

MODELO DE CICLO DE VIDA PARA EL APRENDIZAJE BASADO EN COMPARTICIÓN DE CONOCIMIENTOS EN SISTEMAS AUTÓNOMOS DE ROBOTS

Tesista: Dr. Jorge IERACHE

Directores: Ing Armando DE GIUSTI y Dr. Ramón GARCÍA-MARTÍNEZ

Programa de Doctorado en Ciencias Informáticas
Facultad de Informática
Universidad Nacional de La Plata.

CONTEXTO DE LA TESIS

Un rasgo comúnmente asociado con la inteligencia es la capacidad de adquirir nuevos conocimientos [Fritz, 1984; 1992]. Esto se manifiesta en los procesos de aprendizaje, que aceptan ser descritos en términos de asimilación e incorporación de información extraída del contexto. Una forma de adquirir conocimiento nuevo es el llamado "método del ensayo-error"; esta técnica permite descubrir leyes simples cuya verdad se deduce a partir de la experiencia.

Los Sistemas Inteligentes Autónomos (SIA), representados en este trabajo por Sistemas Autónomos de Robots (SAR) deben ser capaces de generar teorías de cómo sus ambientes reaccionan a sus acciones, y cómo las acciones afectan al ambiente. Usualmente estas teorías de aprendizaje pueden ser parciales, incompletas e incluso incorrectas, pero pueden ser usadas para predecir el comportamiento del SAR en el ambiente. En este contexto, la adquisición de conocimiento está centrada alrededor de la asimilación de experiencias, siendo las leyes empíricas las unidades de experiencia. De esta forma, un sistema inteligente autónomo (SIA) puede definirse [García Martínez & Borrajo, 1997, 2000], como aquél capaz de descubrir y registrar si una acción efectuada sobre una situación dada fue beneficiosa para lograr su objetivo.

Los SIA tienen objetivos, que consisten en acceder a una situación que les conviene. Están capacitados además para elegir sus acciones en función de sus objetivos y son capaces de aprender cual acción es útil efectuar en cada situación en relación a los objetivos y su

situación en el contexto de operación. La situación es el conjunto de los rasgos esenciales del estado de las cosas, en relación a los objetivos del sistema. Se elabora en base de todas las entradas sensoriales del momento y sobre su conceptualización. A partir de esta modelización se elige cada acción. Para lograr sus objetivos, los sistemas autónomos de robots en su actuación deben poder elegir acciones adecuadas, para lo cual deben contar con una memoria o base de conocimientos donde archivan sus experiencias. Una unidad de experiencia se compone (por lo menos) de la situación vivida, la acción realizada, la situación resultante y el hecho de que las consecuencias de la acción hayan sido beneficiosas o no para lograr el objetivo. Este beneficio, o la falta del mismo, se traduce en utilidad resultante. La decisión sobre la acción que conviene realizar se toma en función de las experiencias acumuladas, si es que están en relación con las circunstancias actuales (pueden ser tanto experiencias directas del sistema como también experiencias conocidas a través de lo que se verificó en otros). Si en lo archivado como experiencia tal relación existe y la acción elegida en aquél entonces resultó beneficiosa, habrá una tendencia de elegir nuevamente esa misma acción o a optar por alternativas distintas si la acción resultó perjudicial. Para aprender en un mundo real, un sistema necesita formular una teoría acerca de los efectos de las acciones sobre su entorno.

El SAR encapsula su conocimiento a través de teorías. Una teoría es una tupla sobre la cual se almacena una instancia de conocimiento del SAR. Una teoría u operador se conforma por: la situación inicial, la acción tomada y la situación

resultante, y sus parámetros de evaluación asociados, representados por P, K (ponderación de la teoría) y U (utilidad de la teoría).

El operador O (teoría), es una tupla $\langle Si, A, Sf, P, K, U \rangle$ [García Martínez y Borrajo, 2000] donde la teoría de un SAR se representa por: Situación inicial (Si) indica el estado en el que se encontraba el robot al querer ejecutar una acción. El estado está conformado por los valores de las lecturas de cada uno de los sensores del robot en un instante determinado. La acción (A), indica la acción que se realizó en función de la Situación inicial (una de las “n” acciones posibles a realizar por el SAR). La Situación final (Sf), indica el estado del robot luego de ejecutada la acción (A). El estado está conformado por la misma estructura de datos que la Situación inicial (Si). El parámetro P, (P): cantidad de veces que teniendo la situación inicial (Si), se ejecutó la acción (A) y se obtuvo la situación final (Sf). El parámetro K, (K): cantidad de veces que teniendo la situación inicial (Si), se ejecutó la acción A. En la medida que las observaciones confirmen una teoría [Whitehead y Ballard, 1991], su P y K aumentan, aumentando también el K de las teorías complementarias (teorías con las mismas condiciones supuestas y las mismas acciones). Si se considera que el cociente P/K es una medida de la confiabilidad de una teoría (1= confiable, 0 = no confiable), cuanto más observaciones confirman una teoría, más confiable se vuelve (P/K aumenta) y menos confiables las teorías complementarias (P/K disminuye). Por otra parte, periódicamente podrían ser revisadas aquellas teorías con un valor de confiabilidad bajo (P/K muy pequeño) para ser eventualmente “olvidadas”.

