

Robots inteligentes autónomos de nueva generación

Carolina Cebrecos del Castillo
Universidad Carlos III de Madrid
100029697@alumnos.uc3m.es

Abel Lozano Prieto
Universidad Carlos III de Madrid
100029726@alumnos.uc3m.es

Agustín Nieto Domínguez
Universidad Carlos III de Madrid
100029615@alumnos.uc3m.es

Resumen

En este documento vamos a mostrar los tipos de inteligencia de la robótica del futuro.

Palabras clave

Inteligencia Situada, comportamiento, Robótica Cognitiva, razonamiento, conducta, inteligencia artificial, híbrido, epigenética, robótica evolutiva, estrategia, red neuronal, aprendizaje, biorrobótica

1. Introducción

La robótica, como cualquier otra rama de la ciencia y la tecnología, ha ido creciendo y evolucionado con el tiempo. Lo que antes solía entenderse como un reemplazo para la mano de obra repetitiva, se ha convertido en un gran campo que incluye aplicaciones tan diversas como el montaje automatizado de todo tipo de productos, la exploración espacial, la telemedicina...

En la actualidad hay varios campos que componen la robótica avanzada. Todos ellos tocan ramas muy dispares de la ingeniería, tales como la mecánica, la informática, la eléctrica, la electrónica... y de la ciencia, tales como física, anatomía, psicología, zoología... El fundamento de todas estas investigaciones es la Ciencia Cognitiva Corporizada y la Nueva Inteligencia Artificial. La finalidad de todo esto es la creación de robots inteligentes y autónomos, capaces de razonar, comportarse, evolucionar y actuar como las personas.

2. Nuevos horizontes

2.1 Robótica situada

La previsibilidad y la estabilidad del entorno determinan en gran medida la complejidad de los robots que deben existir en él.

La Robótica Situada se ocupa de los robots que están insertos en entornos complejos y dinámicamente cambiantes.

Son robots sin mapas internos del mundo. Mediante el uso de arquitecturas basadas en capas de mecanismos de situación-acción que exploran alternativas al enfoque de descripciones almacenadas para modelar la inteligencia humana y la construcción de robots, a esta perspectiva se le denomina Robótica Situada. Una de las metas de la investigación de este enfoque es desarrollar una teoría de aprendizaje espacial sin categorías predefinidas dentro de la arquitectura del robot.

Se basa sobre dos ideas centrales, en las que se supone que los robots:

a) “están corporizados” (embodiment), su cuerpo físico es apto para experimentar el entorno de manera directa y sus acciones

tienen una realimentación inmediata sobre sus propias percepciones

b) “están situados” (situatedness), inmersos dentro de un entorno; interaccionan con el mundo, el cual influye –de forma directa– sobre su comportamiento.

Dependiendo de cómo sea de complejo el entorno del robot, así de complejo tendrá que ser su sistema de control: un ambiente dinámico y desafiante requerirá un control lo suficientemente complejo como para que pueda reaccionar de forma inteligente y rápida.

Existen tres tipos básicos de arquitectura de control, que dependen de las necesidades de la situación y de las características del entorno:

- Control reactivo: “no pienses, actúa”
- Control deliberativo: “primero piensa, y después actúa”
- Control híbrido: “piensa y actúa independientemente en paralelo”

Cada uno de estos tipos de control tiene sus fortalezas y sus debilidades y todos juegan importantes roles en ciertos problemas y aplicaciones.

Aspectos como representación, memoria y aprendizaje toman un enfoque diferente al tradicional:

- La memoria no es un lugar donde se almacenen las cosas, sino una construcción dinámica de coordinaciones previas. Las representaciones si no están almacenadas en el ambiente, son reconstruidas cada vez que se necesitan, así que deben ser percibidas para ser interpretadas.
- Las representaciones son creadas por una interacción de procesos neurales y externos. La percepción deja de contemplarse como un proceso que genera una representación simbólica para posteriormente guardarla en la memoria.
- El aprendizaje se da durante todo el tiempo, con cada acción, coordinación y movimiento, recompone todas las categorizaciones y secuencias de comportamientos previos.

2.2 Tipos de control en robótica situada

2.2.1 Control reactivo

Es una técnica que une fuertemente las entradas de los sensores con las salidas de los actuadores, de forma que el robot responda muy rápidamente a los cambios de su entorno.

Se puede observar que en la naturaleza la respuesta de los animales es mayormente reactiva.

Sus limitaciones son que el robot es incapaz de mantener la mayor cantidad de información, la forma interna de las representaciones del mundo o aprender a lo largo del tiempo. Se prima la rapidez de reacción frente a la complejidad de razonamiento.

La experiencia ha demostrado que para entornos que pueden ser caracterizados a priori, el control reactivo es un sistema muy eficiente, y si es debidamente estructurado, nos da un rendimiento óptimo en la solución de problemas.

En otros tipos de ambientes donde los modelos internos, la memoria y el aprendizaje son necesarios, el control reactivo puede llegar a no ser suficiente.

2.2.2 Control deliberativo

Usa la totalidad de la información sensorial disponible, y todos los conocimientos almacenados internamente, para decidir cómo actuar. El razonamiento es en forma de planificación, que es uno de los principales y más complejos componentes de la inteligencia artificial.

La planificación requiere la existencia de una representación interna del mundo, permite que el robot se adelante al tiempo futuro, es decir, prever los resultados de las posibles acciones en diversos estados, a fin de generar planes de actuación.

Los pasos son primero construir todos los posibles planes y luego evaluarlos para encontrar el que alcance el objetivo, resuelva el problema, o decida sobre una trayectoria para ejecutar, de la forma más eficaz posible.

Los modelos internos, por lo tanto, deben ser exactos y mantenerse actualizados. Cuando hay tiempo suficiente para generar un plan, y el modelo interno se corresponde con el externo, este enfoque permite al robot actuar de forma estratégica y seleccionar el mejor procedimiento de acción para una situación dada. Sin embargo, en un mundo tan dinámico y aleatorio, por lo general lo hace imposible. Por ello, pocos robots son puramente deliberativos.

