



Revista Facultad de Ingeniería
ISSN: 0717-1072
facing@uta.cl
Universidad de Tarapacá
Chile

Atkinson Abutridy, John A.
Diseño de Agentes Autónomos Utilizando un Enfoque de Control Basado en Conductas
Revista Facultad de Ingeniería, núm. 5, enero-diciembre, 1998, pp. 45-54
Universidad de Tarapacá
Arica, Chile

Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11400507>

- How to cite
- Complete issue
- More information about this article
- Journal's homepage in redalyc.org

redalyc.org

Scientific Information System
Network of Scientific Journals from Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal
Non-profit academic project, developed under the open access initiative

DISEÑO DE AGENTES AUTÓNOMOS UTILIZANDO UN ENFOQUE DE CONTROL BASADO EN CONDUCTAS¹

John Atkinson A.²

RESUMEN

Este trabajo presenta los principios y aspectos fundamentales que han surgido de un nuevo paradigma de inteligencia artificial basado en el comportamiento y los aspectos básicos de sus nuevas teorías, modelos y arquitecturas que se han integrado para el diseño de sistemas inteligentes. Además de describen estudios que se han realizado y algunos desarrollos realizados por el autor, junto con sus perspectivas y proyecciones actuales de este nuevo enfoque de diseño de sistemas de control.

ABSTRACT

At this paper we present the fundamentals and main principles provided by a new working paradigm called Behavior-based Artificial Intelligence and the basic issues related to its theory, models and architectures used in an integrated way for designing intelligent systems. In addition, some research carried out is overviewed and some developments done by the author are described. The perspectives and current trends of this approach for designing control systems are discussed too.

INTRODUCCION

La inteligencia artificial tradicional ha intentado construir sistemas inteligentes desde una perspectiva top-down bajo los conceptos de *pensamiento* y *razonamiento*, por lo cual el área ha adoptado una cierta forma de operar que incluye un número de convenciones acerca de como se deben manejar las entradas y salidas del pensamiento/razonamiento (representación de conocimientos) y las tareas que estos mecanismos son capaces de realizar (ej. planificación, resolución de problemas, etc) [18,19].

Recientemente ha surgido un gran desplazamiento hacia una forma de estudiar la inteligencia desde una perspectiva bottom-up [18]. Esto se debe a que, desde el punto de vista evolutivo la inteligencia no surge directamente sino que es un proceso que toma unidades básicas que se van adaptando a través del tiempo y coordinando de tal forma, que utilizando mecanismos de emergencia forman sistemas más complejos [9,10]. Dicho enfoque se concentra en estudiar el comportamiento inteligente en sistemas físicos (ej. robots móviles) situados en el mundo real y que llevan a cabo un cierto número de tareas en forma

autónoma. Este tipo de trabajos está basado tanto en la Ingeniería como en aspectos biológicos, que nos permiten conocer como los sistemas naturales trabajan y se comportan de manera tal que muestran inteligencia [11,18].

De acuerdo a lo anterior, ésta perspectiva para organizar y concebir sistemas inteligentes, se preocupa más de mostrar un comportamiento inteligente en la realización de tareas, que en forzar la representación de los aspectos relativos al razonamiento y planificación tradicional, los cuales asumen características muy particulares del sistema y de su medio ambiente [8,15,16].

A principios de los años 80, un gran número de investigadores y centros de investigación a través del mundo se preocuparon de cómo bajo este enfoque podría organizarse la inteligencia. A pesar de la diversidad de opiniones, fue común el hecho de que había un requerimiento: los sistemas inteligentes deben ser reactivos a los aspectos dinámicos del ambiente, es decir, que un robot pueda operar en escalas de tiempo similares a las de animales y humanos, que su inteligencia sea capaz de generar conductas robustas en

¹ Este trabajo se realiza gracias al financiamiento de la Dirección de Investigación de la U. de Concepción, Proyecto DI N° 98093002-1.

² Profesor Asistente del Departamento de Ingeniería Informática de la Universidad de Concepción. atkinson@inf.udec.cl

ambientes impredecibles y cambiantes, y que la información de los sensores sea incierta [8,9,11,18].

