

Desarrollo de competencias investigativas en Inteligencia Artificial en el marco de un proyecto de graduación en Ingeniería Electrónica

GERARDO ARIAS FERNÁNDEZ
Universidad Nacional

Contacto:
gerardo.arias@gmail.com

JUAN LUIS CRESPO MARIÑO
Universidad de Costa Rica

Contacto:
jlcespo@eie.ucr.ac.cr

RESUMEN

Los estudios de temas como la Inteligencia Artificial han sido clásicamente limitados a carreras de ciencias de la informática en los temarios de instituciones universitarias en Costa Rica. La incorporación de estos conocimientos como complemento a la carrera de Ingeniería Electrónica (en el contexto de un proyecto de graduación) y como introducción a una carrera en investigación científica permite al proyectando desarrollar habilidades y prácticas que se agregan a su experiencia universitaria básica y le permiten tener una herramienta adicional para enfrentar su futuro.

PALABRAS CLAVE: investigación, desarrollo de habilidades, robótica, competencias.

Introducción

La enseñanza de la Ingeniería Electrónica en Costa Rica se ha basado tradicionalmente en el aprendizaje de destrezas relacionadas a las computadoras, redes y telecomunicaciones o hacia los sistemas empotrados. Basta con explorar rápidamente los programas de estudios de las principales universidades estatales como la Universidad de Costa Rica (Escuela de Ingeniería Eléctrica, 2013) o también el plan de estudios correspondiente al Instituto Tecnológico de Costa Rica (Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2013), así como de universidades privadas tal como la Universidad Latina (Universidad Latina, 2013) para notar que estos son los enfoques básicos que se practican en la enseñanza de esta disciplina. Esto ha funcionado adecuadamente hasta ahora para las instituciones de educación superior, pues se responde así a las necesidades presentes actualmente en el mercado laboral del país.

Sin embargo, al comparar estos programas de estudio con los propios de otras instituciones en el extranjero como, a modo de ejemplos, la Universidad de Valladolid en España (Universidad de Valladolid, 2013), la UNAD en Colombia (UNAD, 2013), o también la Universidad de Guadalajara en México (Universidad de Guadalajara, 2013) donde se encuentran varios énfasis que quedan por fuera del plan de estudios propuesto en Costa Rica. Particularmente, la aplicación de métodos de Inteligencia Artificial para resolución de problemas, es un área que queda excluida de los planes de estudio de universidades costarricenses.

Clásicamente, el estudio de temas de Inteligencia Artificial ha sido particularmente del dominio de carreras académicas como las ciencias de la informática. Por ejemplo, actualmente, la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información (Universidad Nacional, 2013) en la Universidad Nacional ofrece un curso de Inteligencia Artificial, siendo una clase optativa del programa de estudios.

Así, se deja por fuera del perfil profesional del estudiante de ingeniería electrónica, todo un conjunto de experiencias y habilidades que son especialmente necesarios para quienes desean aventurarse a realizar estudios de posgrado, en universidades extranjeras y en temas que son considerados prioritarios para el desarrollo futuro del país (Colectivo Proyecto Estrategia Siglo XXI, 2006).

Por tanto, en este artículo se describe una estrategia para desarrollar habilidades investigadoras de alto nivel y a la vez incluir los conocimientos de Inteligencia Artificial puestos en práctica en una aplicación de competencias de robótica, en una experiencia de trabajo final de graduación para optar por la Licenciatura en Electrónica con Énfasis y en Automatización y Control, de cara a poder proseguir posteriormente estudios investigativos en esta área.

Este proyecto, desde el punto de vista del tipo de investigación se clasifica bajo el paradigma de investigación aplicada (en relación al objeto de estudio) y experimental (según la extensión del estudio).

El proyecto realizado, se ha basado en la extensión de la experiencia adquirida con una competencia de Sumo robótico en 2009 (Universidad Interamericana, 2009). Ese tipo de competencias en robótica son habituales en numerosas instituciones universitarias a lo largo de todo el mundo, y son un excelente vehículo educativo para el desarrollo de habilidades referidas específicamente, a los conocimientos relacionados con circuitos electrónicos y dispositivos eléctricos. Por ejemplo, RoboCup

es un esfuerzo para fomentar la investigación en la inteligencia robótica cuyo objetivo primordial es construir un equipo de robots humanoides que pueda vencer al equipo campeón mundial de Soccer en el 2050. (Mayer, Asada, 2008). Sin embargo, el comportamiento de los robots que participan en estas competencias se define “ad hoc” por medio del estudiante o grupo de estudiantes que realizan el diseño e implementación del robot. Por tanto, se corre el riesgo de que dichos comportamientos introduzcan sesgos propios del diseñador humano. Las técnicas de inteligencia artificial permiten la generación de comportamientos flexibles y altamente autónomos. Sin embargo, en el caso de Costa Rica, las habilidades relacionadas con esa disciplina no se adquieren durante la formación del Ingeniero en Electrónica.

