

Implementación de probabilidades a una ontología para la búsqueda de objetos cotidianos del hogar por un robot de servicio

Nayely Morales-Ramírez, Antonio Marín-Hernández,
Alejandro Guerra-Hernández

Universidad Veracruzana,
Instituto de Investigaciones en Inteligencia Artificial,
México

nayely0199@gmail.com, {anmarin, aguerra} @uv.mx

Resumen. Los robots de servicio se han desarrollado como una herramienta de apoyo que se pueden emplear en el ámbito doméstico para facilitar la vida cotidiana de las personas. Dentro de las actividades que una persona realiza diariamente, inherentemente está la búsqueda de objetos. Para la solución de la problemática de la búsqueda de objetos, en este trabajo se propone emplear una ontología con las relaciones de los objetos y lugares dentro del hogar, incorporando a ella probabilidades, esto con el fin de determinar los lugares más viables en donde se puedan encontrar los objetos. Estas probabilidades se modificarán a lo largo de los experimentos debido a que se irán adaptando a los resultados obtenidos. Para validar la propuesta se realizaron varios experimentos en simulación de varios ambientes domésticos con un robot de servicio de manejo diferencial, en donde se hicieron búsquedas por cada objeto, dando como resultado adaptaciones en las probabilidades de la red semántica inicial. Como resultados preliminares se comprueba que usando la red semántica se realiza la búsqueda inteligente de manera exitosa, ya que logra ubicar a los objetos objetivos en una menor cantidad de movimientos.

Palabras clave: Ontología, red semántica, robot de servicio, búsqueda de objetos.

Implementation of Probabilities to an Ontology for the Search of Everyday Household Objects by a Service Robot

Abstract. Service robots have been developed as a support tool that can be used at home to make people's daily lives easier. Within the activities that a person performs daily, inherently is the search for objects. For the solution of the problem of the search for objects, in this work it is proposed to use an ontology with the relationships of objects and places within the home, incorporating probabilities in it, in order to determine the most viable places where the objects can be found. These probabilities are modified throughout the experiments because they will be

adapted to the results obtained. To validate the proposal, several experiments were carried out in simulation of various domestic environments with a differential handling service robot, where searches were made for each object, resulting in adaptations in the probabilities of the initial semantic network. As preliminary results, it is verified that using the semantic network, the intelligent search is carried out successfully, since it manages to locate the objective objects in a smaller number of movements.

Keywords: Ontology, semantic network, service robot, object search.

1. Introducción

El desarrollo de la robótica ha tenido un crecimiento exponencial, tanto que, en muy poco tiempo se convivirá con los robots de manera cotidiana; y en un futuro cercano, se espera tener una interacción más natural con ellos. Esto será de ayuda apoyando a las personas en sus actividades cotidianas. Esta interacción será de gran ayuda, al permitir un apoyo más cercano a las personas en sus actividades cotidianas.

En la actualidad la robótica ha tenido grandes avances diseñando herramientas de apoyo en diversos dominios, particularmente, es con la ayuda de distintas especialidades como: la mecánica, la electrónica, el control y la informática que se pueden generar soluciones a problemas cotidianos que anteriormente parecían ficción.

Sin embargo, para problemas y soluciones más complejas, se debe potenciar con otras ramas del conocimiento, como pueden ser la inteligencia artificial o la visión artificial.

Pensando en la forma en que los robots incursionan en la vida cotidiana, surge la necesidad de encontrar una herramienta de apoyo en esta área, es aquí donde se encuentran los robots de servicio.

Se puede describir al robot de servicio como un robot semiautónomo o totalmente autónomo que opera para el bienestar de los humanos y equipos [1]. Se categorizan según su rango de autonomía: los semiautónomos, son aquellos que requieren en determinadas ocasiones intervención humana, y los completamente autónomos, que no requieren de dicha intervención (al menos para ciertas tareas).

Dentro de los robots de servicio encontramos los robots de servicio personal o domésticos, que son aquellos diseñados para el mantenimiento del hogar, ofrecer ayuda con tareas domésticas y hasta entretener a la familia.

El propósito de un robot de servicio es ayudar a los humanos. Estos robots son sistemas diseñados para realizar tareas consideradas peligrosas y también actividades o trabajos repetitivos. Algunas de estas actividades son: la manipulación de objetos, los trabajos de limpieza, la organización de artículos en estantes, es decir, los robots que no realizan ninguna actividad industrial o de manufactura [11].

Una de las necesidades actuales dentro del ambiente doméstico es la búsqueda de objetos cotidianos. Diferentes propuestas se han realizado a lo largo del mundo, en donde, para realizar la búsqueda de objetos se realiza un escaneo exhaustivo de la zona, sin embargo, esto aún dista de la búsqueda que haría un humano en estos ambientes.