2.2.3 Control híbrido

El control híbrido aúna las ventajas del control reactivo y del deliberativo: combinar la respuesta en tiempo real con la racionalidad y eficiencia de la deliberación.

El sistema de control contiene ambos componentes, y éstos tienen que interactuar de forma que produzcan respuestas coherentes.

Esto es algo difícil: el componente reactivo tiene que encargarse de las necesidades más inmediatas del robot (como por ejemplo evitar obstáculos), de forma que opera en una escala temporal muy pequeña y usa directamente los datos y señales sensoriales externos. Mientras, el componente deliberativo usa representaciones internas del entorno simbólicas y altamente abstractas, operando en una escala temporal mayor.

Mientras que las salidas de ambos componentes no entren en conflicto, el sistema no requerirá coordinación. Sin embargo, deben interactuar si es en beneficio mutuo. En caso contrario, el sistema reactivo debe sobreponerse al deliberativo si el entorno presenta algún desafío inesperado e inmediato y después el

deliberativo debe informar al reactivo para prepararlo para futuras metas similares.

Esta interactividad tiene que ser regulada por un componente intermedio, cuyo diseño es normalmente el más complicado y crítico en el control híbrido.

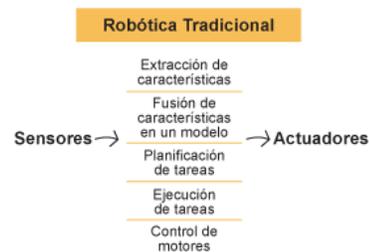
Por ello, estos tipos de control son normalmente denominados sistemas de tres capas (reactiva, intermedia y deliberativa). El secreto del correcto diseño de éstos no radica en sí mismos, si no en sus interacciones.

2.3 Robótica basada en el comportamiento de conducta

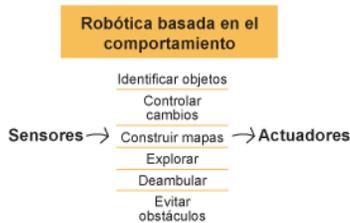
Se podría decir que es el cuarto tipo de arquitectura de control. Su lema es "*piensa según la forma en que actúes*".

En el campo de la robótica basada en el comportamiento, el estudio del comportamiento animal y sus mecanismos posibilitan rutas de trasvase al campo artificial a partir la abstracción de algunos de los principios organizativos biológicos más relevantes.

Los robots autónomos no podían surgir simplemente de la unión de la inteligencia artificial y la visión por ordenador, basados en la reconstrucción de modelos simbólicos y el razonamiento sobre modelos abstractos, ya que resultaban muy imprecisos en situaciones reales. Por lo tanto, se pasó a una personificación de la inteligencia artificial implementada en el robot a través del acoplamiento entre la percepción y la acción del robot en el entorno real en el que opera, mediante unos módulos de comportamiento (patrones de actividad observables que surgen de las interacciones entre el robot y su entorno).



Los robots basados en comportamiento son entidades físicas situadas en un entorno en el que los datos detectados por sus sensores actúan directamente en las respuestas de éste.



La inteligencia de este sistema surge de la interacción con su entorno debido a la vinculación entre su percepción y sus acciones.

Están basados en una arquitectura modular relativamente simple, que codifica diversas conductas para conseguir una determinada funcionalidad. Estas funciones pueden ser la de evitar obstáculos, caminar, levantarse, etc. Las funciones inteligentes del sistema, tales como percepción, planificación, modelado, aprendizaje, etc. emergen de la interacción entre los distintos módulos y el entorno físico en donde está inmerso el robot. El sistema de control, totalmente distribuido, se construye desde abajo y de manera incremental, capa por capa, a través de un proceso de ensayo y error, siendo cada capa responsable únicamente de una conducta básica. Se empieza por un conjunto de comportamientos de supervivencia tales como la evitación de obstáculos y según se va avanzando se van añadiendo más comportamientos para proporcionar capacidades más complejas, como por ejemplo seguir una pared, perseguir un objetivo, explorar un entorno, volver a un lugar de inicio... y así hasta que su interacción desemboca en la totalidad de las capacidades deseadas para el robot.

Los sistemas basados en la conducta son capaces de reaccionar en tiempo real, ya que calculan directamente las acciones a partir de las percepciones (a través de un conjunto de reglas de correspondencia situación-acción).

La percepción está exclusivamente orientada a la tarea que debe realizar el robot. De esta forma se puede realizar una implementación computacionalmente eficiente.

Las pautas básicas de la robótica basada en comportamiento son:

1. Principio de modularidad diferente
2. Desarrollo incremental de la inteligencia del sistema
3. Descomposición comportamiento en un conjunto de comportamientos simples
4. Cada comportamiento resolverá alguna tarea y podrá ser observado externamente
5. Un conjunto de comportamientos proporcionaran al robot un nivel de competencia (prestaciones globales) determinado.
6. En el caso de que se sumen nuevos comportamientos, el nivel de competencia aumentará automáticamente.

La diferencia con los sistemas híbridos es que, a pesar de que también tenga diseño en capas, éstas no difieren entre ellas en términos de escala temporal y de representación y se codifican en comportamientos: procesos que toman entradas y generan salidas entre ellos.

También presentan una mayor complejidad, debido a que el diseñador debe directamente tratar con la complejidad de la interacción entre los módulos en vez de minimizar estas interacciones como se hacía en los sistemas modulares tradicionales.

Estos sistemas comparten más propiedades con los sistemas puramente reactivos: ambos son creados de forma incremental y consisten en módulos distribuidos. La diferencia es que los basados en comportamiento son fundamentalmente más potentes, debido a que lo que hace actuar al robot es una estructura de comportamientos: si éste necesita trazar un plan, lo hace gracias a una red de comportamientos comunicados entre sí, en vez de una unidad centralizada para planear.

Sin embargo, según va madurando esta rama, están aumentando los expertos en sistemas complejos y los principales métodos de modularidad distribuida se están haciendo disponibles, junto a librerías de comportamientos. En los últimos años se están haciendo muchas investigaciones sobre robótica basada en comportamiento.