En este orden, los trabajos anteriores presentaron sucesivas mejoras en términos de rendimiento de un sistemas autónomo de robot (SAR), se distinguen las contribuciones en la materia realizadas por Fritz y su equipo de colaboradores [1989] el que considera un sistema autónomo inteligente representado por un robot, con un planificador clásico o neutro (SARp neutro), al que García Martínez y colaboradores [1997; 2000, 2006], le incorporan la ponderación de planes, mutación de teorías

similares (SARp- SPM), y el intercambio de teorías (SARp- SPMI).

Los robots autónomos operan en distintos ambientes en este orden los SAR terrestres contribuyen con un importante número de aplicaciones, entre las más destacadas se encuentran la actuación en áreas peligrosas, la ejecución de misiones de reconocimiento (túneles, alcantarillas, edificios), observación remota en áreas restringidas con situaciones peligrosas (humo, calor, radiaciones), detección de explosivos, detección de intrusos, inspección de tanques de almacenamiento de gas, de tuberías, estructuras subterráneas, contribuir con el rescate de víctimas humanas atrapadas en escombros, entre otras aplicaciones que contribuyen y asisten al ser humano. A modo de ejemplo, las futuras aplicaciones reales de estos sistemas autónomos de robots permitirán que éstos eviten obstáculos en situaciones de rescate de víctimas de terremotos, compartiendo éstos sus teorías exitosas o recibiendo colaboración de un robot que se encuentra en un nivel superior en cuanto a su aprendizaje en la operación en este tipo de escenarios.

Entre los robots terrestres se distingue el robot serpientes encontramos a OmniTread, [Wright, C., et al ,2007] el que fue desarrollado en la facultad de Ingeniería de la Universidad de Michigan, (figura 1).

Entre los SAR acuáticos se distingue a modo de ejemplo el pez robot. A diferencia de otros peces robot, que necesitan controles remotos, estos navegan de forma independiente sin ninguna intervención humana. En el campo experimental se trabaja inspirándose en diseños de la naturaleza, en peces robots nadadores, que se deslizan por el agua de forma tan grácil como sus homólogos biológicos. Los primeros prototipos de pez robot desarrollados por el equipo liderado por Huosheng Hu de la Universidad de Essex [Universidad de Essex, 2010], imitan la técnica natatoria de las truchas. Las últimas versiones del robot pez, de cerca de 20 centímetros de longitud, nadan como los atunes, los cuales están adaptados para nadar a mayores velocidades y distancias. Pese a ello, por ahora estos peces robóticos son todavía bastante más lentos que sus homólogos biológicos.



Figura 1. OmniTread

Diversas universidades se encuentran desarrollando proyectos de pez robot entre estas la Universidad de Essex (figura 2), el MIT, la universidad de Osaka en Japón, otros esfuerzos se realizan en España con aplicaciones futuras del pez robot en la vigilancia medioambiental de puertos.



Figura 2 Pez Robot Universidad de Essex

En la Universidad de Michigan han desarrollado un robot volador [COM-BAT, 2009] que vuela batiendo sus alas en lugar de usar hélices (figura 3). Este robot podría recargarse energéticamente en el futuro utilizando pequeñas placas solares o sistemas eólicos, lo cual le daría una autonomía en principio casi ilimitada. En principio transportaría sensores, micrófonos y cámaras para realizar labores de vigilancia y reconocimiento, actuando en un enjambre de estos robots voladores.



Figura 3 Robot volador universidad de Michigan

En el desarrollo de la tesis se aplicó un robot móvil e-puck (figura 4), el que se integra al ambiente del Simulador Webots [Webots, 2009], entre éste último y el robot e-puck real [E-Puck, 2010], se comunican a través de la facilidad de control remoto que brinda el entorno Webots vía comunicaciones de datos en Bluetooth.