Tomando esta perspectiva, algunos de los aspectos y conclusiones claves que el presente trabajo desarrolla en cuanto a la organización de la inteligencia son los siguientes:

- Mucho de lo que la gente hace en su vida diaria no es resolver problemas ni planificar, sino más bien, realizar actividades rutinarias en un medio ambiente dinámico.
- Un observador puede hablar legítimamente sobre los objetivos y creencias de un agente (sistema reactivo) incluso sin necesidad de que este agente manipule estructuras de datos simbólicas en el momento de su operación.
- Para probar las ideas de la inteligencia, es importante construir agentes que operen en ambientes dinámicos usando sensores reales. Los modelos internos del ambiente, además de ser difíciles de obtener, no son completamente necesarios para que los agentes actúen de una forma competente [18].
- Muchas de las acciones (conductas) de un agente se pueden separar muy bien, de modo que la inteligencia puede emerger a partir de la interacción de sub componentes que interactúan con el ambiente.

Dado lo anteriormente expuesto, el desarrollo de este trabajo se dedica a describir el paradigma de diseño de sistemas y los métodos asociados que son necesarios para soportar el enfoque mencionado.

HIPÓTESIS

En términos simples, la problemática descrita para los sistemas tradicionales y las conclusiones emanadas para este nuevo enfoque [4,8,18] dan origen a cuatro aspectos que resumen las hipótesis claves de trabajo:

- **Colocación:** los agentes físicos (robots) están situados en el mundo real: ellos no manejan descripciones abstractas, sino que el *Aquí y Ahora* del mundo influyen directamente el comportamiento del sistema.
- **Encuermamiento:** al igual que los animales, los robots tienen cuerpo y experiencia del mundo directamente, por lo que sus acciones son parte de la dinámica con el mundo y de la retroalimentación inmediata de sus propias sensaciones.

- **Inteligencia:** los sistemas de comportan inteligentemente, pero la fuente de inteligencia no está limitada solo al motor computacional.
- **Emergencia:** la inteligencia del sistema emerge de las interacciones del sistema con el mundo real y de las interconexiones entre sus componentes.

No obstante, también se ha considerado una serie de condiciones y supuestos que son necesarios para entender los fundamentos necesarios de este nuevo paradigma:

- El comportamiento complejo no necesariamente es el producto de un sistema de control complejo.
- La inteligencia depende del observador, por ello que es mejor hablar *de comportamiento inteligente*.
- El mejor modelo del mundo, es el mundo mismo.
- Uno de los objetivos principales del diseño debiera ser la robustez ante la presencia de fallas o ruidos en la información provista por los sensores.
- Los sistemas se deberían construir incrementalmente, comenzando por unidades básicas fácilmente evolucionables y verificables.
- No existe representación ni planificación en relación al medio en que vive el agente.
- No se necesitan computadores complejos ni de gran potencialidad.

En el transcurso de este paper, este enfoque de diseño reactivo se **denominará basado en conductas** ya que las componentes computacionales tienden a producir en forma directa y natural, módulos de conducta.

En las siguientes secciones se presentaran los conceptos y aspectos fundamentales de este paradigma de control inteligente, las características de su diseño y finalmente se describirán algunas aplicaciones.

AGENTES INTELIGENTES

Un *Agente* se puede ver como un ente que percibe su ambiente a través de sensores y actúa sobre él a través de efectores. Un agente se considera racional cuando para cualquier secuencia de percepciones realiza la acción que maximiza su medida de desempeño sobre la evidencia provista por la secuencia de percepciones y el conocimiento que posee acerca del ambiente. Una de sus características fundamentales es la autonomía, mediante la cual sus acciones dependen de su propia experiencia, lo cual es condicionado netamente por su conocimiento previo aprendido. Generalmente este tipo

de agentes se denomina *Agentes Autónomos o Agentes Adaptivos*, para referirse al hecho de su capacidad de adaptarse al ambiente y operar en forma continua sobre éste. Sin embargo, en dominios donde el control es distribuido, se requiere de habilidades sociales para que al agente se comunique con otros de una forma proactiva [6,12,13,17].