Al proponer un trabajo de graduación como medio para la adquisición de esos conocimientos, se hace de forma tal que dichos conocimientos no sólo se adquieren, sino que asimismo se practican, al mismo tiempo que otras habilidades y competencias propias de los procesos de investigación científica se ponen en marcha.

El proyecto que se ha llevado a cabo consiste en la evaluación de la viabilidad de incorporar estrategias diseñadas de forma automática, minimizando así la participación de un programador humano en la toma de decisiones y por tanto reduciendo la probabilidad de sesgos de comportamiento, en un robot similar al que participó en la competencia anteriormente mencionada (Arias, 2012). La validación de esta hipótesis se dará cuando se logren generar estrategias para robots luchadores de sumo de forma automática y que estas estrategias sean válidas desde el punto de vista funcional.

Dicho proyecto se ha limitado a generar y comprobar el funcionamiento simulado de las estrategias obtenidas, no así su aplicación en un robot real pues sale del alcance del mismo. Desde un punto de vista pedagógico, el proceso se limita a la adquisición de nuevos conocimientos complementarios a la carrera del candidato, mediante la aplicación de un trabajo de investigación.

El trabajo de investigación

En una primera parte del proyecto, se realiza un análisis profundo del estado del arte y material bibliográfico. Se incluye inicialmente todo lo relacionado con definiciones de los términos y paradigmas necesarios para entender el contexto en el que se ubican estos dispositivos.

En esta fase se desarrollan habilidades relativas a la categorización de términos, establecimiento de definiciones, y la contextualización del problema a tratar. El trabajo se realiza en un entorno absolutamente profesional, no permitiéndose la utilización de fuentes bibliográficas que no respondan a un criterio de calidad propio del proceso científico.

Uno de los hitos fundamentales alcanzados durante la realización del proyecto se refiere al estudio y establecimiento de una definición precisa y aceptada de robot. Aunque pueda parecer extraño a quien no profesa la materia (e incluso a muchos profesionales con amplia formación técnica en áreas relacionadas) al día de hoy no se puede decir que exista una única definición del concepto de “robot” que sea aceptada por la comunidad internacional: incluso, a modo de ejemplo, en la categorización UNESCO de áreas de estudio, no figuran ni la robótica ni, simplemente, la palabra

robot (Convocatoria de Fomento de la Cultura Científica y Tecnológica, 2004). Durante el proceso investigativo se encontró que el grupo de trabajo ISO TC 184/SC 2 WG1 – Vocabulary, ha revisado recientemente la definición de un robot, en vista del surgimiento de nuevos tipos de robots de servicio, entre otros. La nueva definición que dan para un robot es: “Mecanismo actuador programable en dos o más ejes con cierto grado de autonomía, móvil dentro de su ambiente, para realizar tareas intencionadas” (Moon, Lee, Park, 2010). El documento preliminar ha sido estudiado por expertos y la propuesta recientemente aceptada.

Se procede enseguida a hacer una lista de la tipología de los robots, con el fin de comprender cuáles son los distintos tipos de robots disponibles y cuáles son las aplicaciones donde pueden desarrollar sus objetivos. Durante los estudios en la carrera de Ingeniería Electrónica, se abordó únicamente el tema de los robots industriales. Por medio de este proyecto de investigación, se incluyen distintas clasificaciones como morfología, arquitectura, movilidad, funciones con sus aplicaciones u objetivos, así como otros tipos de robots a esta tipología.

Uno de los elementos más importantes a la hora de formar a un estudiante de Ingeniería Electrónica en los procesos de investigación científica que involucran al área de la Inteligencia Artificial es el cambio del modelo clásico de actuación donde la respuesta que ejerce el robot ante los estímulos sensoriales que recibe y que tradicionalmente se traducen en una serie de reglas sencillas programadas en la computadora del robot (del tipo “si el sensor 1 detecta presencia y el sensor 2 temperatura, gira la rueda 1 y la 3”), hacia el paradigma de sentir – pensar – actuar, para referirse al modo en que estos operan en el mundo que les rodea (Siegel, 2001). Esta es una arquitectura que se utiliza en el diseño de robots, donde las tres etapas interactúan continuamente entre sí para lograr el funcionamiento del robot. Bajo un paradigma de sentir – pensar – actuar, primero el robot percibe el ambiente que lo rodea y obtiene información de los objetos en este ambiente, luego con esta información toma decisiones sobre las acciones que debe realizar y finalmente ejecuta dichas acciones. (Siegel, M., 2003).