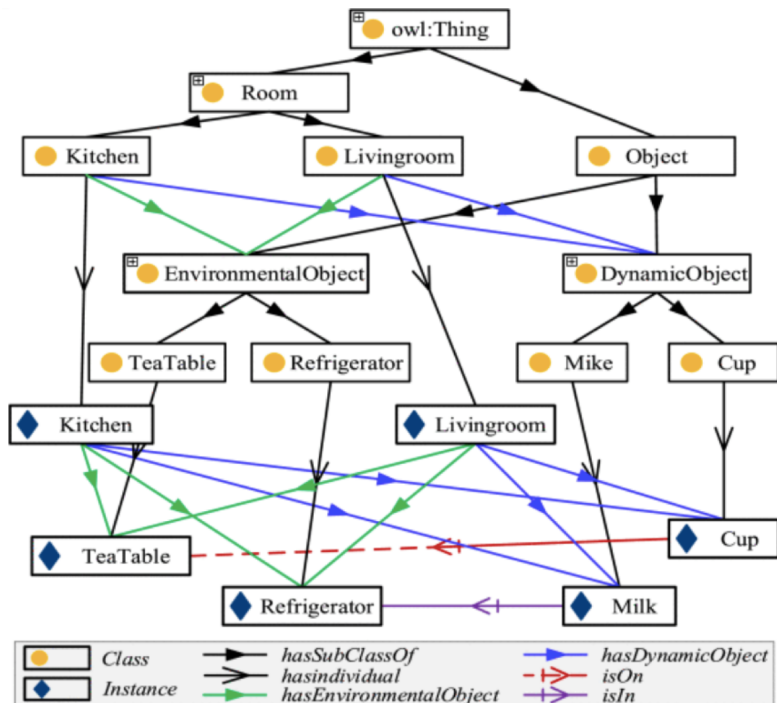


Fig. 1. Ejemplo de esquema de modelo semántico.

En este trabajo se propone realizar la búsqueda inteligente incorporando probabilidades a una ontología del ambiente doméstico. Una ontología es aquella representación que expone las relaciones entre los entes, que es todo aquello tangible, o la relación entre un acto y sus participantes.

De esta manera, en este trabajo se propone generar conexiones entre tres conceptos, los cuales son: habitaciones, objetos referencia y objetos objetivos, para encontrar de manera eficaz el plan de búsqueda de objetos cotidianos aumentando la tasa de éxito.

Un aspecto importante a tomar en cuenta en el presente trabajo, es que se está considerando que la búsqueda de objetos no está limitada a pensar que estos se encuentran en el mismo lugar siempre, sino que, estos cambian de ubicación conforme se interactúa en el ambiente; especialmente si hablamos de ambientes tipo hogar donde los habitantes hacen usos de los objetos de manera cotidiana modificando su localización.

2. Trabajos relacionados

Particularmente atendiendo la problemática de la búsqueda de objetos, distintos autores han dado solución mediante técnicas diversas, de manera paulatina con los avances que se van realizando. A continuación se analizarán algunos de los trabajos más relevantes en el área.

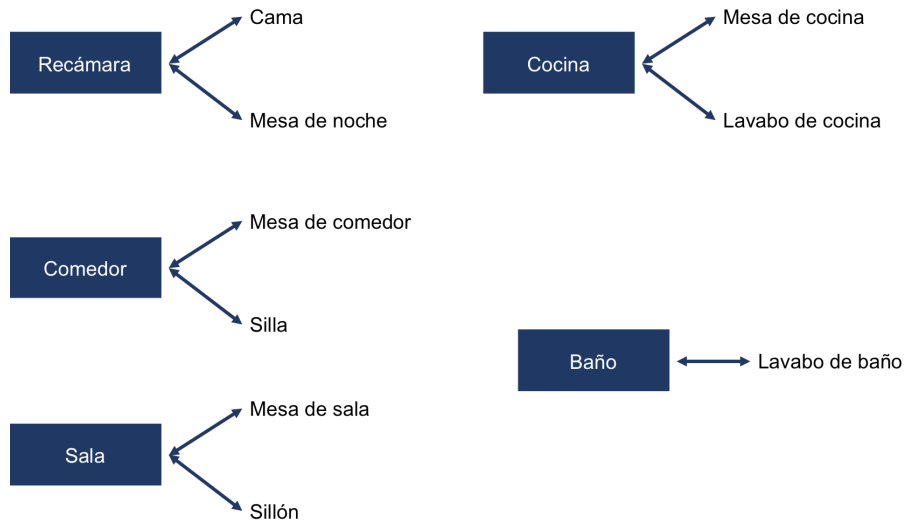


Fig. 2. Relaciones objeto-lugar, objetos estáticos con habitaciones.

Kemps [8] menciona que los robots han tenido mucho éxito en la manipulación en entornos controlados y de simulación, así como presenta sus limitantes dentro de los ambientes humanos y su capacidad de aprendizaje.

Un ejemplo más reciente del trabajo de los robots de servicio es el de Veloso [14], donde utiliza robots colaborativos navegando de forma autónoma en edificios. Él propone una nueva localización episódica, es decir, una ubicación en cada área definida como episodios, que genera una movilidad confiable.

Una rama importante sobre la que se ha estado trabajando con ayuda de los robots de servicio es la búsqueda de objetos, partiendo de un ambiente bidimensional para después trasladarse a uno tridimensional. Se puede abordar la búsqueda de objetos dependiendo de distintas características como, por ejemplo, Arévalo[3] que reconoce objetos por color y forma.

De otra manera, Shubina [12] maneja la probabilidad de encontrar el objeto dando un límite de costo fijo en términos del número total de acciones robóticas requeridas para encontrar el objeto visual.

Una forma distinta de enfrentar el problema de la búsqueda de objetos es modelarlo como un Proceso de Decisión de Markov Parcialmente Observable o POMDP. Una forma de aplicar esta manera es realizando una búsqueda visual activa de objetos robusta y a gran escala como en el trabajo de Aydemir [5]. Otra opción es realizando la búsqueda de objetos en un ambiente desconocido, empleando un mapa de ruta de creencias. Este mapa está basado en co-ocurrencia de objetos y lugares para una planificación eficiente de rutas de búsqueda de objetos, como lo planteó Wang [15].

Haciendo uso de las co-ocurrencias objeto-objeto y objeto-lugar, nace el término búsqueda indirecta, es decir, emplear objetos intermedios o de referencia para encontrar nuestro objeto final.