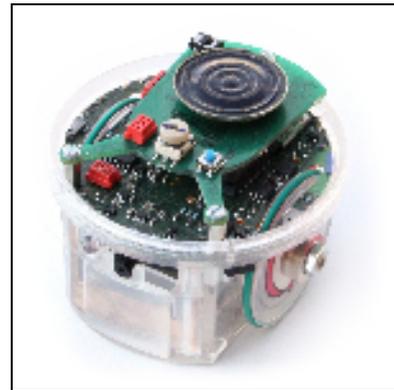


Figura 4. Robot E-Puck

TEMAS DE INVESTIGACION

Los Sistemas Autónomos de Robots (SARs) descritos en la sección precedente no distinguen el estado de evolución y ni los niveles de actuación diferenciados por su estado, como así tampoco escenarios calificados asociados a sus estados, estos sistemas se encuentran sin un marco que contenga sus actuaciones y permita la compartición de conocimiento entre sistemas que se encuentren en un mismo estado de evolución o identificar sistemas que se encuentren en aptitud de brindar colaboración a otros sistemas receptores que se encuentran en un estado de evolución inferior.

En este contexto, se plantea la necesidad de explorar los mecanismos que mejoren la compartición de conocimiento en orden a la colaboración desde un SAR que se encuentra en un estado de evolución superior hacia un SAR receptor.

Sobre estas bases, resulta conveniente especificar mecanismos de aprendizaje por colaboración entre SARs, definiendo un ciclo de vida de aprendizaje que considere arquitecturas y modelos que caractericen al SAR y su actuación en el ambiente de operación, en particular SARs más evolucionados colaborando con SARs receptores menos evolucionados. Centrado en el mecanismo de aprendizaje especificado resulta conveniente estudiar experimentalmente su convergencia y probar la generalidad del conocimiento compartido generado por el, en orden a la colaboración entre SARs, validando la tesis que estos tienen un mejor comportamiento utilizando colaboración que cuando no la usan. Surge el interés de que el estudio del comportamiento del SAR se realice en base a un ambiente de operación con mayor grado de detalle, introduciendo umbrales variables para cada sensor y actuador, diferenciándose de las concepciones previamente citadas, como así también el empleo de un planificador de teorías que interactúe ciclo a ciclo con el ambiente, permitiendo una mejor actuación del SARs en respuesta a los cambios del ambiente de operación. Los temas de investigación planteados, se articularon en la tesis [Ierache, J., 2010] a través de las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Qué características debe cumplir un ciclo de vida de aprendizaje para SAR que considere distintas arquitecturas, métodos de aprendizaje y ambientes de operación?
- ¿En que medida el aprendizaje basado en colaboración mejora el rendimiento del sistema autónomo de robots en comparación con las propuesta de métodos de aprendizaje precedentes?
- ¿En que medida la combinación de los métodos de aprendizaje previamente propuestos combinados con el método de

aprendizaje basado en colaboración propuesto mejoran el rendimiento de un SARp?

- ¿En que medida el planificador propuesto mejora el aprendizaje de un SAR en comparación con los planificadores previamente propuestos en la literatura?

RESULTADOS OBTENIDOS

Se presentan las conclusiones del presente trabajo, destacándose los aportes de la propuesta de un modelo de ciclo de vida para el aprendizaje de Sistemas Autónomos de Robots, y la propuesta de Sistema Autónomo de Robot.

PROPUESTA DE MODELO DE CICLO DE VIDA PARA EL APRENDIZAJE DE SISTEMAS AUTÓNOMOS DE ROBOTS

En el marco del aporte que realiza la tesis de referencia [Ierache, J., 2010] en relación al modelo de ciclo de vida para sistemas autónomos de robots, el ciclo de vida propuesto o LCC (Learning Life Cycle) se basa en tres layers (capas): [a] la layer de BIO (Built-In Operators) sobre la que se desarrolla el aprendizaje del SAR a partir de los operadores generados por el programa implantado por el programador o creador, [b] la layer TBO (Trained Base Operators) es la capa de aprendizaje en la que los operadores evolucionan en el contexto de entrenamiento del SAR sobre la base inicial de los operadores implantados previamente y [c] la layer WIO (World Interaction Operators) es la capa de aprendizaje en la que los operadores aprenden por la interacción con el mundo. El ciclo de vida propuesto para un SAR (figura 5), se conforma con siete regiones de tareas, tres layers (BIO, TBO, WIO) y los cuatro estados de evolución del SAR nacido (born), novato (newbie), entrenado (trained), maduro (mature), asociados al principio y fin de cada una de las layers. El SAR transita cada región de tareas en cada layer del LLC, durante una cantidad determinada de ciclos percepción-acción. Los SARs actúan en un ambiente conformado por escenarios asociados a cada una de las layers del LCC. En este orden se distinguen los siguientes escenarios: BIO-Escenario (se corresponde con la layer que transita el SAR Born hasta alcanzar

el estado de Newbie), TBO-Escenario (se corresponde con la layer que transita el SAR Newbie hasta alcanzar el estado de Trained), WIO-Escenario (se corresponde con la layer que transita el SAR Trained hasta alcanzar el estado de Mature). Se alcanzaron resultados que permitieron realizar:

(i) La presentación de un modelo de ciclo de vida de aprendizaje en el contexto de los Sistemas Autónomos de Robots, sobre la base del modelo de clásico de ciclo de vida en espiral de Bohem, B., (1988) y el modelo en espiral troncocónico de Alonso y colegas (1995) [Gómez, A., et al, 1997], incorporando la dimensión Z que representa, la evolución del conocimiento del Sistema Autónomo de Robot, en un modelo de ciclo de vida 3D, a través de los layers que representan los distintos estados de evolución del SAR, incrementando la cantidad de teorías acumuladas en su ciclo de vida de aprendizaje (figura 6).