Dada la naturaleza de este paradigma, el elemento de Inteligencia Artificial es muy importante en la constitución de sistemas robóticos: esto debido principalmente a la componente de “pensar” en este paradigma. Es en esta etapa donde se procesa la información adquirida del exterior por medio de sensores y que luego servirá para interactuar con el mundo por medio de efectores. Esta idea se fortalece con estudiar las principales referencias bibliográficas que dictan la actualidad del tema (Russell, Norvig, 2003). Por tanto, el conocimiento no sólo teórico sino práctico de ese tipo de disciplinas es primordial: la experiencia multidisciplinar de un proyecto de graduación es ideal para ello pero como se mencionó anteriormente, éstas no figuran como tales en el plan de estudios.

En el trabajo de investigación, se incluyó asimismo una breve historia de las aplicaciones robóticas. Esta es relativamente reciente, aunque ha desarrollado un nivel de evolución y crecimiento en los últimos años, tanto en aplicaciones en industria como en servicios, investigación y aspectos sociales. En sí mismo, el término “robot” fue acuñado para la obra de teatro R.U.R. (Rossum’s Universal Robots) escrita por Karel Čapek y estrenada en enero de 1921. El término checo “robota” significa “trabajo forzado”, refiriéndose al trabajo obligatorio similar a la corvea que algunos trabajadores serviles debían al señor feudal. En esta obra se hace alusión por primera vez a un autómatas con forma humana y que además tiene la capacidad de pensar por sí mismo (Adams, Breazeal, Brooks, Scassellati,

2000). Este estudio permitió practicar competencias relacionadas con el manejo de información bibliográfica y la redacción de textos de tipo histórico (entendiendo estos no solamente como una colección de fechas y hechos, sino como una evolución de ideas, principios y aplicaciones que permiten entender de una manera mucho más profunda el estado actual de un área de conocimiento, en este caso la robótica).

El desarrollo de habilidades relativas a la construcción activa de conocimiento con base en el análisis de información bibliográfica continúa con la elaboración de una serie de tipologías de los robots, con el fin de comprender cuáles son los distintos tipos de robots disponibles y cuáles son las aplicaciones donde pueden desarrollar sus objetivos. Durante los estudios en la carrera de Ingeniería Electrónica, se abordó únicamente el tema de los robots industriales. Por medio de este proyecto de investigación, se incluyen distintas clasificaciones como morfología, arquitectura, movilidad, funciones con sus aplicaciones u objetivos, así como otros tipos de robots, a esta tipología.

La Inteligencia Artificial es una disciplina especialmente amplia, que involucra diferentes tipos de paradigmas (diferentes tanto en su origen, como en los métodos que utilizan para lograr sus objetivos, así como en las áreas de aplicación posibles). Por tanto, la aplicación de Inteligencia Artificial en el proyecto se limita a uno sólo de sus paradigmas. En este caso, dadas las características del problema, se ha optado por una de las categorías de la denominada Computación Evolutiva (Fogel, 2006). Dicho paradigma constituye una versión, implementada por medio de programas de computadora, del proceso de selección natural de las especies en función de su adaptación al medio (Hussain, 1998). Más específicamente, el proyecto utiliza la Programación Genética (Koza 1992): un gran conjunto de programas de computadora son evaluados como posibles soluciones a un problema específico, de entre los mejores, se selecciona un subconjunto que “se cruza” entre sí, para dar lugar a programas que son, presumiblemente, más adecuados para el problema en cuestión de lo que fueron sus progenitores. Dicho proceso continuará de forma iterativa hasta que se obtenga una solución suficientemente válida para el problema. Lo interesante en este caso es que se obliga al alumno a examinar el problema de la generación de un conjunto de reglas para guiar un robot desde un punto de vista altamente interdisciplinar, donde ha de tener conocimientos, como mínimo básicos, sobre procesos naturales, caracterización numérica de problemas, relación entre fenómenos naturales y su contraparte simulada, etc. Es decir, una vez más, se ahonda en el problema del desarrollo de habilidades y competencias especialmente útiles para la investigación científica moderna, caracterizada por un alto grado de trabajo conjunto entre profesionales de diferentes orígenes no sólo geográficos sino asimismo académicos.