Aunque tal vez alcancen la inteligencia del insecto, probablemente los sistemas construidos a partir de este enfoque tengan habilidades limitadas, ya que no tienen representaciones internas.

Este tipo de robots presentan una gran dificultad para ejecutar tareas complejas y, en las más sencillas, no se garantiza la mejor solución, la óptima.

2.4 Robótica cognitiva

Cognición → Acto o proceso de conocimiento que engloba los procesos de atención, percepción, memoria, razonamiento, imaginación, toma de decisiones, pensamiento y lenguaje.

La Robótica Cognitiva y el campo de la Consciencia Artificial son dos campos que están muy relacionados entre sí. En realidad, no hay una funcionalidad de la consciencia que no esté enmarcada dentro del ámbito de la arquitectura cognitiva.

La Robótica Cognitiva se encarga de implementar robots capaces de percibir, razonar y actuar ante entornos dinámicos e imprevisibles. Para poder conseguir estas funciones, deben estar dotados de funciones cognitivas de alto nivel que les permitan razonar acerca de acciones a tomar ante determinadas situaciones, e interactuar con otros robots. De esta forma, se pretende que sean capaces de saber qué percibir, cuando, y así aprender de la experiencia.

El principal objetivo es la implementación de máquinas que sean capaces de "saber lo que hacen"; máquinas más robustas, adaptativas y flexibles. La interacción con humanos es una tarea de una complejidad extrema donde se requieren capacidades cognitivas. Un ejemplo de estas interacciones es el habla, cuya complejidad es elevada y de difícil procesamiento por los robots.

Es necesario que estén dotados de un modelo simbólico e interno de su entorno local, y deben tener la suficiente capacidad de razonamiento lógico para tomar decisiones y para realizar las tareas necesarias con el fin de alcanzar sus objetivos. En resumen,

la Robótica Cognitiva se ocupa de implementar características cognitivas en los robots, tales como percepción, formación de conceptos, atención, aprendizaje, memoria a corto y largo plazo, etc.

Tradicionalmente, la investigación en robótica se ha centrado en las tareas de control y procesamiento de los datos de determinados sensores, la planificación de caminos y el diseño de manipuladores. Sin embargo, la investigación en robótica cognitiva se centra en dotar a los robots y agentes software de funciones cognitivas superiores que les permitan razonar, actuar y percibir de forma robusta en entornos desconocidos y cambiantes. Se busca que los robots sean capaces, por ejemplo, de razonar acerca de objetivos, acciones, recursos, cuándo percibir y qué buscar, los estados cognitivos de otros agentes, el tiempo, la ejecución de tareas colaborativas, etc. En resumen, la robótica cognitiva se refiere a la integración del razonamiento, la percepción y la acción en un marco de implementación con uniformidad teórica.

2.4.1 Áreas de Aplicación

Las principales áreas de aplicación de los robots cognitivos son, como su nombre indica, aquellas en las que se requieren capacidades cognitivas. Dentro de estas áreas, la principal es la interacción con humanos. En general, cualquier actividad en entornos de la vida real (en contraposición a los entornos ideales de la robótica tradicional, controlados, como los de una fábrica).

2.4.2 Inspiración en sistemas cognitivos naturales

La investigación en los sistemas cognitivos naturales y la neurociencia es importante en el diseño de sistemas cognitivos artificiales. Muchos de los trabajos y avances de la robótica cognitiva están basados en descubrimientos de neurobiólogos y psicólogos cognitivos. Determinados aspectos de la memoria y de las interacciones neuronales, pueden ser imitados en los cerebros artificiales.

Sin embargo, algunos de los algoritmos clásicos usados en robótica no tienen en cuenta estos conceptos cognitivos. Esto es debido a que, en entornos controlados, los algoritmos clásicos funcionan mejor o suficientemente bien. La aplicación de modelos cognitivos en robótica es un campo relativamente joven, y por lo tanto, queda mucho por investigar en este sentido.

Existen diferentes enfoques en la aplicación de los modelos cognitivos humanos en máquinas artificiales. Por ejemplo, el proyecto "Ikaros", considera las áreas funcionales del cerebro y su interacción. El objetivo de este proyecto es desarrollar una infraestructura para el modelado de distintos niveles del sistema cognitivo.

2.4.3 La prueba del espejo

La pregunta que planteamos es: ¿Puede un robot pasar la prueba del espejo?

La prueba del espejo no está diseñada como una prueba general de consciencia, si no que es una prueba específica de auto-

consciencia, más exactamente de auto-reconocimiento. Se aplica generalmente a algunos mamíferos superiores y a bebés. La prueba consiste en determinar si un sujeto puede reconocer su propia imagen reflejada en un espejo. Hasta ahora sólo humanos (de más de 2 años de edad), grandes simios (bonobos, chimpancés, orangutanes y gorilas), monos rhesus, elefantes, delfines mular, ratas y pulpos, han conseguido pasar la prueba del espejo.

Takeo et al de la Universidad de Meiji, en Japón, creen que han superado la prueba del espejo con éxito al haber construido un sistema de reconocimiento de la propia imagen reflejada en un espejo. Estos autores definen cuatro pasos para sus experimentos, donde se han usado cuatro robots: el robot yo Rs, el robot otro Ro, el robot controlado Rc y el robot automático Ra. Los primeros dos robots están dotados con el sistema de reconocimiento de imágenes especulares. El tercer robot está controlado por el robot yo, mientras que el último se mueve automáticamente.

Los cuatro experimentos se describen a continuación:

- 1) El robot yo Rs imita la acción de su propia imagen reflejada en un espejo.
- 2) El robot yo Rs imita una acción realizada intencionadamente por el robot otro Ro como un comportamiento de imitación.
- 3) El robot controlado Rc se controla completamente desde el robot yo Rs para imitar su comportamiento.
- 4) El robot yo Rs imita las acciones aleatorias del robot automático Ra.