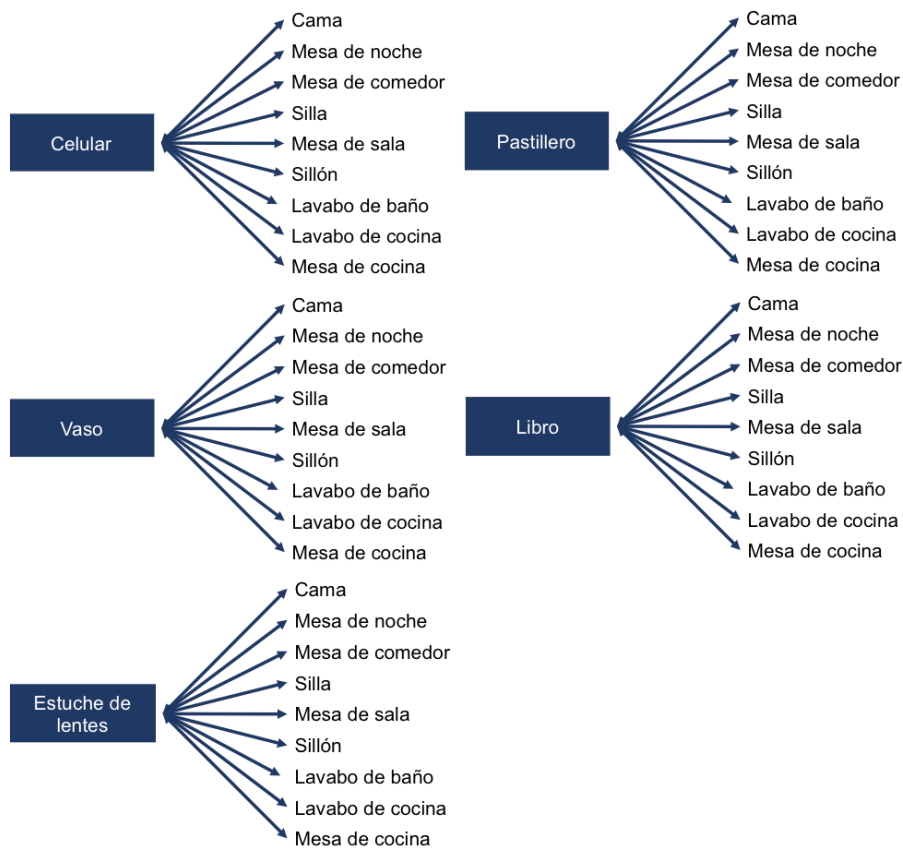


Fig. 3. Relaciones objeto-objeto, objetos estáticos con objetos dinámicos.

Se desarrollaron varios trabajos siguiendo la misma idea, como por ejemplo, el de Kollar [9] que utiliza un modelo probabilístico sobre posibles ubicaciones de objetos empleando el contexto objeto-objeto y objeto-escena.

Una alternativa es trabajar con relaciones espaciales cualitativas tales como: *muy cerca, cerca, lejos, dentro, sobre, delante de, a un lado*. Distintos autores nos muestran como estas relaciones espaciales pueden usarse como una forma de guiar la búsqueda visual de objetos.

Esto proporciona un enfoque para realizar una búsqueda indirecta en el que, el robot puede hacer uso de relaciones espaciales conocidas o supuestas entre los objetos. Esta técnica aumenta significativamente la eficiencia de la búsqueda al momento de ubicar primero un objeto intermedio que sea más fácil de encontrar, generalmente estos objetos son de un tamaño mayor que el objeto principal.

En el trabajo propuesto por Zeng [16], hace la introducción a los mapas de enlaces semánticos, él basa su proyecto explotando el conocimiento previo sobre las relaciones espaciales comunes entre los puntos de referencia y los objetos destino.

Tabla 1. Tabla con los porcentajes de las relaciones objeto-objeto.

Objeto	Objeto R.	Porcentaje	Objeto	Objeto R.	Porcentaje
Vaso	M. Cocina	0.25	Celular	M. Cocina	0.05
Vaso	M. Com.	0.2	Celular	M. Com.	0.01
Vaso	M. Sala	0.1	Celular	M. Sala	0.2
Vaso	Cama	0.05	Celular	Cama	0.2
Vaso	M. Noche	0.1	Celular	M. Noche	0.25
Vaso	L. Baño	0.05	Celular	L. Baño	0.01
Vaso	L. Cocina	0.15	Celular	L. Cocina	0.01
Vaso	Silla	0.05	Celular	Silla	0.05
Vaso	Mueble	0.05	Celular	Mueble	0.13
Libro	M. Cocina	0.05	E. lentes	M. Cocina	0.1
Libro	M. Com.	0.1	E. lentes	M. Com.	0.15
Libro	M. Sala	0.25	E. lentes	M. Sala	0.17
Libro	Cama	0.2	E. lentes	Cama	0.15
Libro	M. Noche	0.25	E. lentes	M. Noche	0.2
Libro	L. Baño	0.01	E. lentes	L. Baño	0.05
Libro	L. Cocina	0.01	E. lentes	L. Cocina	0.03
Libro	Silla	0.03	E. lentes	Silla	0.05
Libro	Mueble	0.1	E. lentes	Mueble	0.1
Pastillero	M. Cocina	0.1	Pastillero	Mueble	0.04
Pastillero	M. Com.	0.2	Pastillero	Silla	0.01
Pastillero	M. Sala	0.1	Pastillero	L. Cocina	0.05
Pastillero	Cama	0.1	Pastillero	L. Baño	0.2
Pastillero	M. Noche	0.2			

Zhang [17] busca emplear redes semánticas, en este trabajo se estableció un modelo probabilístico general y un modelo semántico(Figura 1). Estos modelos se crearon investigando las relaciones de ubicación espacial típicas entre el objeto y el tipo de habitación.