(ii) La propuestas de estados de evolución del Sistema Autónomo de Robot (SAR), conformado por SAR born (nacido), SAR newbie (novato), SAR trained (entrenado), SAR mature (maduro), en función del rendimiento en materia de ciclos exitosos y de teorías nuevas obtenido por el SAR en su actuación en el escenario del layer del ciclo de vida de aprendizaje que transita.

(iii) La determinación de las regiones y tareas asociadas en el marco del modelo de ciclo de vida de un Sistema Autónomo de Robot.

(iv) La determinación de estadísticas de aprendizaje y métricas asociadas del Sistema Autónomo de Robot en el marco del modelo de ciclo de vida de aprendizaje propuesto.

(v) La propuesta de un modelo y arquitectura para la actuación de múltiples Sistemas Autónomos de Robots (MultiSAR).

(vi) La extensión de los mecanismos de compartición de conocimientos propuesto por autores anteriores, a la colaboración entre Sistemas Autónomos de Robots, incorporando la figura del SAR receptor y

del SAR colaborador en el marco del ciclo de vida de aprendizaje propuesto, observando el nivel de evolución del SAR.

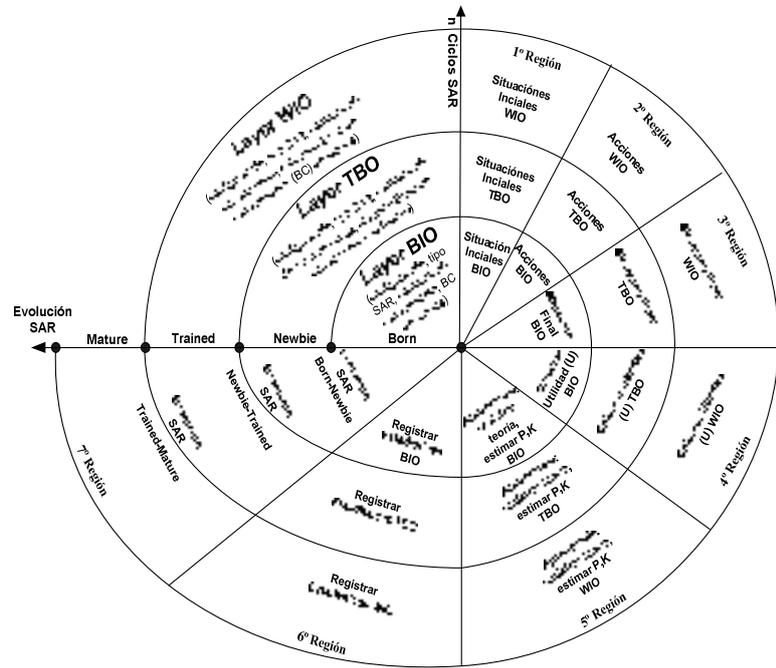


Figura 5. Ciclo de Vida de Aprendizaje del SAR

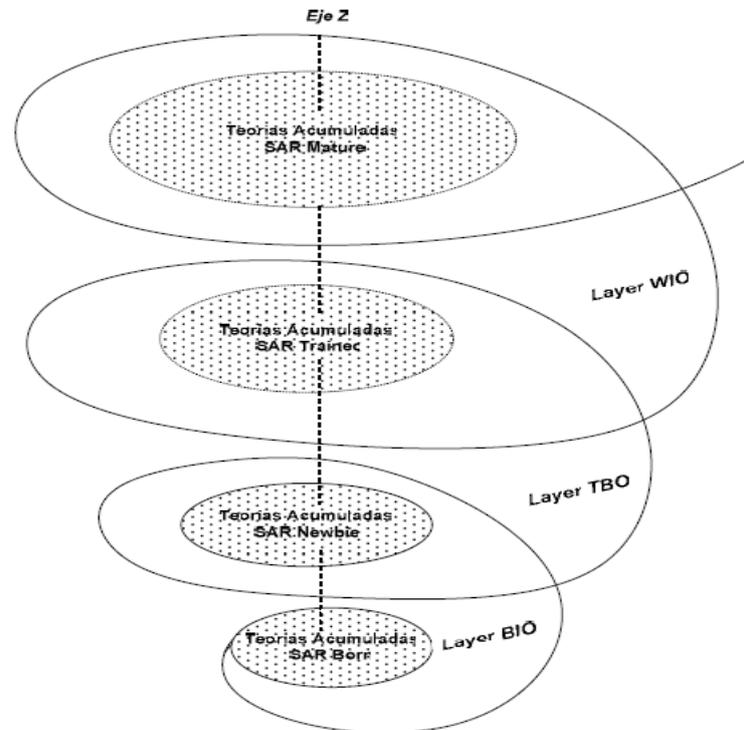


Figura 6 Visión Lateral del Ciclo de vida de aprendizaje del SAR.