El robot es capaz de reconocer su propia imagen reflejada en el espejo sin confundirla con la imagen de otro robot con el mismo aspecto físico. El sistema de reconocimiento de imagen especular está basado en una red de neuronas artificiales.

El objetivo de este sistema es reconocer y diferenciar el comportamiento del propio robot del comportamiento de otro robot. Takeo también sugiere que la imitación es una prueba de consciencia ya que requiere el reconocimiento del comportamiento de otro sujeto y luego la aplicación de este comportamiento a uno mismo.

Los resultados indican que de alguna forma los robots pasan la prueba del espejo con una tasa del 70% de aciertos, pero aun así, la pregunta de si éstos son auto-conscientes o no, está abierta.

2.4.4 Algunos ejemplos de aplicaciones en robótica cognitiva

- Robots que actúan como humanos, como "Manfred" desarrollado por Robotics Labs de la Universidad Carlos III de Madrid. Es el desarrollo de un manipulador móvil antropomórfico de servicios avanzado. El objetivo a largo plazo es que el robot sea capaz de operar de forma robusta y segura para las personas que le rodean, en entornos de operación típicamente humanos.

- Robots de servicio, robots sociales y robots asistentes personales. Un ejemplo de estos robots es "Maggie" [1], desarrollado por Robotics Labs de la Universidad Carlos III de Madrid. El robot "Maggie" es un "humanoide" capaz de sentir cosquillas, de bailar, de dar las últimas informaciones de actualidad o de distinguir medicinas. El prototipo está dotado de cámaras de televisión y tecnología láser y mide 1,4 metros de altura. El robot tiene además una pantalla táctil desde la que se le pueden dar órdenes, y es capaz, a través de su conexión a Internet, de dar las últimas noticias, informar sobre el tiempo, o distinguir, mediante un lector de infrarrojos, los distintos medicamentos y su composición y uso.



[1] "Maggie"

- Robots que actúan como humanos, como "Manfred" desarrollado por Robotics Labs de la Universidad Carlos III de Madrid. Es el desarrollo de un manipulador móvil antropomórfico de servicios avanzado. El objetivo a largo plazo es que el robot sea capaz de operar de forma robusta y segura para las personas que le rodean, en entornos de operación típicamente humanos.

- Robots autónomos de exploración espacial, robots asistentes para montaje y reparación orbital, como "Robonaut" [2], desarrollado por la NASA. Se trata de un robot que incorpora manos similares a las humanas y dos cámaras de televisión que hacen las veces de ojos, y que ahora cuenta con la opción de moverse por la Tierra sobre una motoneta de dos ruedas, o de aferrarse a la ISS (Estación Espacial Internacional) con lo que los científicos han denominado "pierna espacial".



[2] "Robonaut"

- Jugadores de la Robocup [3]. RoboCup es un proyecto internacional para promover, a través de competiciones integradas por robots autónomos, la investigación y educación sobre inteligencia artificial.



[3] Jugadores de la Robocup 2007

- Robots asistentes para personas con discapacidad, como "Asibot" desarrollado por Robotics Labs de la Universidad Carlos III de Madrid. Este robot presenta un concepto innovador de robots asistenciales. El robot es capaz de adaptarse a diferentes entornos de la casa e inclusive desplazarse por la estructura de la misma. El robot, por ejemplo, puede moverse por las paredes de una habitación, sobre el lavabo, estar anclado a la silla de ruedas y moverse con ella, etc. Permite realizar una gran diversidad de tareas domésticas, tales como dar de comer, traer las gafas, afeitarse, maquillarse, lavarse los dientes, etc.



[4] "BEAR"

- Robots autónomos de rescate y emergencias, como "BEAR" [4], desarrollado por Vecna Robotics. Está diseñado para recoger o rescatar gente herida. "BEAR" puede levantar grandes pesos (hasta 135Kg) y cargar con ellos largas distancias. El objetivo principal es el rescate de humanos en zonas de difícil acceso. No es un robot autónomo, es controlado de forma remota por un operario humano.

2.5 Robótica de desarrollo o epigenética

Epigenética → Doctrina según la cual los rasgos que caracterizan a un ser vivo se configuran en el curso del desarrollo.

La robótica epigenética tiene como objetivo comprender sistemas biológicos a través de la integración entre la neurociencia y la psicología.

Se trata de implementar sistemas de control, a través de un proceso de desarrollo autónomo. Esto quiere decir que, a través de la interacción con su entorno, el robot es capaz de desarrollar diferentes capacidades cognitivas, así como ampliar su capacidad de percepción y adecuar su comportamiento.

En éste área de investigación se integran la neurociencia del desarrollo, la psicología del desarrollo y la robótica situada. En un principio se dotará al sistema de un pequeño conjunto de conductas o conocimientos innatos, pero, gracias a la experiencia adquirida, es capaz de realizar acciones más complejas. En resumen, se trata de que la máquina desarrolle autónomamente las habilidades adecuadas para un determinado entorno siendo capaz de adecuar su comportamiento a las necesidades del medio.

Un ejemplo de estos robots es "Babybot". "Babybot" es un bebé humanoide construido en el LIRA-Lab. Tiene 18 grados de libertad distribuidos en la cabeza, brazo, torso y mano. Babybot es un ejemplo de la aproximación de diseño/construcción basada

en el desarrollo infantil humano, también llamada epigenética. El objetivo es que, mediante el uso de representaciones y algoritmos mínimos, el robot pueda aprender y desarrollar por sí mismo sus propias habilidades, especialmente con la ayuda de profesores/cuidadores humanos.

La diferencia entre la robótica de desarrollo y la robótica epigenética –a veces agrupadas bajo la denominación de “robótica ontogenética” (ontogenetic robotics) – es que la primera hace referencia únicamente al entorno físico, mientras que la segunda tiene en cuenta también al entorno social.

El término epigenético (más allá de lo genético) fue introducido – en la psicología por el psicólogo suizo Jean Piaget para designar su nuevo campo de estudio que enfatiza la interacción sensomotriz de la persona con el entorno físico, en lugar de tener en cuenta solamente a los genes. Por otra parte, el psicólogo ruso Lev Vygotsky complementó esta idea con la importancia de la interacción social.