El fin de crear dos modelos es guiar al robot para priorizar el esfuerzo de búsqueda de los espacios que son más prometedores para encontrar el objeto objetivo. Proyectado como un esquema de conexión a tierra semántica eficaz para robots móviles a largo plazo para la búsqueda dinámica de objetos en entornos domésticos abiertos/dinámicos.

Con los trabajos analizados previamente, se aprecia que la búsqueda de objetos se ha resuelto de distintas maneras. Por ejemplo, Arévalo [3] y Shubina [12] utilizan técnicas por características físicas del objeto y costo de acciones, mientras que Aydemir [5] y Wang[15] lo realizan por medio de POMDP, trabajos que distan de lo realizado en este proyecto. Trabajos que se asemejan a lo que se desarrolla en esta propuesta son los de Zeng[16] y Zhang [17], debido a que hacen uso de mapas y enlaces semánticos, con relaciones de objetos y lugares.

Después del análisis presentado se establece que si bien el uso de ontologías se ha utilizado para la búsqueda de objetos, no se han empleado probabilidades dentro de dicha ontología. Este trabajo contribuye sustancialmente al proponer una solución en dónde se establece la conjunción de ambos para una búsqueda eficaz.

Tabla 2. Tabla con los porcentajes de las relaciones objeto-lugar.

Habitación	O. Destino	Porcentaje	Habitación	O. Destino	Porcentaje
Recámara	Celular	0.45	Recámara	Vaso	0.15
Sala	Celular	0.33	Sala	Vaso	0.15
Comedor	Celular	0.15	Comedor	Vaso	0.25
Cocina	Celular	0.06	Cocina	Vaso	0.4
Baño	Celular	0.01	Baño	Vaso	0.05
Recámara	E. lentes	0.35	Sala	Libro	0.45
Sala	E. lentes	0.27	L. room	Libro	0.35
Comedor	E. lentes	0.2	Comedor	Libro	0.13
Cocina	E. lentes	0.13	Cocina	Libro	0.06
Baño	E. lentes	0.05	Baño	Libro	0.01
Recámara	Pastillero	0.3	Cocina	Pastillero	0.15
Sala	Pastillero	0.14	Baño	Pastillero	0.2
Comedor	Pastillero	0.21			

3. Descripción de las redes semánticas

Los mapas conceptuales, también llamados mapas o redes semánticas, sirven para describir y comunicar los conceptos que los sujetos tienen incorporados en su memoria y se alimentan de la teoría constructivista de la asimilación [4]. Las redes semánticas son un tipo de representación de datos que incorpora información lingüística que describe conceptos u objetos y la relación o dependencia entre ellos.

Las redes semánticas son esquemas de representación del conocimiento que involucran nodos y enlaces (arcos o flechas) entre nodos. Los nodos representan objetos o conceptos o situaciones y los enlaces representan relaciones entre nodos. Los enlaces están dirigidos y etiquetados; por tanto, una red semántica es un grafo dirigido. Los nodos suelen estar representados por círculos o cajas y los enlaces se dibujan como flechas entre los círculos.

Algunos de los arcos más comunes son del tipo es-un o tiene-un. Es-un se usa para mostrar la relación de clases; es decir, que un objeto pertenece a una clase o categoría mayor de objetos. Los enlaces tiene-un se utilizan para identificar características o atributos de los nodos de objetos. Otros arcos se utilizan con fines de definición. Las redes semánticas pueden mostrar herencia, son una representación visual de las relaciones y se pueden combinar con otras representaciones [2].

Considerando el uso de una red semántica como representación del conocimiento, el uso de una ontología pretende responder a desafíos referentes a compartir el conocimiento en común. Esto quiere decir ponerse de acuerdo sobre la información que conformará el conocimiento y brindar dicho conocimiento de una manera fácil de comprender para los robots.

La primera definición de ontología ha sido propuesta por Guber [7] como: “una ontología es una especificación explícita de una conceptualización”. Posteriormente, Borst [6], ha introducido dos nuevos conceptos que definen una ontología como una “especificación formal de una conceptualización compartida”. Los nuevos conceptos son las nociones de “formal” y “compartido”.

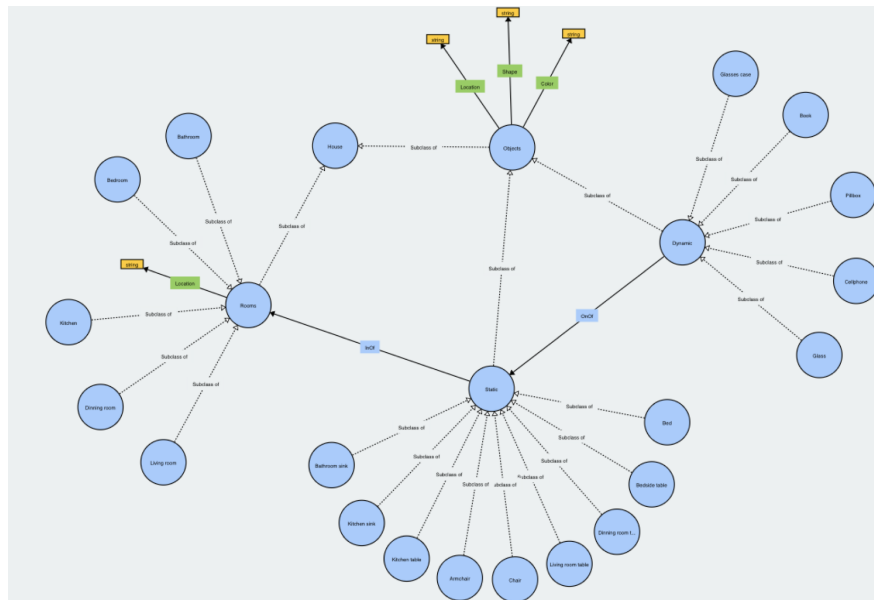


Fig. 4. Red de objetos y habitaciones.