PROPUESTA DE SISTEMA AUTÓNOMO DE ROBOT

En el marco del aporte que realiza la tesis [Ierache, J., 2010] en relación a los Sistemas Autónomos de Robots (SARs), se alcanzaron resultados que permitieron realizar:

- (i) La propuesta de una arquitectura de implementación del Sistema Autónomo de Robot aplicado en la plataforma de robot e-puck. [E-Puck, 2010].
- (ii) La propuesta y experimentación de un planificador por ranking de teorías aplicado para la actuación del Sistema Autónomo de Robot.
- (iii) La propuesta y experimentación del método de utilidad de las teorías del Sistema Autónomo sobre la base de la acción del SAR o basado en coeficientes.
- (iv) La propuesta y experimentación de un método de comparación de teorías, sobre la base de la comparación individual de cada uno de los sensores (IR-proximidad) y actuadores (ruedas) con un umbral individual determinado en el escenario de actuación, a diferencia de los métodos aplicados por autores anteriores en la presente línea de trabajo, que aplican un umbral fijo y general para todos los sensores.
- (v) La ratificación experimental de que los Sistemas Autónomos de Robots (SARs) obtienen mejores resultados en su aprendizaje a través de la colaboración, considerando la comparación de resultados de experimentación del método de planificación clásica (SARp) aplicada por los autores anteriores y el método propuesto basado en el ranking de teorías (SARr), a través del desarrollo de cinco grupos de experimentos, distribuidos en tres grupos de experimentos para la arquitectura que aplica el SARp y dos grupos de experimentos para la arquitectura que aplica el SARr, en este orden los sistemas autónomos de robots (SARs), durante la experimentación han formulado un conjunto de teorías que les permite predecir “a priori” el efecto de sus acciones. La base de experimentación

correspondiente al intercambio (cooperación) se realizó entre SARs borns que se encuentran en el layer BIO y la colaboración desde un SAR Newbie que se encuentra en el layer TBO, a un SAR receptor born que se encuentra en el layer BIO del LLC (Learning Life Cycle). Se asumió como criterio más restrictivo para la experimentación de la colaboración entre SARs, la selección de bases de conocimiento de teorías de SARs que se encuentren próximos en su estado de evolución, en este orden se aplicaron para la experimentación, las bases de conocimiento de teorías de tres SARs que son representados por: el robot A (born con 600 ciclos de simulación, que se encuentra iniciando layer BIO), el robot B_b (born con 3000 ciclos de simulación, recorriendo el Layer BIO), el robot B_n (newbie con 6000 ciclos de simulación iniciando el layer TBO). Sobre estas bases de teorías generadas se realizó el intercambio a nivel de born en el layer BIO, entre el robot A (born, que se encuentra al inicio del layer BIO) y el robot B_b (born, que se encuentra transitando la mitad del layer BIO), generando la base de teorías de intercambio robot A-B. La colaboración se realizó entre el robot B_n (newbie que se encuentra iniciando el layer TBO) al robot A (born que se encuentra al inicio del layer BIO) receptor. El intercambio y colaboración se realizó entre la base de teorías de intercambio robot A-B borns y la base de teorías del robot B_n newbie. Las bases de teorías enunciadas fueron empleadas por el robot E (robot de experimentación), sobre el que se realizaron los experimentos con la aplicación de los métodos de ponderación de planes y mutación. El SAR neutro se desarrolló sobre la base de un robot born que corrió 600 ciclos (robot A). Los robots A y B se iniciaron con su creador (programador), corriendo 400 ciclos para generar su base inicial de teorías a través de un comportamiento inicial reactivo. Las bases de teorías de los distintos robots se almacenaron en XML. Independientemente de la arquitectura del SAR, las teorías que

se generan, tienen la misma estructura de datos (tabla 1), diferentes tags que conforman la teoría del SAR, identifican en su interior los objetos pertenecientes a la estructura de la teoría basada en: Situación Inicial, Acción, Situación Final, P, K Utilidad.