2.6 Robótica Evolutiva (Evolutionary Robotics)

Basándose en los conocimientos obtenidos de las Ciencias Naturales (biología y etología) y de la Vida Artificial (redes neuronales, técnicas evolutivas y sistemas dinámicos) sobre robots reales, este acercamiento trata de que estos robots desarrollen sus propias habilidades en interacción íntima con el entorno y sin la intervención humana. Esto implica desarrollar métodos automáticos para crear controladores de robots inteligentes autónomos, y hacerlo de forma que no requiera programación directa por parte de los humanos.

Dado que el entorno en el cual estará inmerso el robot es dinámico y en ocasiones evoluciona mediante cambios caóticos es difícil que pueda adaptarse si está realizado mediante un diseño fijo. Es en este punto donde entra la robótica evolutiva, ya que puede proporcionar una adecuada solución a este problema mediante máquinas que puedan adquirir automáticamente nuevos comportamientos dependiendo de las situaciones dinámicas que se presentan en el entorno donde está situada.

La primera ventaja que presentan estos métodos de diseño es que puedan ser usados un día para producir controladores o incluso robots enteros que sean capaces de funcionar en entornos que los humanos no comprendan del todo bien.

Todo esto se conseguirá utilizando técnicas evolutivas, llamadas en su conjunto *computación evolutiva*. La computación evolutiva nace en el año 1993 y retoma conceptos de la evolución y la genética para resolver principalmente problemas de optimización. Esta rama de la inteligencia artificial tiene sus raíces en tres desarrollos relacionados pero independientes entre sí:

- Algoritmos genéticos.
- Programación evolutiva.

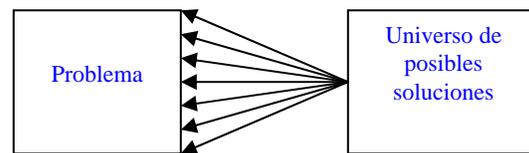
- Estrategia evolutiva.

A través de la utilización de estas técnicas se puede decidir evolucionar el sistema de control o algunas características del cuerpo del robot, tales como su morfología, sensores o actuadores, o bien co-evolucionar ambas.

¿En qué se basan estas técnicas evolutivas? A continuación se comparan con las técnicas tradicionales.

2.6.1 Sistemas de programación tradicionales.

Se tiene el siguiente escenario:



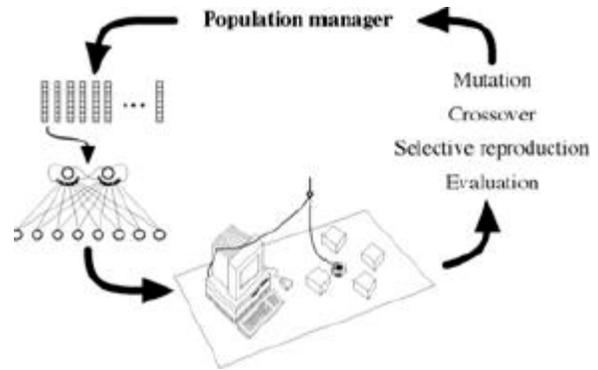
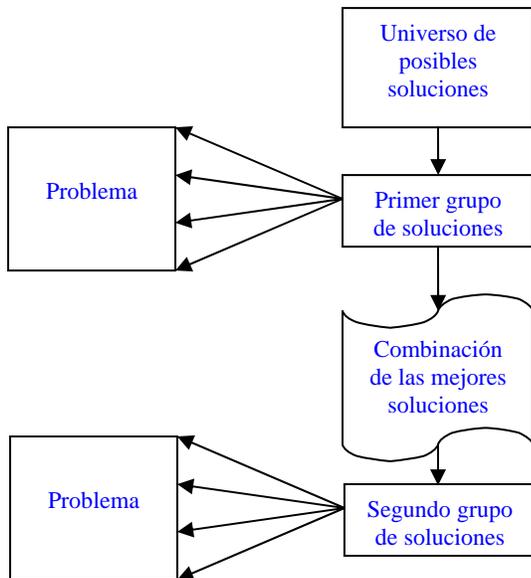
Los sistemas de programación tradicionales se basan en probar exhaustivamente con *todas las posibles soluciones* y escoger la más adecuada.

2.6.2 Algoritmos genéticos.

Los algoritmos genéticos fueron desarrollados por John H. Holland en la década de los 60 y su motivación inicial fue la de proponer un modelo general de proceso adaptable.

Se llaman así porque se inspiran en la evolución biológica y en su base genético-molecular. Estos algoritmos hacen evolucionar a una población inicial de individuos someténdola a acciones aleatorias semejantes a las que actúan en la evolución biológica, tales como mutaciones y recombinaciones genéticas, así como también a una selección de acuerdo con algún criterio, en función del cual se decide cuáles son los individuos mejor adaptados, que sobreviven y cuáles los menos aptos, que son descartados.

Los algoritmos genéticos basan su funcionamiento en hacer pruebas siguiendo una serie de pasos organizados e interrumpir el proceso cuando una *solución aceptable* para el problema propuesto es producida. El escenario de trabajo es el siguiente:



Un factor clave para el correcto funcionamiento de estos algoritmos es la elección de la función de evaluación, ya que el algoritmo toma todas sus decisiones en base a la función que hayamos elegido. Ésta debe reflejar qué características queremos que tenga nuestra población para que nuestro algoritmo sea capaz de distinguir cuáles son los mejores individuos. Hay pocas indicaciones sobre cómo elegirla, ya que depende por completo del problema a tratar, en Inteligencia Artificial se utilizarán funciones que dependan del entorno, para que de esta forma el sistema pueda adaptarse.