Para descubrir el concepto del algoritmo de Inteligencia Artificial que se utilizará en el proyecto, se hace una presentación de temas como la evolución biológica y la computación evolutiva. Según la 22ª edición del Diccionario de la Real Academia Española, la evolución biológica es el proceso continuo de transformación de las especies a través de cambios producidos en sucesivas generaciones. Estos cambios son resultado de dos factores primordiales: su genética y su interacción con el ambiente. Dichos cambios pueden permitir a una especie adaptarse mejor a su ambiente. Los conocimientos en evolución biológica también corresponden a las necesidades interdisciplinarias del trabajo de investigación, ya que quedan por fuera del programa de estudios regular de la carrera. Estos pudieron

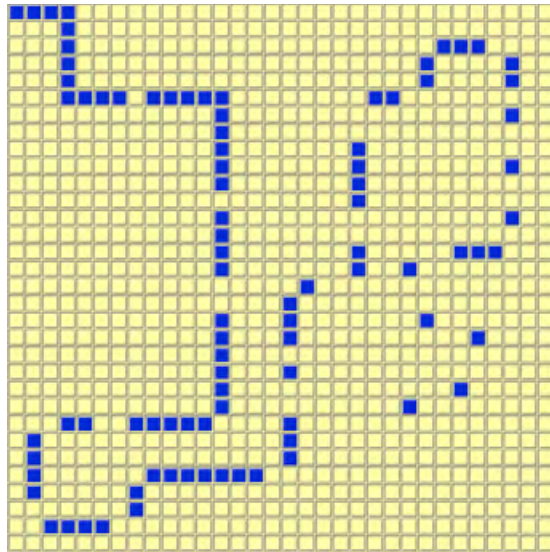
ser incluidos únicamente debido al interés de implementar un complemento de Inteligencia Artificial a los estudios.

Al terminar esta fase, el proyectando estaba en disposición de abordar la implementación de un sistema que permitiera demostrar la viabilidad de la hipótesis que ha motivado la investigación. Esto es, que puede desarrollarse una estrategia que guía el comportamiento de un robot en una competencia robótica a partir de un paradigma de Inteligencia Artificial. En este punto del desarrollo del proyecto, el proyectando ha tenido que desarrollar y ejecutar de manera exitosa diversas habilidades y competencias propias del trabajo investigador, incluyendo la que los autores del presente artículo consideran fundamental: la inmersión en una disciplina de conocimiento que no forma parte del programa de estudios acometido por el proyectando, pero que resulta fundamental para llevar a cabo labores de investigación de alto nivel en el entorno de su titulación. Se siguió una metodología que busca el desarrollo de competencias tanto específicas como transversales con la mira puesta en el desarrollo de habilidades que faculten al proyectando para una carrera de investigación en un entorno internacional.

EL PROCESO CIENTÍFICO

Cuando la revisión del material teórico permitió al autor obtener los recursos y conocimientos necesarios para sentar las bases del proyecto, se da inicio a un proceso de investigación basado en el método científico con sus distintas etapas como definir un problema y probar hipótesis de cómo puede resolverse esta situación. Para esto, se procedió a un análisis completo de las herramientas que podían ser útiles para el desarrollo del experimento. La obtención de estrategias válidas para el robot mediante la aplicación de un método de inteligencia artificial (algoritmos genéticos en este caso), permitiría comprobar que los conocimientos adquiridos durante la etapa de estudio e investigación científica han dado resultados positivos para el postulante, logrando así los objetivos planteados en el trabajo de graduación.

Con este objetivo, en una primera fase se busca una plataforma que permita la generación de las estrategias utilizando algoritmos de Inteligencia Artificial. La herramienta que se utilizó se trata de una distribución en lenguaje Java que permite utilizar instrumentos de programación genética y modificarlos según la necesidad del proyecto. El estudio de este framework fue necesario para comprender a fondo su funcionamiento y capacidades de personalización para poder adaptarlo adecuadamente al problema en estudio. Para modelar el problema del desplazamiento del robot sobre la superficie, se toma como referencia de base el ejercicio popularizado por (Koza 1992), donde una hormiga artificial tiene que desplazarse exitosamente por una cuadrícula y recoger el máximo de comida posible.



Koza, J. R. (1992). *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. [SantaFeTrail] Recuperado de http://en.wikipedia.org/wiki/Santa_Fe_Trail_problem

La aptitud de estas estrategias teóricas para realizar el objetivo que se ha definido previamente, se somete a evaluación por medio de una función de aptitud que determina cual es la mejor estrategia de movimiento para el robot.