<p><TEORIA> ... </TEORIA> : contiene toda la Teoría <SituacionInicial> ... </SituacionInicial> : contiene un objeto del tipo SITUACIÓN (en este caso es la Situación Inicial Si) <SITUACION> ... </SITUACION > : es un objeto que contiene los valores de los 8 sensores <SensorN> ... </SensorN> : contiene el valor del Sensor "N" para la situación en la que está contenido <Accion> ... </Accion> : contiene un objeto del tipo ACCIÓN (en este caso es la Acción de la teoría) <ACCION> ... </ACCION> : es un objeto que contiene los valores de las 2 velocidades de las ruedas <SpeedN> ... </SpeedN> : contiene el valor de la velocidad de la rueda "N" para la Acción en la que está contenido <SituacionFinal> ... </ SituacionFinal > : contiene un objeto del tipo SITUACIÓN (en este caso es la Situación Final Sf) <P> ... </P> : contiene el valor del parámetro "P" de la Teoría <K> ... </K> : contiene el valor del parámetro "K" de la Teoría <Utilidad> ... </Utilidad> : contiene el valor de la Utilidad de la Teoría</p>

Tabla 1 Estructura de la base de conocimientos.

(vi) La ratificación experimental de que los Sistemas Autónomos de Robots con planificador clásico (SARp) obtienen mejores resultados en su aprendizaje a través de la colaboración, considerando la comparación de resultados de experimentación del método de planificación clásica (SARp) aplicada por los autores anteriores (figura 6).

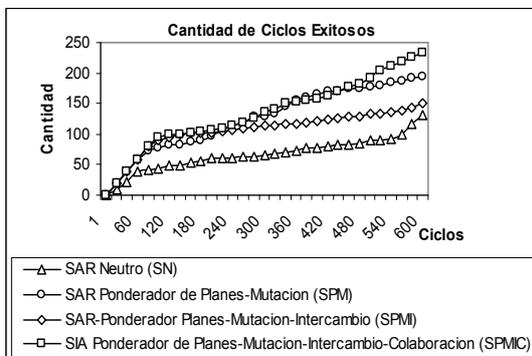


Figura 6 Cantidad de ciclos exitosos para la configuraciones de SARp: SN, SPM, SPMI, SPMIC

(vii) La ratificación experimental del rendimiento de las arquitecturas de Sistemas Autónomos de Robots (SARs) a través de la comparación de los resultados obtenidos por el Sistema Autónomo de Robot con planificador clásico (SARp) y el Sistema Autónomo de Robot con planificador por ranking de teorías (SARr) en el marco del ciclo de vida de aprendizaje, permite concluir al respecto del rendimiento comparado que:

- El Sistema Autónomo de Robot con planificador por ranking (SARr), obtuvo el mayor rendimiento en función de la cantidad promedio de ciclos exitosos obtenidos a lo largo del tiempo de experimentación en todas las configuraciones de métodos experimentadas, en comparación con el Sistema Autónomo de Robot con planificador (SARp).
- En ambas arquitecturas aplicando colaboración se obtuvo una mayor cantidad de ciclos exitosos. La comparación de un SARp neutro (SNp) y SARr neutro (SNr), se puede observar en la figura 7, sin embargo la combinación de mutación y colaboración sostiene el crecimiento de la cantidad de ciclos exitosos a lo largo del tiempo en ambas arquitecturas comparadas entre SARp con mutación, colaboración SPMCP y SARr con mutación y colaboración SMCr (figura 8), evitando las tendencias de amesetamiento de ciclos exitosos.

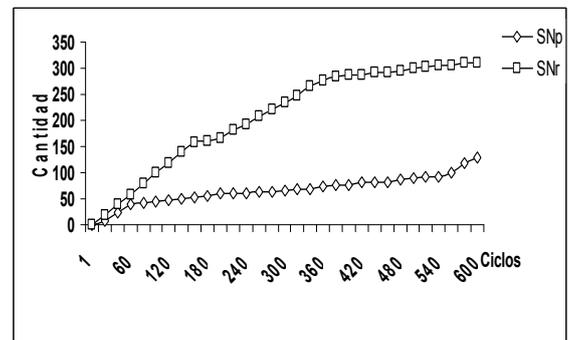


Figura 7 Cantidad de ciclos exitosos para la configuraciones de SARs: SNp y SNr

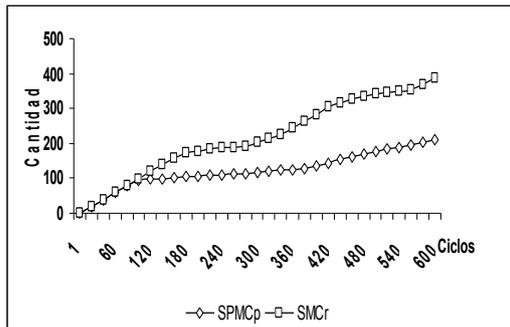


Figura 8 Cantidad de ciclos exitosos para la configuraciones de SARs: SPMcP y SMCr

c. Finalmente los mejores resultados para ambas arquitecturas en los distintos escenarios de experimentación (figura 9), surgen de la combinación de mutación, intercambio y la colaboración para la configuraciones de SARp: SPMICp y SARr: SMICr (figura 10). Esto sostiene la hipótesis de que, con independencia de la arquitectura empleada, la colaboración produce una mayor aceleración en el aprendizaje de un Sistema Autónomo de Robot (SAR), aumentando el SAR receptor su rendimiento en materia de cantidad de ciclos exitosos a lo largo del tiempo.