En líneas generales, todo algoritmo genético sigue los siguientes pasos:

1. Inicializar aleatoriamente una población de soluciones a un problema, representadas por una estructura de datos adecuada. En caso de no hacerlo aleatoriamente, es importante garantizar que dentro de la población inicial se tenga la diversidad estructural de estas soluciones para tener una representación de la mayor parte de la población posible o al menos evitar la convergencia prematura.
2. Evaluar cada una de las soluciones, y asignarle una puntuación o fitness según lo bien que lo hayan hecho.
3. Escoger de la población la parte que tenga una puntuación mayor.
4. Mutar (cambiar) y entrecruzar (combinar) las diferentes soluciones de esa parte escogida, para obtener descendencia y reconstruir la población.
5. Repetir hasta que se haya encontrado la solución deseada. Generalmente esta solución se desconoce, por lo que deben usarse otros criterios de detención: correr el algoritmo un número máximo de iteraciones (generaciones) o detenerlo cuando no haya cambios en la población.

El otro factor clave es elegir a los supervivientes. En este punto habrá que llegar a un compromiso entre velocidad de convergencia del algoritmo y grado de exploración del espacio de soluciones. Si lo que se necesita es una solución rápida, se puede elegir directamente a los mejores individuos, de esta forma el algoritmo converge antes pero la exploración es menos exhaustiva. Una opción para efectuar una exploración más amplia es realizar 'torneos' entre la población, es decir, se crean grupos de individuos aleatoriamente y se hacen competir de forma que sobrevivan los mejores. La diferencia radica en que cualquier solución puede sobrevivir si tiene la suerte de que sus contrincantes sean peores, de esta forma se favorece la diversidad genética. Se puede optar por decidir dinámicamente lo que se quiere, de manera que al principio se fomente la variedad genética y se favorezca la convergencia en la fase final.

Este tipo de algoritmos son métodos de búsqueda dirigida basada en probabilidad. Partiendo de una condición muy débil, como es suponer que el algoritmo guarde siempre al mejor elemento de la población sin hacerle ningún cambio, se puede demostrar que el algoritmo converge en probabilidad al óptimo. Dicho de otra manera, al aumentar el número de iteraciones, la probabilidad de tener el óptimo en la población tiende a 1.

2.6.3 Programación evolutiva

La programación evolutiva fue creada en la década de los 60 por L. J. Fogel. Este desarrollo comenzó como un esfuerzo

encaminado a crear inteligencia artificial basado en la evolución de máquinas de estado finitas.

Es una rama de la computación evolutiva. La programación evolutiva es prácticamente una variación de los algoritmos genéticos, donde lo que cambia es la representación de los individuos. En este caso, los individuos son tripletas (ternas) cuyos valores representan estados de un autómata finito.

Cada terna está formada por:

- Estado actual
- Cadena reconocida
- Nuevo estado.

Estos valores se utilizan, como en un autómata finito, de la siguiente manera: cada terna es una regla que especifica las condiciones (cadena reconocida) que se deben cumplir para llegar a un estado (nuevo estado) suponiendo que la máquina se encuentra en un cierto estado (estado origen).

Esta regla puede interpretarse de dos formas:

- ESTADO + SUCESO → NUEVO ESTADO: Esta regla tiene forma imperativa, y puede resumirse como 'Si estoy realizando esta acción y veo esta información, debo obligatoriamente cambiar a realizar esta otra acción', es decir, si el autómata se encuentra en determinado estado y ocurre cierto suceso, el autómata pasa a un nuevo estado. La cadena reconocida corresponde con los sensores del autómata y los estados corresponden con los actuadores. Este planteamiento es similar a una red neuronal y es el más sencillo de programar, pero hace difícil encontrar la explicación al motivo por el cual el autómata realiza cierta acción.
- ESTADO + ACCIÓN → NUEVO ESTADO: Esta regla tiene forma declarativa y puede resumirse como 'Si veo esta información y realizo esta acción, estimo que como consecuencia de mi acción la próxima información será esta otra'. En este caso los estados corresponden con la cadena reconocida y se está suponiendo que las acciones del autómata pueden modificar los futuros valores de la cadena reconocida. Este planteamiento tiene grandes similitudes con un sistema experto, requiere fijar un objetivo al autómata que consistirá en el estado ideal que el autómata debe observar, y permite explicar el porqué el autómata realiza una acción.

2.6.4 Estrategia evolutiva

Las estrategias evolutivas fueron propuestas por I. Rechenberg y Hans-Paul Schwefel en la década de los 70. Su principal objetivo era el de resolver problemas de optimización de parámetros. Con el paso del tiempo fueron incorporando procedimientos propios de

la computación evolutiva, con lo que han llegado a convertirse en una disciplina más.

En las estrategias evolutivas simples la población está compuesta por un solo individuo y sólo se usa el operador de mutación. Así se procede a la mutación del individuo y sustituirá al anterior si es más apto que su progenitor, en caso contrario permanece el individuo anterior.

Actualmente, una estrategia evolutiva se puede considerar como un tipo de algoritmo genético y viceversa.

En robótica evolutiva, los robots funcionan con los programas de control creados y configurados siguiendo las estrategias anteriores. Estos controladores aparecen de diversas formas, tales como redes neuronales, estructuras de programación genéticas, controladores de lógica difusa e incluso simples tablas de búsqueda de parámetros que relacionan entradas de los sensores con salidas de los motores. A continuación se explicará detalladamente el concepto de red neuronal, ya que son, de lejos, el tipo de controladores más común usado en robótica evolutiva.

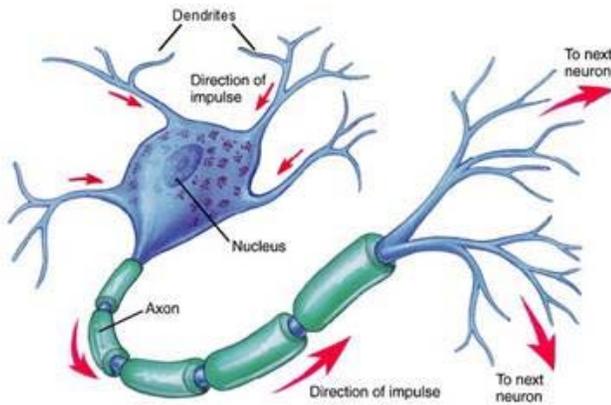
2.6.5 Redes neuronales.