Posteriormente, la mejor estrategia obtenida en la plataforma de evolución, se evalúa en nueva una plataforma donde se realiza la simulación computarizada de estos comportamientos. En esta plataforma, se modelan las condiciones a las que se va a enfrentar el robot en el mundo real, con el objetivo de evaluar la conducta de las estrategias obtenidas en la primera plataforma y ver si se adecúan al problema en cuestión.

Estas dos etapas también fueron acompañadas de una fuerte búsqueda bibliográfica sobre cómo se habían utilizado estas herramientas en proyectos anteriores para dar solución a diferentes problemas en esos casos. La investigación realizada, además de la ayuda invaluable de distintos colaboradores en diversos países, permitió elaborar una plataforma de experimentación que se adecuara a las necesidades del proyecto. Con esta plataforma se pudieron analizar las posibles soluciones al problema y comparar estas soluciones en un ambiente analítico conveniente a sus requisitos.

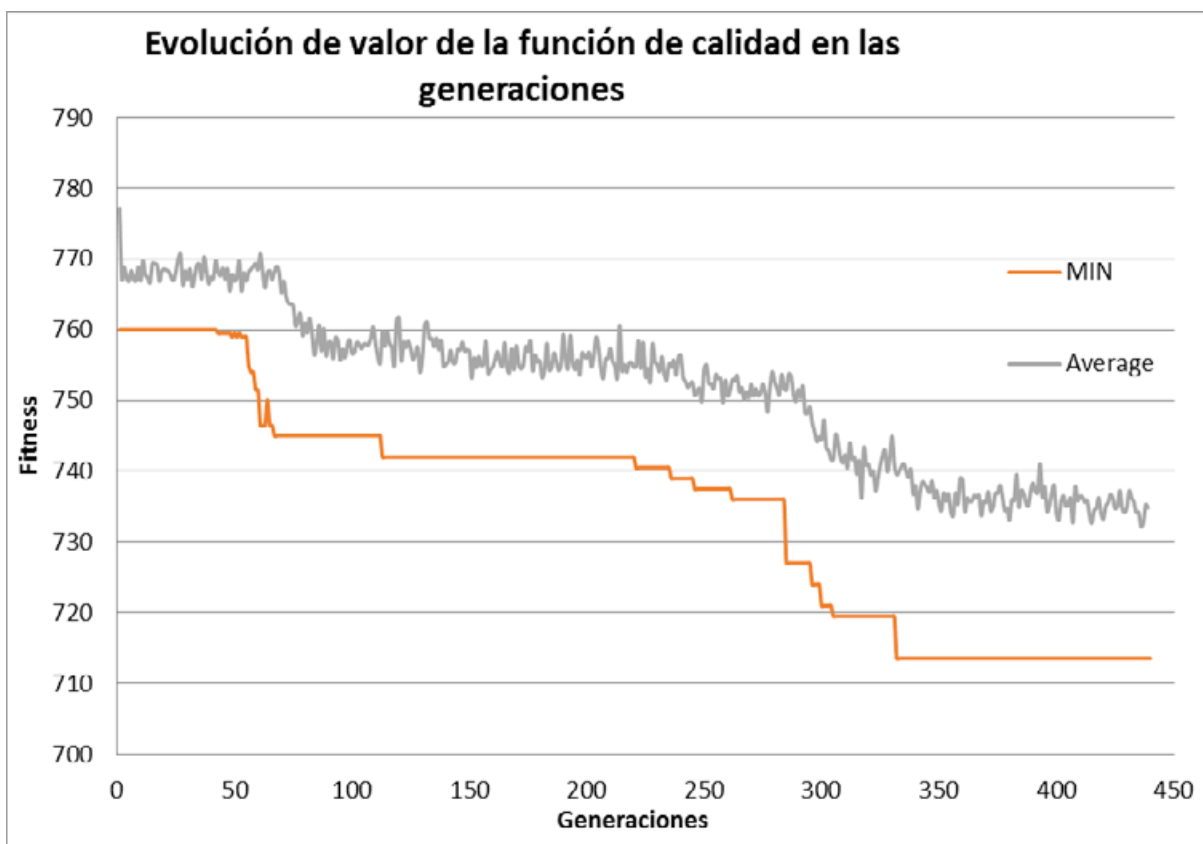
VERIFICACIÓN DE SOLUCIONES

En la plataforma de evolución, se genera automáticamente un grupo de estrategias aleatorias basadas en pequeñas instrucciones como adelante, giro izquierda, giro derecha, evaluar comida en casilla, giro 180º, repita, entre otras. Al encadenarse aleatoriamente estas directivas, se forman estrategias de movimiento para el robot que pueden ser adecuadas en mayor o menor grado para el problema en cuestión. La aptitud de cada una de ellas es evaluada y calificada. Luego, estas estrategias se combinan entre sí siguiendo normas dictadas por la evolución biológica para dar lugar a nuevas estrategias que serán a su vez evaluadas y calificadas. Este proceso se repite por un número finito de