Existen varios tipos de enfoques para diseñar agentes cuya clasificación se puede ver en mayor detalle en [17]. Sin embargo, este trabajo se centra en el tipo de agentes reactivos o reflejos, los cuales basan su estado interno y su comportamiento exclusivamente en la percepción más reciente, o sea, no mantienen el historial de las percepciones. En términos genéricos, dado un conjunto de reglas y estímulos percibidos, el sistema puede determinar una acción a realizar en función de la siguiente operativa:

```
ACCION AgenteReactivo(percepción)
{
  CONJUNTO reglas;

  estado=Interpretar(percepción);
  regla=SeleccionarRegla
    (estado, reglas);
  acción=reglas[regla].acción;
  return(acción);
}
```

Posteriormente, cuando se describan las características del enfoque de diseño basado en conductas se profundizará en los aspectos de la dinámica interna del agente, que en la función anterior simplemente se le refiere como las tareas Interpretar y SeleccionarRegla.

Desde el punto de vista del medio donde interactúan los agentes, ya sea físico (robots), sistemas viviendo en el ciberespacio o agentes de sistemas de software (*softbots*), éstos se pueden clasificar según [17] por su grado de accesibilidad, determinismo, dinamismo, niveles episódicos o niveles de continuidad. A partir de esto, los ambientes reales están justamente en el peor de los casos, ya que corresponden a ambientes inaccesibles (estados incompletos del ambiente), dinámicos, no episódicos, y continuos. Esta realidad es una de las razones principales que justifica el diseño de sistemas reactivos que utilizan arquitecturas de control basadas en el comportamiento.

DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL BASADOS EN CONDUCTAS

Los agentes reactivos acoplan la percepción a la acción sin el uso de representaciones abstractas o de su historial en el tiempo (ie. base de conocimientos). Para nuestro caso, dichas acciones corresponden a las posibles conductas internas del agente para generar respuestas motores a través de sus efectores. La forma más simple de ver éstas conductas es adoptando los conceptos emanados desde la psicología conductual, en donde una conducta es simplemente una reacción a un estímulo. Sin embargo, los modelos y estudios surgidos a partir de la *Etología* (estudio del comportamiento animal en condiciones naturales) son adicionalmente de suma utilidad si el sistema físico a modelar tiene comportamientos que dependen directamente de sus similares en la naturaleza. De hecho una gran parte de aplicaciones robóticas actuales ha sido exitosa debido a que ha considerado fuertemente dichos aspectos en el diseño, operación y respuestas de los agentes.

Otro aspecto que se debe considerar, es el hecho de que las conductas corresponden a los bloques de construcción básicos para las acciones del agente, lo que facilita enormemente la implantación, puesto que los sistemas en el cual ellas conviven son inherentemente modulares desde la perspectiva del diseño del software

En general, el diseño bajo este prisma puede tomar diferentes formas, dependiendo de la base y los principios que se utilicen en su concepción. Aunque no hay acuerdo, existen algunos métodos comunes utilizados actualmente para especificar y diseñar conductas en agentes físicos [1], tales como las siguientes:

a) *Diseño dirigido Etológicamente*: En éste método, se hace uso de los estudios en conducta animal para proporcionar los aspectos fundamentales en las formas en que se pueden construir las conductas

b) *Diseño dirigido por Actividad Situada*: En éste esquema las acciones de un robot se establecen sobre las situaciones en las cuales éstas se encuentran (ie. Relación directa del agente con el ambiente). Por tanto, el problema de la percepción se reduce a reconocer que situaciones existen para el robot y luego elegir las acciones que se deben llevar a cabo.

c) *Diseño dirigido por Experimentos*: En ésta metodología, las conductas se crean de una forma bottom-up, dotando así al robot de un conjunto limitado de competencias que luego probadas en el mundo real, permiten ser mejoradas agregando las nuevas

repeatedamente hasta que el sistema muestre un rendimiento adecuado.

