blanca de la Figura 2. Se realizaron recorridos desde diferentes puntos de inicio y término, con obstáculos fijos o sin obstáculos. Las personas que realizaron las pruebas están familiarizadas con la tecnología y pertenecen a la universidad donde se realizaron las pruebas. Al iniciar cada experimento el robot se encuentra inmóvil y conoce su ubicación dentro del mapa proporcionado. El algoritmo de visión reconoce el rostro de las personas cercanas y dice la frase “Hola, soy Tbot. ¿Puedo ayudarte?”, esto sucede hasta que un usuario solicite los servicios del robot.

En la Figura 7 se muestra la identificación del rostro que realiza el algoritmo, la probabilidad que tiene el algoritmo de ubicar un rostro es de 93.4%.

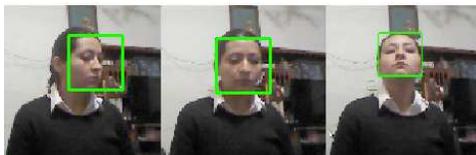


Fig. 7. Reconocimiento de rostro.

Una vez que se tiene a un usuario, la persona es clasificada por su color de ropa, segmentada y localizada en un espacio tridimensional como se observa en la Figura 8.

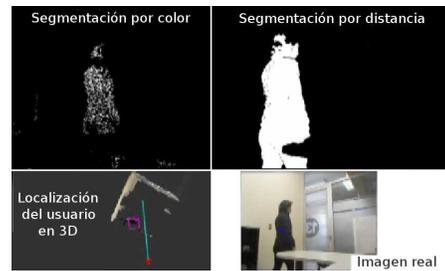


Fig. 8. Segmentación y localización de usuario.

La posición del usuario esta dada respecto al sensor Kinect, se debe realizar una transformación de este punto al marco referencial del mundo. Esto servirá para ubicar al usuario dentro del mapa a lo largo del recorrido.

El control del movimiento del robot es realizado mediante un controlador difuso. Los experimentos se desarrollaron con diferentes trayectorias y con distintas condiciones, en la Figura 9 se muestra el recorrido del robot desde la recepción hasta el baño de mujeres. El lado A muestra la trayectoria del robot en simulación y el lado B muestra la trayectoria real, con un punto rojo se ubica la posición del usuario al final del recorrido, el usuario realizó el recorrido a una velocidad baja ($0.2m/s$ en promedio) y sin obstáculos.

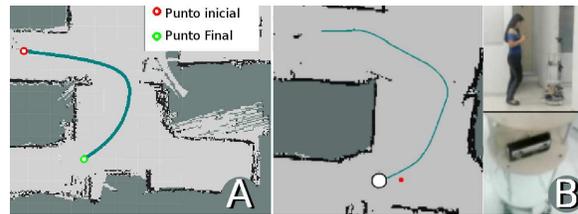


Fig. 9. Recorrido libre de obstáculos. A) Simulación, B) Real

En otro experimento se instaló un obstáculo fijo (una caja de cartón) y el usuario presentó una velocidad promedio de $0.4m/s$, para esta prueba la trayectoria se realizó sobre un pasillo recto. En la Figura 10 se muestra el cálculo de la trayectoria global y local, se puede observar que a medida que el robot avanza, la trayectoria se modifica para esquivar el obstáculo.

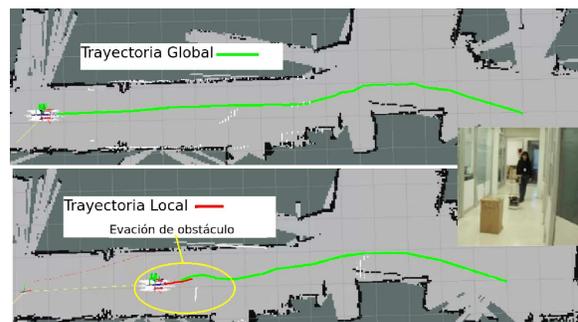


Fig. 10. Segundo recorrido, considerando un obstáculo fijo.

5. CONCLUSIONES

En este artículo se explica el desarrollo del diseño de un robot guía, basado en la interacción del usuario con el robot. Para desempeñar la aplicación de robot guía, un conjunto de tareas trabajan individualmente y en conjunto. Un supervisor da prioridad a las tareas importantes las cuales procuran conservar la integridad de las personas a su alrededor y la propia del robot. Conservando estas prioridades, el robot además, dirige su comportamiento en base a la acción del usuario pues considera el avance de la persona que lo sigue, espera si se ha alejado o detenido la marcha. Todo lo anterior nos permite realizar una navegación controlada que es capaz de evadir obstáculos y guiar a las personas a su destino.