generaciones o hasta que el mejor valor de aptitud de cualquier estrategia en un grupo no varíe por muchas generaciones de la evolución.

Una vez que se obtuvo un grupo de resultados aplicando el algoritmo de Inteligencia Artificial, se confirma que las soluciones obtenidas, efectivamente, igualan la calidad de los mecanismos de control en robots en competencias respecto a los controladores elaborados “a mano”, sin necesidad de introducir sesgos de diseño de carácter humano. En la siguiente gráfica puede verse que conforme avanza el proceso iterativo, mejora la calidad de las soluciones adoptadas (dada la definición del problema y por motivos de índole matemática, la definición de calidad es tal que cuanto menor valor presente, corresponde a una mejor solución).

Este proceso se verificó repetidamente en diferentes procesos de evolución, todos partiendo de una población inicial de estrategias generadas al azar por medio de combinación de instrucciones individuales.



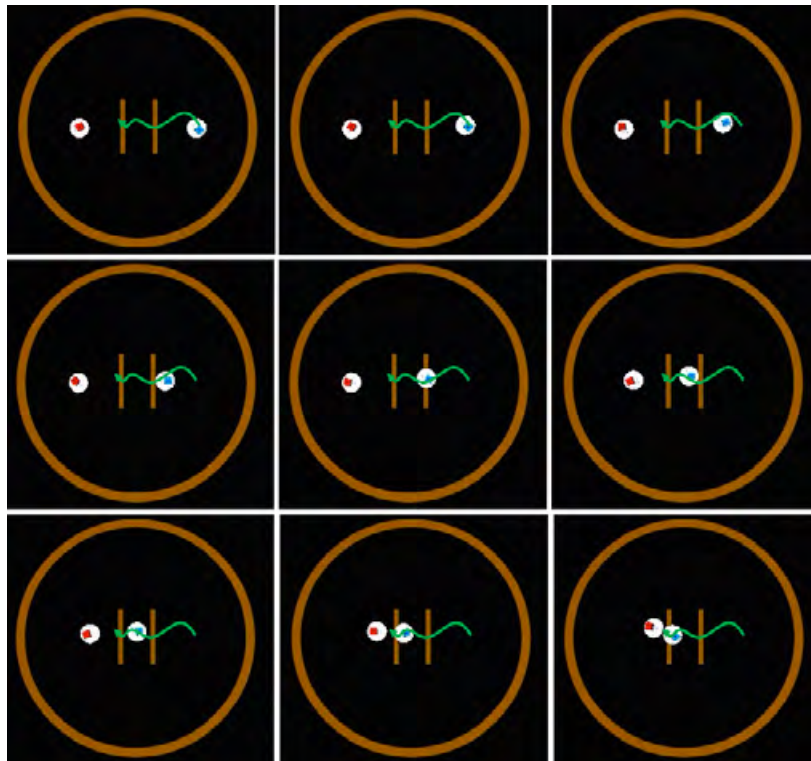
Arias, G. (2012). *Desarrollo evolutivo de estrategias competitivas en un ambiente variable no controlado aplicado al caso de lucha de Robot Sumo*. [Valor de la función de calidad según las generaciones – menor es mejor] Recuperado de <https://www.box.com/s/54ku39e93j50dxwv8ih0>

Posteriormente, cada uno de los movimientos incorporados en la mejor estrategia obtenida en el proceso de evolución, se incorpora en una segunda plataforma de simulación de resultados. En esta simulación, el robot que se programa seguirá los movimientos que ordene la estrategia seleccionada de la plataforma anterior. Este proceso permite conocer cómo se comportaría el robot real en

condiciones reales, sin tener que estar programando el robot cada vez que se desee probar una de las soluciones obtenidas.