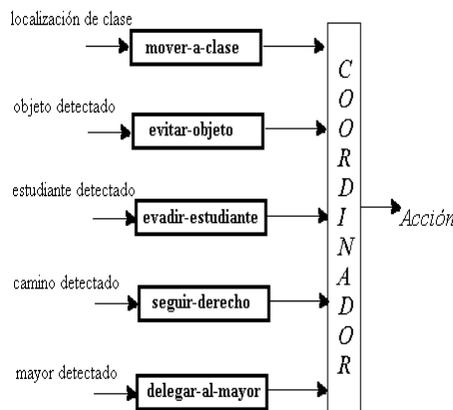
Independiente cuál sea la base del diseño, existe un cierto número de conductas típicas que se pueden encontrar en agentes robóticos móviles que interactúan con el mundo, que incluyen las conductas relacionadas con: exploración, seguimiento de objetivos, protección, seguimiento de caminos, posturas, aspectos perceptuales, aspectos sociales y cooperativos, etc.

Ahora bien, del punto de vista del diseño de un sistema basado en conducta, se deben considerar varios aspectos importantes: la representación de conductas, su codificación, su coordinación y su integración con el resto del sistema en una arquitectura de trabajo. Por lo anterior, en las siguientes secciones se abordará cada uno de dichos aspectos y su integración con el resto del sistema adaptivo.

REPRESENTACION DE CONDUCTAS

Un problema que se debe considerar en el diseño de sistemas basados en conductas es la forma en como éstas se pueden representar lógicamente para posteriormente llevar a cabo su implantación. Actualmente nos hemos abocado a cuatro métodos fundamentales de representación:

- *Diagramas de Estímulo-Respuesta:* corresponden a diagramas que representan una conducta como una respuesta generada a un estímulo dado. En el ejemplo siguiente se muestra un diagrama de este tipo para representar la dinámica de un agente que debe navegar y encontrar una sala de clases para entregar objetos:



- *Diagramas de Estados Finitos:* Es una de las técnicas tradicionales utilizadas en la representación de procesos de computación, con la diferencia de que los nodos representan los estados de la conducta y las transiciones, los estímulos correspondientes. Una gran parte de implantación de sistemas de conductas originalmente emplearon este tipo de métodos aumentados para representar conductas, sin embargo, dado el conocimiento previo que se requiere para su uso, algunos investigadores han optado por mecanismos de mas alto nivel.
- *Notación Funcional:* Se utilizan métodos matemáticos para describir la misma relación anterior utilizando una notación funcional del tipo:

$$\text{Conducta(Estímulo)} = \text{Respuesta}$$

Paralelamente, se han utilizado lenguajes de programación funcionales como es el caso del lenguaje de representación de conductas “*The Behavior Language*” desarrollado por Rodney Brooks y su grupo en el MIT a principios de los años 90 [3]. Dicho lenguaje describe las conductas en términos de funciones y esquemas en lenguaje Lisp. Aunque depende de la arquitectura que se utilice, su empleo ha ayudado bastante a entender el comportamiento total del sistema que se desea lograr, y por otro lado, permite trabajar en un nivel más alto si se le compara con la especificación necesaria en términos de diagramas de estados finitos.

- *Métodos Formales:* Corresponden a mecanismos formales de especificación de sistemas robóticos basados en conducta, y generalmente se utilizan para verificar las intenciones del diseñador, para facilitar la generación de sistemas de control robótico, proveer de un modelo de soporte para el diseño del lenguaje de programación de alto nivel, etc. Uno de los avances representativos de este tipo de enfoque lo constituye los sistemas de especificación desarrollados en el INRIA [7].

Actualmente, la utilización de uno o varios de estos métodos depende del diseñador y de que tan detallada se requiera la especificación. En el caso del presente trabajo, un método de representación estímulo-respuesta ha sido utilizado para la globalidad del sistema. Sin embargo, se están desarrollando nuevos métodos y mecanismos para la representación computacional interna de cada una de las conductas.

COORDINACIÓN DE CONDUCTAS

CODIFICACION DE CONDUCTAS

Una vez que se han representado las conductas del sistema, el siguiente paso es determinar cómo codificarlas. Con fines prácticos y de simplicidad nos abstraeremos de los aspectos de implantación computacional de dicha codificación temporalmente.

Para codificar una conducta se debe crear un mapeo funcional entre el plano de estímulos y el plano de respuestas motoras. Para este fin, se ha determinado que la codificación de una conducta considera dos componentes: la fuerza y la orientación.