Combinando estas dos definiciones, Studer [13] llegó a la definición completa donde dice que: “Una ontología es una especificación formal y explícita de una conceptualización compartida”. Con esta última definición, podemos observar que una ontología puede ser una herramienta poderosa para crear una Base de conocimiento (KB) común a toda una arquitectura y empleada para el sistema general de la red semántica.

4. Probabilidades y redes semánticas

En esta sección daremos los detalles de la metodología a implementar para la incorporación de las probabilidades en una ontología. Comenzamos definiendo a nuestros actores, las relaciones existentes entre ellos, así como la probabilidad asociada a estas relaciones. Posteriormente, se crea la red semántica incorporando la información definida previamente.

4.1. Relaciones y probabilidades

Dentro del desarrollo de la red semántica, primeramente, se definen los actores a intervenir. Se generan dos clases generales dentro del hogar: habitaciones y objetos.

Las habitaciones cuentan con la propiedad de ubicación, mientras los objetos tienen las propiedades de color, forma y ubicación. En la sección de habitaciones dentro del hogar, se definen cinco espacios:

- Recámara, Sala, Cocina, Comedor, Baño.

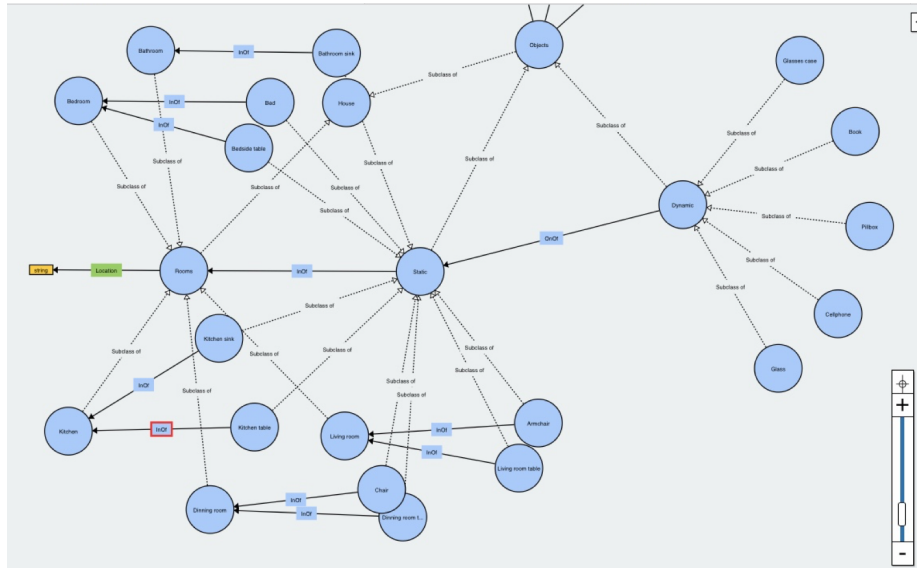


Fig. 5. Red con arcos de dependencia entre las clases.

Como mobiliario u objetos estáticos dentro del ambiente tipo hogar, en donde se pueden encontrar los objetos destino, se definen los siguientes:

- Cama, Mesa de comedor, Mesa de sala, Mesa de cocina, Silla, Sillón, Mesa de noche, Lavabo del baño, Lavabo de la cocina.

Por último, se definen los objetos objetivos, los cuales serán los que el robot debe localizar dentro del ambiente tipo hogar, como propuesta inicial se consideran cinco objetos, de forma y tamaño distinto:

- Celular, Vaso, Libro, Estuche de lentes, Pastillero.

Con los actores definidos, el siguiente paso es generar las relaciones correspondientes entre ellos. Las primeras a definir son las objeto-lugar, haciendo referencia a los objetos referencia dentro del ambiente tipo hogar, estas relaciones serán fijas, ya que dicho mobiliario no podrá cambiar de habitación. Las relaciones se muestran en la Figura 2.

Se encuentran en total nueve relaciones objeto-lugar dentro del ambiente doméstico. Las siguientes relaciones a generar son las objeto-objeto, aquí se generan las relaciones entre cada objeto referencia con cada objeto objetivo en cuestión. Las relaciones se muestran en la Figura 3.

Al final se crearon 45 relaciones objeto-objeto. Se puede identificar que cada objeto destino puede encontrarse sobre cada uno de los objetos estáticos, sin embargo, sabemos que no existe la misma probabilidad en cada uno de los casos. Por lo tanto, el siguiente paso es crear la tabla de porcentajes de probabilidad para cada relación objeto-objeto.