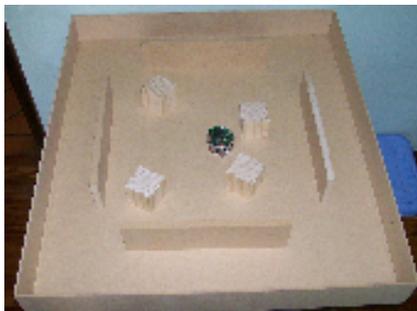


Figura 9. Escenario experimentación del SAR

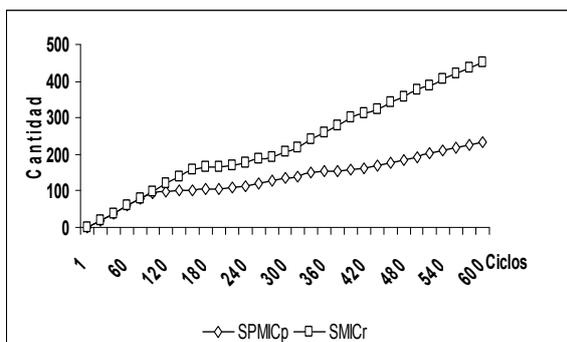


Figura 10 Cantidad de ciclos exitosos para la configuraciones de SARs: SPMICp y SMICr

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Sobre la base de los resultados obtenidos, se plantean como principales líneas de trabajo de investigación:

- (i) Extender los trabajos de la presente tesis en el marco de la colaboración extra ambiente entre SARs, determinar los coeficientes de Braitenberg sobre la base de algoritmos genéticos en orden a la función de utilidad que aplica un SAR en un ambiente de operación.
- (ii) En función del modelo MultiSAR, explorar la compartición de conocimiento sobre un ambiente de web semántica, con la modelización de conocimiento a través de una ontología que represente al SAR en su actuación, aprendizaje y compartición de conocimientos, observando las propuestas preliminares de Ierache et al (2008 d), con el objeto de facilitar la búsqueda y el intercambio de teorías de actuación distribuidas de distintos SARs a través de Internet.
- (iii) La valoración del comportamiento del Sistemas Autónomos de Robots (SAR) a través de bioseñales del observador humano [Ierache *et al.*, 2009c], incorporadas en la estructura de las teorías de conocimiento del Sistema Autónomo de Robot.
- (iv) Aplicar las bases de la compartición de conocimiento entre Sistemas Autónomos de Robots (SAR), en un contexto de robótica colectiva.
- (v) Aplicación de métodos difusos (Fuzzy) para la comparación de situaciones y acciones que conforman las teorías de los Sistemas Autónomos de Robots y la determinación de utilidad de la teoría que aplica un Sistema Autónomo de Robot, en su actuación en un escenario en particular. Esto aportaría una categorización de conjuntos borrosos para los sensores así también como para los motores de las ruedas y la utilidad de las teorías, tratando

de rescatar teorías o reglas en el contexto del control borroso del robot.

PRINCIPALES PUBLICACIONES RELACIONADAS CON LA TESIS

Durante el desarrollo de esta tesis se han publicado resultados a través de diversas publicaciones que a continuación se detallan:

Series Internacionales y Capítulos de Libros

Ierache, J., García-Martínez, R., De Giusti, A. (2008). *Learning Life-Cycle in Autonomous Intelligent Systems*. En *Artificial Intelligence in Theory and Practice II*, ed. M. Bramer, (Boston: Springer), pp 451-455, ISSN 1571-5736.

Ierache, J., Garcia-Martinez, R., De Giusti, A. (2009). *A Proposal of Autonomous Robotic Systems Educative Environment*. *Communications in Computer and Information Science* 44: 224–231. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISSN 1865-0929 / ISBN: 978-3-642-03985-0.

Ierache, J., García-Martínez, R., De Giusti, A. (2010), *Learning by Collaboration in Intelligent Autonomous Systems*. *IFIP Advances in Information and Communication Technology, Artificial Intelligence in Theory and Practice III*, ed. M. Bramer, (Boston: Springer), Volume 331/2010, 143-152, DOI: 10.1007/978-3-642-15286-3_142

Congresos Internacionales

Ierache, J., Naiouf, M., García Martínez, R., De Giusti, A. 2008. Un Modelo de Arquitectura para el Aprendizaje y Compartición de Conocimiento entre Sistemas Inteligentes Autónomos Distribuidos. *Proceedings VII Jornadas Iberoamericanas de Ingeniería de Software e Ingeniería del Conocimiento*. Pág. 179-187. ISSN 1390-292X.