Son sistemas que intentan simular el cerebro humano a nivel de neurona.

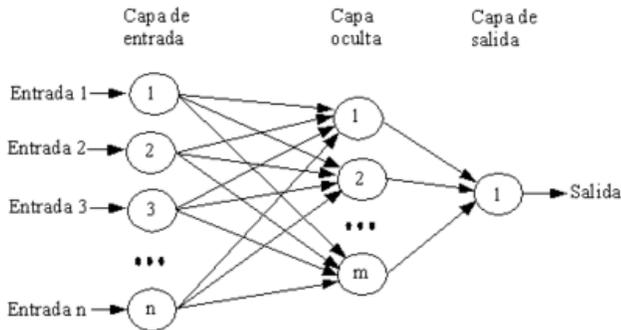
El cerebro humano presenta tres características básicas:

- El conocimiento está distribuido en un gran número de neuronas en el cerebro.
- Las neuronas se comunican unas con otras.
- El cerebro es adaptable, es decir, puede aprender.

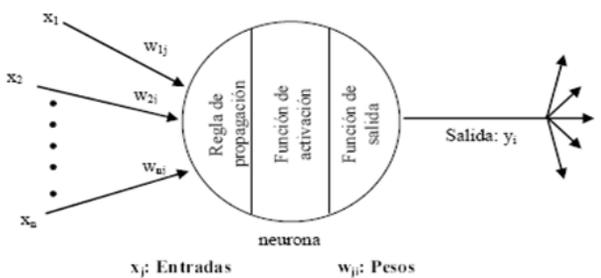
Todas las neuronas tienen una estructura similar, presentan unas conexiones de entrada llamadas dendritas y una conexión de salida llamada axón, como muestra la figura:



El axón es el encargado de enviar impulsos o señales a otras células nerviosas. Debido a estas características que presenta el cerebro humano, se puede pensar en él como una red de elementos muy sencillos que trabajan en paralelo, existiendo una interconexión masiva entre ellos y diferentes grados de "fuerza" de conexión entre unos y otros. La salida de la red se puede calcular según una fórmula conocida, determinada por el método elegido y extremadamente larga, pero relativamente fácil de implementar por programa. Ese será precisamente el esquema que seguirán las redes neuronales artificiales (RNA):



Cada nodo de esta red será el equivalente a una neurona en el cerebro y tendrá el siguiente esquema



Las x_i harán el papel de las dendritas y la y_i será el axón, encargado de transmitir la salida a los siguientes nodos. Esta salida se calcula en base a tres funciones:

- Una *regla de propagación*, que por lo general consiste en el sumatorio de cada entrada multiplicada por el peso de su interconexión. Si el peso es positivo, la conexión se denomina excitatoria; si es negativo, se denomina inhibitoria.
- Una *función de activación*, que modifica a la anterior. Puede no existir, siendo en este caso la salida la misma regla de propagación.
- Una *función de salida*, que se aplica al valor devuelto por la función de activación. Se utiliza para acotar la salida de la neurona y generalmente viene dada por la interpretación que queramos darle a dichas salidas. Algunas de las más utilizadas son la sigmoide (para obtener valores en el intervalo $[0,1]$) y la tangente hiperbólica (para obtener valores en el intervalo $[-1,1]$).

La estructura de red neuronal más sencilla es el perceptrón multicapa. Al igual que el sistema de neuronas de biológico está compuesto por neuronas de entrada (censores) conectados a una compleja red de neuronas 'calculadoras' (neuronas ocultas), las cuales a su vez están conectadas a las neuronas de salida que controlan, por ejemplo, los músculos, un perceptrón multicapa sigue una organización en capas:

- Capa de entrada.
- Capa(s) oculta(s).
- Capa de salida.

Las neuronas de un perceptrón multicapa deben seguir un proceso de entrenamiento para ser capaz de aprender mediante la reorganización de las conexiones, mediante un ajuste de pesos, entre las neuronas que lo componen. En el caso que nos ocupa, el entrenamiento se basa en el algoritmo de retropropagación.

La mayoría de los científicos coinciden en que una RNA es muy diferente en términos de estructura de un cerebro animal. Al igual que el cerebro, una RNA se compone de un conjunto masivamente paralelo de unidades de proceso muy simples y es en las conexiones entre estas unidades donde reside la inteligencia de la red. Sin embargo, en términos de escala, un cerebro es muchísimo mayor que cualquier RNA creada hasta la actualidad, y las neuronas artificiales también son más simples que su contrapartida animal.

A pesar de lo anterior, por el hecho de estar basadas en el cerebro humano, son muy usadas puesto que presentan grandes ventajas:

- *Aprendizaje*: Las RNA tienen la habilidad de aprender mediante una etapa que se llama etapa de aprendizaje. Esta consiste en proporcionar a la RNA datos como entrada a su vez que se le indica cuál es la salida (respuesta) esperada.
- *Auto organización*: Una RNA crea su propia representación de la información en su interior, descargando al usuario de esto.
- *Tolerancia a fallos*: Debido a que una RNA almacena la información de forma redundante, ésta puede seguir

respondiendo aceptablemente aún si se daña parcialmente.

- *Flexibilidad:* Una RNA puede manejar cambios no importantes en la información de entrada, como señales con ruido u otros cambios en la entrada (ej. si la información de entrada es la imagen de un objeto, la respuesta correspondiente no sufre cambios si la imagen cambia un poco su brillo o el objeto cambia ligeramente)
- *Tiempo real:* La estructura de una RNA es paralela, por lo cuál si esto es implementado con computadoras o en dispositivos electrónicos especiales, se pueden obtener respuestas en tiempo real.

Una vez vistos los métodos para construir robots con control evolutivo, unas últimas reflexiones sobre el estado actual en el que se encuentran.