Como trabajo futuro se implementará un controlador para estabilizar la velocidad lineal del robot y los cambios sean suaves. Además de un plan de búsqueda, para el caso en el que el robot pierda al usuario.

BIBLIOGRAFÍA

- Al-Wazzan, A., Al-Farhan, R., Al-Ali, F., y El-Abd, M. (2016). Tour-guide robot. In *2016 International Conference on Industrial Informatics and Computer Systems (CIICS)*, 1–5.
- Butler, J.T. y Agah, A. (2001). Psychological effects of behavior patterns of a mobile personal robot. *Autonomous Robots*, 10(2), 185–202.
- Denker, A., Dilek, A.U., Sarioglu, B., Savaş, J., y Gökdal, Y.D. (2015). Robosantral: An autonomous mobile guide robot. In *Industrial Technology (ICIT), 2015 IEEE International Conference on*, 459–463.
- Ferrari, F., Paladino, M.P., y Jetten, J. (2016). Blurring human-machine distinctions: Anthropomorphic appearance in social robots as a threat to human distinctiveness. *International Journal of Social Robotics*, 8(2), 287–302.
- Gross, H.M., Boehme, H.J., Schroeter, C., Mueller, S., Koenig, A., Martin, C., Merten, M., y Bley, A. (2008). Shopbot: Progress in developing an interactive mobile shopping assistant for everyday use. In *Systems, Man and Cybernetics, 2008. SMC 2008. IEEE International Conference on*, 3471–3478.
- Luna-Gallegos, K.L., Palacios-Hernandez, E.R., y Marin-Hernandez, A. (2014). Detección y seguimiento de personas con análisis de color en datos rgb-d. In *2014 XVI Congreso Latinoamericano de Control Automático (CLCA)*, 630–635.
- Mrad, F.T. y Deeb, G. (1997). Extending the utility of the rhino educational robot. *IEEE Transactions on Education*, 40(3), 184–189.
- Rivera-Bautista, J.A., Marin-Hernandez, A., y Marin-Urias, L.F. (2012). Using color histograms and range data to track trajectories of moving people from a mobile robot platform. In *2012 22nd International Conference on (CONIELECOMP)*, 288 – 293.
- ROSIntro (2012). <http://wiki.ros.org/ros/introduction>.
- Stricker, R., Müller, S., Einhorn, E., Schröter, C., Volkhardt, M., Debes, K., y Gross, H.M. (2012). Interactive mobile robots guiding visitors in a university building. In *2012 IEEE RO-MAN: The 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, 695–700.
- Syrdal, D.S., Dautenhahn, K., Woods, S., Walters, M.L., y Koay, K.L. (2006). 'doing the right thing wrong' - personality and tolerance to uncomfortable robot approaches. In *ROMAN 2006 - The 15th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, 183–188.
- Syrdal, D.S., Dautenhahn, K., Walters, M.L., y Koay, K.L. (2008). Sharing spaces with robots in a home scenario - anthropomorphic attributions and their effect on proxemic expectations and evaluations in a live hri trial. In *In Proceedings of the 2008 AAAI Fall Symposium*, 116–123.
- Thrun, S., Bennewitz, M., Burgard, W., Cremers, A.B., Dellaert, F., Fox, D., Hahnel, D., Rosenberg, C., Roy, N., Schulte, J., y Schulz, D. (1999). Minerva: a second-generation museum tour-guide robot. In *Robotics and Automation, 1999. Proceedings. 1999 IEEE International Conference on*, volume 3, 1999–2005 vol.3.
- Thrun, S., Burgard, W., y Fox, D. (2005). *Probabilistic Robotics (Intelligent Robotics and Autonomous Agents)*. The MIT Press.
- Viola, P. y Jones, M. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In *2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on (CVPR)*, 511–518.
- Walters, M.L. (2008). Close encounters: spatial distances between people and a robot of mechanistic appearance. In *University of Hertfordshire*.
- Walters, M.L., Dautenhahn, K., Koay, K.L., Kaouri, C., Boekhorst, R., Nehaniv, C., Werry, I., y Lee, D. (2005). Close encounters: spatial distances between people and a robot of mechanistic appearance. In *5th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, 2005.*, 450–455.
- Walters, M.L., Syrdal, D.S., Koay, K.L., Dautenhahn, K., y te Boekhorst, R. (2008). Human approach distances to a mechanical-looking robot with different robot voice styles. In *RO-MAN 2008 - The 17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, 707–712.
- Williams, J. (1971). Personal space and its relation to extraversion-introversion. In *Canadian Journal of Behavioural Science/Revue canadienne des sciences du comportement.*, 156–160.
- Yager, R.R. y Zadeh, L.A. (1992). *An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems*. Kluwer.