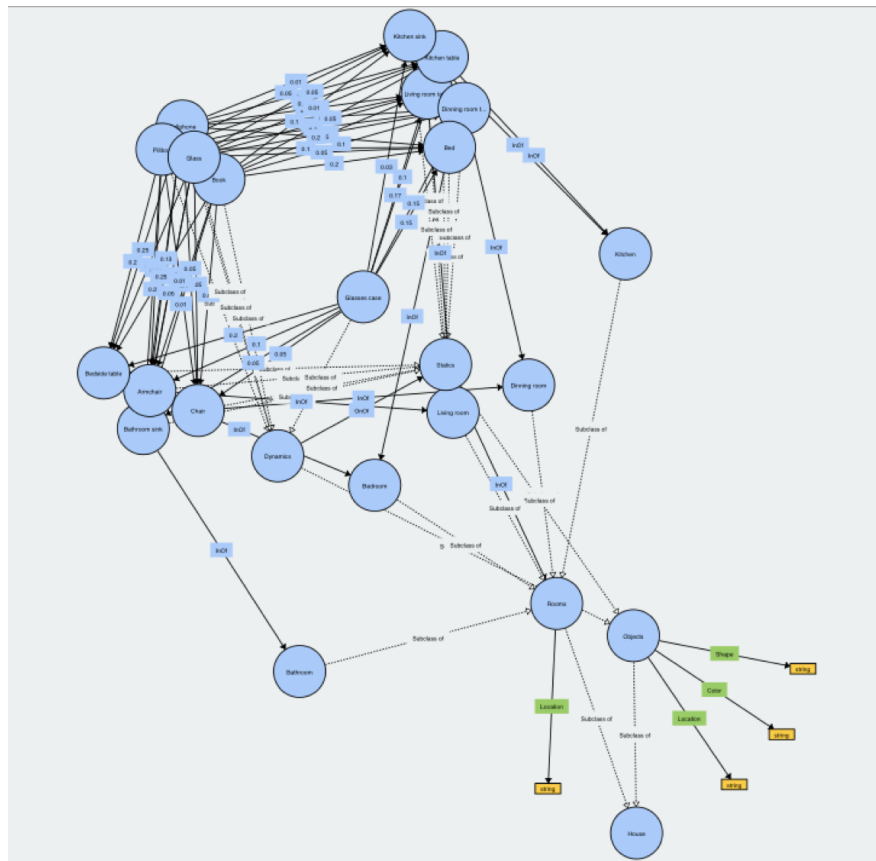


Fig. 6. Red completa con incorporación de probabilidades.

Los datos proporcionados son asignados previamente con el conocimiento adquirido del contexto en el que se encuentra el proyecto, por lo que son datos iniciales tentativos. Los de porcentajes de las relaciones objeto-objeto se muestran en la Tabla 1. Al sumar todas las probabilidades de los objetos referencia con cada objeto destino el resultado debe dar 1.

Como ya se conocen las relaciones objeto_referencia-lugar, se conoce la ubicación de cada uno de ellos dentro del ambiente, por lo que se pueden obtener los porcentajes de probabilidad de las relaciones objeto-lugar. Esto se logra con las habitaciones y los objetos objetivos, sumando las probabilidades de cada uno de los objetos referencia dentro de cada habitación específica. Los porcentajes de las relaciones objeto-lugar se muestran en la Tabla 2.

De igual manera, al sumar todas las probabilidades de las habitaciones en cada objeto destino, el resultado debe dar 1. Con esta información de las relaciones objeto-objeto, objeto-lugar y sus probabilidades correspondientes, ya se puede crear la red semántica adecuada.

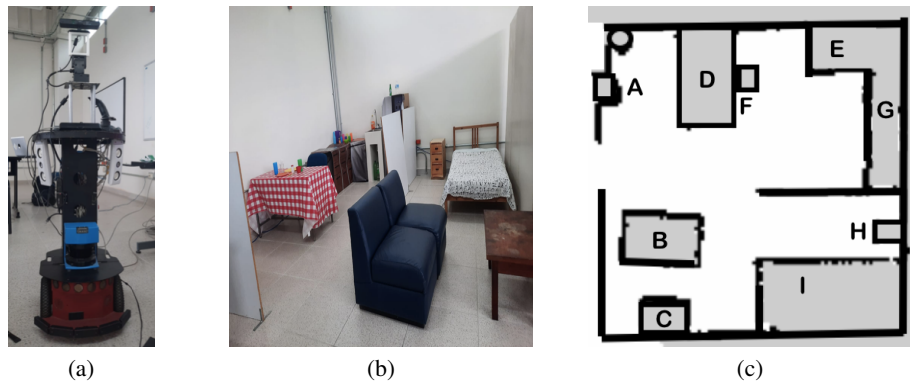


Fig. 7. a) Robot diferencial. b) Simulación del ambiente tipo hogar. c) Mapa creado por el robot con las ubicaciones: A-lavabo de baño, B-mueble, C-mesa de sala, D-mesa de comedor, E-mesa de cocina, F-silla, G-lavabo de cocina, H-mesa de noche, I-cama.

4.2. Red semántica

La creación de la red semántica se realiza dentro del ambiente de programación WEBVOWL [10] correspondiente al lenguaje de OWL. Primeramente, se crea la red semántica únicamente con las relaciones objeto-objeto y objeto-lugar. La red se visualiza en la Figura 4.

Posteriormente, se generan los arcos correspondientes: Es-un para las subclases de objetos y habitaciones, dentro-de para los objetos estáticos dentro de las habitaciones y sobre-de para los objetos dinámicos sobre los objetos estáticos. La red se visualiza en la Figura 5.

El último paso es incorporar las probabilidades dentro de la red semántica, correspondientes a las diferentes relaciones existentes, el resultado de la red se visualiza en la Figura 6.

5. Implementación

La implementación de la red se realiza con un robot diferencial que cuenta con una plataforma Pioneer, un láser Sick LMS 200, una cámara RGB-D Asus Xtion, sonares, bumpers, altavoces, una platina móvil; la unidad de procesamiento es un NUC de Intel. El robot se muestra en la Figura 7(a).

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo dentro de una simulación de un ambiente tipo hogar, que cuenta con cinco habitaciones (sala, cocina, comedor, recámara y baño), y diferentes objetos de mobiliario. El ambiente está mostrado en la Figura 7(b).