Finalmente, se observa en la plataforma de simulación que los comportamientos obtenidos corresponden adecuadamente a estrategias no sólo aptas para la práctica de la competencia, sino que además logran comportamientos especialmente válidos y que, para el caso de una estrategia de control elaborada “a mano” sólo podrían haberse encontrado por puro azar (en el documento del proyecto de graduación puede encontrarse un análisis más profundo al respecto).

A modo de comparación, en otros trabajos de evolución de comportamientos, únicamente se obtienen como resultados algunas primitivas de movimiento: entre ellos asegurarse que el robot mantenga los sensores activos por más tiempo (Nelson, A. L., Barlow, G. J., & Doitsidis, L. 2009) o también según el trabajo de Liu, J. 1999 donde se logra la evolución de primitivas de tipo “empujar por golpes” o “avance en zigzag”. El conjunto de estas primitivas pueden comprender la formación de una estrategia válida para un robot de sumo.



Arias, G. (2012). *Desarrollo evolutivo de estrategias competitivas en un ambiente variable no controlado aplicado al caso de lucha de Robot Sumo*. [Movimiento de avance en ZigZag] Recuperado de <https://www.box.com/s/54ku39e93j50dxwv8ih0>

Se concluyó entonces que los procesos definidos en la metodología de la investigación y que fueron utilizados para llevar a cabo este proyecto permiten la generación automática de estrategias para la competencia de estos robots.

Mientras que con la configuración actual de los estudios en la carrera, los ingenieros aprenden fundamentalmente a implementar algoritmos diseñados por medio de paradigmas que tienden a

fomentar el sesgo en la toma de decisiones, por medio de esta investigación se pasa de una estrategia para un robot basada en un algoritmo creado por un programador externo, hacia una estrategia definida por un algoritmo que fue obtenido por medio de un mecanismo automático y diseñado por el investigador, utilizando un paradigma mucho más abierto.

Resultados y conclusiones

Para esta experiencia se propuso la realización de un trabajo de investigación que incorpore el estudio de métodos de Inteligencia Artificial, en el marco de un proyecto de graduación de la carrera de Ingeniería Electrónica con énfasis en Automatización y Control.

El objetivo fue que el candidato accediera a conocimientos y prácticas básicas relativas al proceso de investigación, como iniciación a una posible carrera en la investigación académica.

Como resultado de la aplicación disciplinada de un esquema de trabajo basado intensamente en la investigación bibliográfica de material que permitiera al autor interiorizar los conceptos necesarios para su proyecto, se han fomentado las bases del éxito de un trabajo final de graduación. Esta búsqueda bibliográfica fue sumamente exhaustiva y completa, abarcando material de diversos temas en tres idiomas con material reciente y enfocado en la punta de lanza de la tecnología en cuestión, superando así en calidad y número a las referencias habituales en un trabajo de graduación regular. Esto responde justamente a las habilidades que se desea desarrollar en el proyectando de frente a una posible carrera en el dominio de la investigación académica.

Desde un punto de vista técnico, el candidato adquirió no solamente el conocimiento necesario en aplicación de métodos de resolución de problemas por medio de algoritmos de Inteligencia Artificial, sino que también se afinaron conocimientos de programación en Java para la plataforma de evolución y en C# para la plataforma de simulación de resultados.

Además se ha inculcado en el participante un método ordenado de trabajo que puede volver a ser aplicado en nuevos proyectos de investigación. Se abre entonces así la posibilidad para que el participante pueda formar parte en el futuro de una variedad de este tipo de proyectos, así como el potencial desarrollo de una carrera en temas de investigación. Entre estas posibilidades se encuentra el continuar con la aplicación de este algoritmo de programación genética para resolver otro tipo de problemas, así como el seguir estudiando nuevos métodos de Inteligencia Artificial en instituciones internacionales.