Congresos Nacionales

Ierache, J., Dittler, M. (2008). *Sistemas Autónomos de Programación Abierta a Partir de Juguetes Bípedos en el contexto de Fútbol de Robots*, *Anales del V*

Workshop de Inteligencia Artificial aplicada a la robótica móvil, Universidad Nacional del Comahue, Pag 105-111, ISBN: 978-987-604-100-3.

Ierache, J., Bruno, M García-Martínez, R., (2008). *Ontología para el aprendizaje y compartición de conocimientos entre sistemas autónomos*. XIV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación 6 al 10 octubre CACIC 2008, Universidad Nacional de Chilecito, ISBN 978.987-24511-0-2

Ierache, J., Garcia Martinez, R., *Aprendizaje y Compartición de Conocimientos entre Sistemas Inteligentes Autónomos*. (2009) *Proceedings XI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*. Pág. 580-583. ISBN 978-950-605-570-7.

Ierache, J., Dittler M., Pereira G., García Martínez R., (2009) *Robot Control on the basis of Bio-electrical signals*. XVI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación 5 al 9 octubre CACIC 2009, Universidad Nacional de Jujuy, Facultad de Ingeniería, ISBN 978-897-24068-3-9 ,pag 30.

REFERENCIAS

Las referencias detalladas se limitan solo a la presente comunicación y no comprenden a la tesis en su totalidad.

Boehm B, (1988) "*A Spiral Model of Software Development and Enhancement*", *Computer*, volumen 21, N° 5, pp 61-72.

Braitenberg, V. (1984). "*Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology*", MIT Press, Cambridge, MA.

COM-BAT

<http://www.ns.umich.edu/htdocs/releases/story.php?id=6409>, vigente a marzo 2010.

E-Puck, (2010) "*Robot e-puck*", publicado en web: <http://www.e-puck.org/> página vigente al 01/04/2010.

- Fritz, W. (1984). "*The Intelligent System*." SIGART Newsletter, 90: 34-38. ISSN 0163-5719.
- Fritz, W. (1992). "*World view and learning systems*". Robotics and Autonomous Systems 10(1): 1-7. ISSN 0921-8890.
- Fritz, W., García Martínez, R., Marsiglio, A (1990). "*Sistemas Inteligentes Artificiales*", C.E.I.L.P. La Plata, 1990.
- Fritz, W., García Martínez, R., Rama, A., Blanqué, J., Adobatti, R. y Sarno, M.(1989). "*The Autonomous Intelligent System*". Robotics and Autonomous Systems, 5(2):109-125. ISSN 0921-8890.
- García Martínez, R. y Borrajo, D. (2000). "*An Integrated Approach of Learning, Planning and Executing*". Journal of Intelligent and Robotic Systems 29(1): 47-78. ISSN 0921-0296.
- García-Martínez, R., Borrajo, D., Britos, P. y Maceri, P. (2006). "*Learning by Knowledge Sharing in Autonomous Intelligent Systems*". Lecture Notes in Artificial Intelligence, 4140: 128-137. ISBN 978-3-540-45462-5.
- Gómez, A., Jurista, N., Montes, C., Pazos, J., (1997) "*Ingeniería del Conocimiento*", pp 26-31, Editorial Centro de Altos Estudios Ramón Areces, S.A, Madrid, ISBN 84-8004-269-9, 1997.
- Ierache, J., (2010) Tesis Doctoral: "Modelo De Ciclo De Vida Para El Aprendizaje Basado En Compartición de Conocimientos En Sistemas Autónomos De Robots", Facultad de Informática UNLP, Nov 2010. Publicada en: http://postgrado.info.unlp.edu.ar/Carrera/Doctorado/Tesis/Ierache_Jorge.pdf
- University of Essex (2010). "*Department of Computer Science*", University of Essex, publicado en: <http://cswww.essex.ac.uk/staff/hhu/HCR-Group.html>, vigente a 01/03/2010
- Webots, (2009). "*Simulador Webots*", publicado en: <http://www.cyberbotics.com/>, vigente marzo 2009.
- Whitehead, S., Ballard, D (1991). "Learning to Perceive and Act by Trial and Error". Machine Learning. Volumen 7. pp 45-83. Kluwer Academic Publishers. 1991
- Wright, C., Johnson, A., Peck,A., McCord, Z., Naaktgeboren,A., Gianfortoni, P., González-Rivero, M., Hatton, R., and Choset, H., (2007). "*Design of a Modular Snake Robot*" Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems San Diego, CA, USA, 2007