Con ayuda del láser del robot se realizó un mapeo del lugar para poder localizar las ubicaciones de los objetos estáticos dentro de las habitaciones y así pueda navegar el robot dentro del lugar. En el mapa se encuentran los distintos objetos estáticos repartidos entre las diferentes habitaciones. El mapa se puede visualizar en la Figura 7(c).

En el procedimiento, lo primero es seleccionar el objeto objetivo a buscar (vaso, estuche, celular, libro o pastillero).

Tabla 3. Resultados de las pruebas realizadas.

Objeto	N. Prueba	Ubicación	N. Lugar	Cambio en valores
Vaso	1	M. Com.	2	no
Vaso	2	M. Cocina	1	no
Vaso	3	L. Baño	9	si
Vaso	4	M. Com.	2	no
Celular	1	M. Noche	1	no
Celular	2	Mueble	4	si
Celular	3	M. Com.	5	si
Celular	4	M. Sala	2	no
E. lentes	1	M. Sala	2	no
E. lentes	2	M. Noche	1	no
E. lentes	3	M. Cocina	6	si
E. lentes	4	Mueble	5	si
Pastillero	1	M. Com.	1	no
Pastillero	2	M. Cocina	6	si
Pastillero	3	L. Baño	2	no
Pastillero	4	Cama	6	si
Libro	1	Mueble	5	si
Libro	2	M. Noche	1	no
Libro	3	M. Sala	2	no
Libro	4	Cama	3	no

Posteriormente, se le proporciona esta información a la red, mediante terminal, para que se realice la evaluación de la ontología, determinando el lugar más probable en donde se pueda encontrar dicho objeto.

A continuación, el robot recibe la ubicación determinada según la búsqueda realizada con la ontología, para que realice el movimiento al lugar. Si al llegar a la ubicación, el robot no encuentra el objeto en cuestión, se regresa a la red para modificar la ubicación posible con la siguiente de mayor probabilidad y así sucesivamente hasta encontrar el objeto.

Si el objeto fue encontrado en una ubicación con baja probabilidad al inicio, esto marcado a partir de la cuarta ubicación, se hace un ajuste de probabilidades en 0.2, aumentando en la ubicación donde se encontró y descontando a la ubicación más probable. Este proceso de actualización se realiza en cada búsqueda, con la finalidad de tener probabilidades según el contexto de las ejecuciones.

6. Resultados

Se realizaron 4 ejecuciones con cada uno de los objetos objetivos, para un total de 20 experimentos. En todos se partió de las probabilidades iniciales y posteriormente se fueron actualizando según si era el caso.

Para determinar la ubicación de cada objeto en cada prueba se consultó a una persona de la tercera edad, sobre en donde coloca dichos objetos en su rutina cotidiana. Todos los experimentos iniciaron con el robot en la misma ubicación.

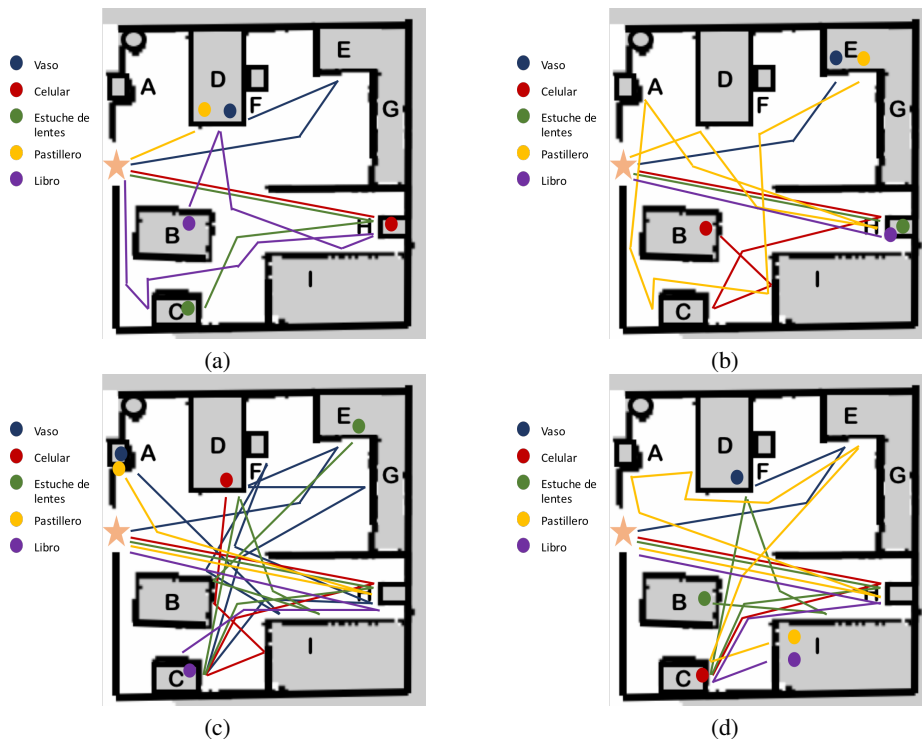


Fig. 8. Mapas con las rutas obtenidas en la búsqueda de objetos. El robot inicia en la estrella naranja. a) Prueba uno. b) Prueba dos. c) Prueba tres. d) Prueba cuatro.

Los resultados obtenidos se encuentran en la siguiente tabla, en donde se muestra el objeto buscado, el número de la prueba correspondiente, la ubicación donde fue encontrado el objeto, el número de la posición según la probabilidad de la red y si hubo cambio en los valores de las probabilidades (Tabla 3).

Detallado en la tabla de resultados, tanto el celular como el estuche y el pastillero sufrieron dos modificaciones en sus porcentajes, siendo el pastillero el del cambio más significativo debido a que se cambió la ruta de inicio de búsqueda.