Referencias

- Adams, B., Breazeal, C., Brooks, R. a, & Scassellati, B. (2000). Humanoid robots: a new kind of tool. IEEE Intelligent Systems, 15(4), 25-31. doi: 10.1109/5254.867909.
- Arias, G. (2012). Desarrollo evolutivo de estrategias competitivas en un ambiente variable no controlado aplicado al caso de lucha de Robot Sumo. Obtenido 14 Mayo 2013, de <https://www.box.com/s/54ku39e93j50dxwv8ih0>
- Colectivo Proyecto Estrategia Siglo XXI. (2006). Estrategia Siglo XXI: conocimiento e innovación hacia el 2050 en Costa Rica. Vol I, (506). Obtenido de <http://www.estrategia.cr/documentos/tomo1.pdf>
- Convocatoria de Fomento de la Cultura Científica y Tecnológica. (2004). Clasificación UNESCO de las áreas de Ciencia y Tecnología, 1–5. Obtenido de <http://www.vinv.ucr.ac.cr/docs/divulgacion-ciencia/documentos/clasificacion-de-las-ciencias-unesco.pdf>
- Escuela de Ingeniería Eléctrica (2013). Planes de estudio. Obtenido 13 Mayo 2013, de <http://eie.ucr.ac.cr/index.php/programas-de-estudio/bachillerato-y-licenciatura>
- Fogel, D. B. (2006). Foundations of evolutionary computation. Proceedings of SPIE, 622801-622801-13. Spie. doi: 10.1117/12.669679.
- Hussain, T. S. (1998). An introduction to evolutionary computation. 1998 CITO Researcher Retreat, 12–14. Citeseer. Obtenido 14 Abril 2011, de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.100.7804&rep=rep1&type=pdf>
- Instituto Tecnológico de Costa Rica. (2013). Planes de Estudio. Obtenido 13 Mayo 2013, de <http://www.tec.ac.cr/estudiantes/Paginas/PlanesEstudio.aspx>
- Koza, J. R. (1992). Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection. Springer (Vol. 229, p. 819). MIT Press. Obtenido de <http://books.google.com/books?id=Bhtxo60BV0EC&pgis=1>
- Liu, J. (1999). Learning coordinated maneuvers in complex environments: a sumo experiment. Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation-CEC99 (Cat. No. 99TH8406), 343-349. Ieee. doi: 10.1109/CEC.1999.781945.
- Mayer, N. M., & Asada, M. (2008). Robocup Humanoid Challenge. International Journal of Humanoid Robotics, 05(03), 335. Obtenido de <http://www.worldscinet.com/ijhr/05/0503/S0219843608001455.html>
- Moon, S., Lee, S.-geul, Park, K.-ho, & Div, C. (2010). RECENT PROGRESS OF ROBOTIC VOCABULARY STANDARDIZATION EFFORTS IN ISO. Computational Intelligence, 1, 266-268.
- Nelson, A. L., Barlow, G. J., & Doitsidis, L. (2009). Fitness functions in evolutionary robotics: A survey and analysis. Robotics and Autonomous Systems, 57(4), 345-370. Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.robot.2008.09.009.

- Russell, S., & Norvig, P. (2003). Artificial Intelligence: A Modern Approach. (S. Russel & P. Norvig, Eds.) International Dental Journal (Vol. 60, pp. 269-72). Prentice Hall. doi:10.1016/j.artmed.2011.04.006
- Siegel, M. (2001). Smart sensors and small robots. Instrumentation and Measurement Technology Conference 2001 IMTC 2001 Proceedings of the 18th IEEE, 1, 303-308. Obtenido de <http://ieeexplore.ieee.org/ielx5/7381/20066/00928830.pdf?tp=&arnumber=928830&isnumber=20066>
- Siegel, M. (2003). The sense-think-act paradigm revisited. 1st International Workshop on Robotic Sensing, 2003. ROSE' 03. (p. 5). IEEE. doi:10.1109/ROSE.2003.1218700
- UNAD. (2013). Plan de estudios - Ingeniería Electrónica. Obtenido 13 Mayo 2013, de <http://www.unad.edu.co/estudios/index.php/ingenieria-electronica/plan-de-estudios>
- Universidad de Guadalajara. (2013). Guía de carreras - Licenciatura en Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica. Obtenido 13 Mayo 2013, de <http://guiadecarreras.udg.mx/licenciatura-en-ingenieria-en-comunicaciones-y-electronica/>
- Universidad Interamericana. (2009). Sumo Robot. Obtenido 14 Mayo 2013, de <https://www.box.com/s/n1eh3mggegs4anbkzgib>
- Universidad de Valladolid. (2013). Planes de estudios. Obtenido 13 Mayo 13 2013, de http://www.uva.es/opencms/consultas/planesestudios/asignaturas?codigo_plan=452
- Universidad Latina (2013). Bachillerato en Ingeniería Electrónica y Comunicaciones y Licenciatura en Telecomunicaciones o Automatización. Obtenido 13 Mayo 2013, de <http://www.ulatina.ac.cr/carreras/ingenieria-carreras/electronica/bachillerato-y-licenciatura-en-ingenieria-electronica>
- Universidad Nacional. (2013). Ingeniería en Sistemas de Información. Heredia, Costa Rica. Obtenido 13 Mayo 2013, de http://www.una.ac.cr/index.php?option=com_remository&Itemid=0&func=startdown&id=110