Se puede decidir evolucionar físicamente el hardware (los circuitos electrónicos) o el software (los programas o las reglas de control). No obstante, poco hay hecho sobre hardware evolutivo y, normalmente, lo que se hace es evolucionar primero el controlador en una simulación por computadora y, sólo después, se lo transfiere a los robots reales. El controlador del robot consistirá típicamente en redes neuronales artificiales, y la evolución consiste en modificar los pesos de las conexiones de dicha red, como ya se ha dicho con anterioridad.

En la actualidad, el principal inconveniente del control evolutivo es su lenta velocidad de convergencia y la considerable cantidad de tiempo que tiene que pasar para llevar a cabo el proceso evolutivo sobre un robot real. Asimismo, no es apropiado para resolver problemas de creciente complejidad.

2.7 Robótica Biomimética, Biorrobótica o Robótica Inspirada Biológicamente

Esta aproximación se ocupa de diseñar robots que funcionan como los sistemas biológicos, de ahí que se basen sobre las Ciencias Naturales (biología, zoología y etología) y la robótica. Dado que los sistemas biológicos realizan muchas tareas de procesamiento complejas con máxima eficiencia, constituyen una buena referencia para implementar sistemas artificiales que ejecuten tareas que los seres vivos realizan de forma natural (interpretación de la información sensorial, aprendizaje de movimientos, coordinación motora, etc.). Aunque es posible obtener diferentes grados de “inspiración biológica” (desde una vaga semejanza hasta una aceptable réplica), el objetivo último es realizar máquinas y sistemas cada vez más similares al original.

La ventaja de construir bio-robots es que, como es posible estudiar todos sus procesos internos, se los puede contrastar con los diferentes órganos del animal del cual se inspira. En la actualidad, los científicos desarrollan langostas, moscas, perros, peces, serpientes y cucarachas robóticas, con el fin de emular –en mayor o mayor medida – la conducta robusta, flexible y adaptable de los animales. No obstante, pocas máquinas se parecen a sus homólogos naturales.

Dentro de estas investigaciones que se orientan a la creación de robots que sean más parecidos a animales, las nuevas están dirigidas en lo concerniente a su flexibilidad. Esto los haría más útiles en áreas que van desde la medicina a la exploración espacial.



Robot tradicional VS Robot flexible

Los bordes afilados no constituyen ningún problema en las estructuras de un robot dedicado, por ejemplo, a la fabricación de automóviles. Sin embargo, en otros entornos, dichas aristas son inaceptables. Muchas máquinas incorporan materiales flexibles en sus juntas, y son muy rápidos, fuertes y robustos, pero no existe una tecnología actual que pueda alcanzar el rendimiento de un animal moviéndose en la naturaleza. Una de las principales diferencias entre robots y animales es justamente el material del que están hechos.

Un posible ejemplo sería una pala mecánica acoplada a un tractor oruga, empleada para tareas de desmonte y de nivelación de terrenos pero construida con materiales flexibles: tendría la posibilidad de doblarse y arrugarse, de manera que podría pasar por lugares más estrechos, o girar de formas que a una máquina rígida le resultan imposibles.

El problema radica en que es bastante complicado crear un software eficiente que pueda sacar partido de estas características. Esta es la razón por que los robots se mueven como lo hacen y no como seres vivos.

Aplicando las técnicas que estos científicos están desarrollando, los robots serían capaces de escalar superficies texturadas, deslizarse colgados de un cable, o reptar en espacios estrechos. Los robots dotados de cuerpos flexibles podrían efectuar trabajos peligrosos de una manera más segura y eficiente. Sería viable, por ejemplo, su empleo en el espacio para acceder a sitios de las estaciones espaciales que son inaccesibles para los astronautas. También es posible utilizarlos en sitios altamente peligrosos, como reactores nucleares o en la detección de minas terrestres.

Algunos ejemplos:

1. *Robot calamar:* Investigadores de Osaka la Universidad en Japón han diseñado un Robot Calamar que usa la biomimética para propulsarse por el agua de la misma manera que muchas especies de calamar lo hacen en el mar. Este robot, por su diseño plano y liso puede entrar en espacios estrechos a los que un submarino de volumen normal tendría serias dificultades.



2. Un robot subacuático está ayudando a los científicos a entender por qué los animales de cuatro aletas como pingüinos, tortugas de mar y focas, sólo usan dos de sus extremidades para la propulsión, mientras que sus antepasados extinguidos hace ya mucho tiempo parecen haber usado las cuatro.



3. Un grupo de investigadores europeos ha desarrollado un modelo de la médula espinal de la salamandra y lo ha puesto en ejecución en un nuevo robot anfibio parecido a este animal. El robot cambia su velocidad y tipo de marcha en respuesta a señales eléctricas simples, sugiriendo ello que el sistema distribuido neural en la médula espinal es la clave para llevar a cabo las complejas capacidades locomotoras de los vertebrados



4. No todos estos robots tienen por qué estar basados en animales. Un grupo de científicos japoneses de la Universidad de Osaka han desarrollado un niño-robot con cuerpo biomimético con el fin de comprender el desarrollo infantil.

Esto son solo algunos ejemplos de este tipo de robots. De todas maneras, replicar la biología no es fácil y podría pasar bastante tiempo antes de que se puedan fabricar robots biomiméticos que resulten verdaderamente útiles. Otro problema –quizás el principal – es que, aunque se conoce muy bien los diferentes procesos de muchos de estos seres vivos, hay una diferencia abismal con sus equivalentes humanos. En efecto, el modo en el que percibe y actúa el hombre es extremadamente más complejo que como lo hace una langosta, por dar un ejemplo.

3. REFERENCES

Tendencias 21, revista de ciencia, tecnología, sociedad y cultura

<http://www.conscious-robots.com>

<http://robotica.es>

<http://roboticslab.uc3m.es/roboticslab/>

<http://www.robocup.org>

<http://www.conscious-robots.com/en/reviews/robots/bear-battlefield-extraction-assist-robot.html>

Situated Robotics, Maja J Mataric, University of Southern California <http://robotics.usc.edu/~maja/publications/sit-rob.pdf>