Por otro lado, el vaso y el libro únicamente sufrieron un cambio de porcentaje, sin alterar las posiciones de los lugares para la búsqueda. Estos porcentajes se van modificando y ajustando cada vez más a la rutina de la persona conforme se incrementa el número de experimentos.

De igual forma, los resultados se pueden apreciar en los mapas de la Figura 8, en donde se muestran las rutas recorridas por el robot en cada prueba, correspondiente a cada objeto. El inicio siempre se marca en la estrella y el fin es donde se coloca el punto, dependiendo del color de cada objeto objetivo.

Se muestra en el mapa que el lugar más común, prueba 1, se adapta más a la red inicial propuesta que el tercer lugar predilecto, prueba 3, en donde el robot si tuvo que realizar una mayor serie de visitas a lugares para encontrar el objeto.

7. Conclusiones

Como se desprende de la sección anterior, en los experimentos realizados con la red semántica basada en una ontología sobre las relaciones objeto-objeto y objeto-lugar de un ambiente doméstico, se puede determinar que el robot realiza la búsqueda de manera eficiente con ayuda de la red; además de que, la red es adaptable a cualquier rutina de cualquier persona, esto gracias a las modificaciones de los porcentajes de probabilidad conforme se realizan los experimentos.

Según los resultados descritos en la sección anterior, se llega a la conclusión de que el uso de las redes semánticas con probabilidades genera rutas de búsqueda que reflejan caminos apropiados para la localización de los objetos, creando una búsqueda inteligente dentro del ambiente doméstico.

Como trabajo futuro se propone incorporar a la red una relación de los objetos por habitación, de tal manera que sí existe más de una ubicación con alta posibilidad por habitación se revisen todas ellas antes de partir de dicho cuarto. Esto con la finalidad de disminuir la cantidad de recorridos realizados por el robot, evitando tener que regresar a la habitación.

Referencias

1. Aracil, R., Balaguer, C., Armada, M.: Robots de servicio. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, vol. 5, no. 2, pp. 6–13 (2008) doi: 10.1016/S1697-7912(08)70140-7
2. Aronson, J.: *Encyclopedia of information systems*. Academic Press (2003) <https://www.sciencedirect.com/referencework/9780122272400/encyclopedia-of-information-systems>
3. Arévalo-Vázquez, E., Zúñiga-López, A., Villegas-Cortez, J., Avilés-Cruz, C.: Implementación de reconocimiento de objetos por color y forma en un robot móvil. *Research in Computing Science*, vol. 91, pp. 21–31 (2015) doi: 10.13053/rcs-91-1-2
4. Ausubel, D., Novak, J., Hanesian, H.: *Psicología educativa : Un punto de vista cognoscitivo*. Trillas, pp. 623 (1983)
5. Aydemir, A., Sjö, K., Folkesson, J., Pronobis, A., Jensfelt, P.: Search in the real world: Active visual object search based on spatial relations. In: 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2818–2824 (2011) doi: 10.1109/ICRA.2011.5980495
6. Borst, W. N.: *Construction of engineering ontologies for knowledge sharing and reuse*. Ph. D. thesis, Research UT, graduation UT, University of Twente, Centre for Telematics and Information Technology (CTIT) (1997)
7. Gruber, T. R.: A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*, vol. 5, no. 2, pp. 199–220 (1993) doi: 10.1006/knac.1993.1008
8. Kemp, C. C., Edsinger, A., Torres-Jara, E.: Challenges for robot manipulation in human environments [grand challenges of robotics]. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, vol. 14, no. 1, pp. 20–29 (2007) doi: 10.1109/MRA.2007.339604
9. Kollar, T., Roy, N.: Utilizing object-object and object-scene context when planning to find things. In: 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2168–2173 (2009) doi: 10.1109/ROBOT.2009.5152831
10. Lohmann, S., Negru, S., Haag, F., Ertl, T.: Visualizing ontologies with VOWL. *Semantic Web*, vol. 7, no. 4, pp. 399–419 (2016) doi: 10.3233/SW-150200

11. Morales, E., Sucar, L.: Los robots del futuro y su importancia para México. *Komputer Sapiens*, vol. 1, pp. 1–11 (2009)
12. Shubina, K., Tsotsos, J.: Visual search for an object in a 3D environment using a mobile robot. *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 114, no. 5, pp. 535–547 (2010) doi: 10.1016/j.cviu.2009.06.010
13. Studer, R., Benjamins, V. R., Dieter, F.: Knowledge engineering: Principles and methods. *Data and Knowledge Engineering*, vol. 25, no. 1, pp. 161–197 (1998) doi: 10.1016/S0169-023X(97)00056-6
14. Veloso, M. M., Biswas, J., Coltin, B., Rosenthal, S.: CoBots: Robust symbiotic autonomous mobile service robots. In: *Proceedings of the Twenty-Fourth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 2015)*, pp. 4423–4429 (2015)
15. Wang, C., Cheng, J., Wang, J., Li, X., Meng, M.: Efficient object search with belief road map using mobile robot. *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 3, no. 4, pp. 3081–3088 (2018) doi: 10.1109/LRA.2018.2849610
16. Zeng, Z., Röfer, A., Jenkins, O.: Semantic linking maps for active visual object search. In: *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pp. 1984–1990 (2020) doi: 10.1109/ICRA40945.2020.9196830
17. Zhang, Y., Tian, G., Shao, X., Zhang, M., Liu, S.: Semantic grounding for long-term autonomy of mobile robots toward dynamic object search in home environments. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 70, no. 2, pp. 1655–1665 (2023)