Luego, se puede representar una conducta como el conjunto (E, R, C) en donde E denota el dominio de estímulos, R el rango de posibles respuestas y C la función de mapeo dada por:

$$C : E \rightarrow R$$

Cada $e \in E$ se representa como el par (p, λ) donde p denota la clase de estímulos y λ la fuerza de este. Por ejemplo, el estímulo que percibe un agente en un instante dado puede estar dado por:

$$(\text{obstáculo_detectado}, 0.5)$$

El rango de respuestas R está representado según los grados de libertad deseados, lo que determina la posición espacial del agente robótico para un determinado estímulo de entrada [1,18].

Al recibir estímulos y ser procesados por las conductas, éstas sólo generarán una respuesta cuando dichos estímulos sobrepasan un cierto umbral τ , luego la función de mapeo original queda expresada por:

$$C(p, \lambda) \rightarrow \{ \forall \lambda < \tau \text{ Entonces } r = (0,0,0\dots) \\ \text{Sino } r = \langle \text{función arbitraria} \rangle \}$$

El tipo de respuesta motora generada por el mapeo anterior dependerá del tipo de salida que se desea manejar en el mundo físico. De este modo, dicha transformación será discreta si existe un conjunto determinado de respuestas, continuo si las respuestas están en un rango continuo, o nulo, si no hay respuesta alguna (ej. ninguna conducta era la adecuada).

Luego de haber identificado y codificado las conductas básicas del sistema, se requiere comunicarlas y coordinarlas de manera tal, que generen las respuestas requeridas por todo el sistema. Para nuestra investigación dicha coordinación posee tres grandes objetivos:

1. *Eficiencia*: Lograr que los sistemas reactivos que poseen múltiples conductas utilicen métodos eficaces para su coordinación.
2. *Funcionalidad*: Lograr que las conductas generen las respuestas requeridas por los diseñadores
3. *Emergencia*: Lograr que el sistema de conductas tenga la capacidad de generar nuevos patrones a partir de la interacción de sus componentes básicas.

Uno de los principales problemas que hacen necesario el diseño de mecanismos de coordinación es el hecho de que las múltiples conductas existentes en el sistema de control son concurrentes por lo cual todas o algunas podrían estar activas, dependiendo de los estímulos que perciban.

En términos generales, una función de coordinación D se define formalmente como:

$$r = D(G * C(E))$$

En donde r representa la respuesta global del sistema, E los estímulos relevantes a cada conducta C_i , G la ganancia o fuerza relativa de cada conducta C_i en el instante t , y R las respuestas (R_i) generadas por el conjunto de conductas activas

La salida $G * C(E)$ producto de los vectores de ganancias y conductas respectivamente, corresponde a la influencia de cada conducta sobre la respuesta motora del sistema. Ahora bien, cual conducta elegir dependerá de la forma en que se realice la coordinación. Básicamente, se ha desarrollado dos métodos:

- *Coordinación Competitiva*: En este esquema las conductas compiten por su activación y puede organizarse por prioridades (jerárquico) o por enlaces libres (redes de conductas) [1]. Un ejemplo típico de competición se aprecia en la figura 1. En donde los elementos S , indican supresores de salidas de las conductas cuando algunas inhiben a otras [4,5].

- **Coordinación Cooperativa:** Se caracteriza por la fusión o suma inteligente de conductas. Es decir la respuesta global del sistema es una fusión de varias conductas que se suman vectorialmente

La coordinación descrita anteriormente es uno de los mecanismos más importantes para generar nuevas conductas directamente o en forma emergente. La emergencia del sistema implica que se debe aprender a lo largo de la interacción del agente robótico con el medio, como lograr la mejor coordinación de conductas o como ellas se deben unir según la adaptación que sufra el sistema.

En el contexto de este trabajo, se han identificado algunos aspectos de la coordinación de conductas en donde se requiere la adaptación y aprendizaje del sistema para lograr que este opere en forma robusta a los patrones iniciales de conductas o bien ante las nuevas situaciones en el medio ambiente. Algunos de dichos aspectos incluyen los siguientes:

- Determinar qué conjunto de conductas constituyen una componente de fusión (ensamble).
- Determinar adaptivamente las fuerzas (ganancias) relativas de cada respuesta conductual.
- Determinar qué función de coordinación es la más apropiada.
- Determinar los estímulos apropiados para una respuesta particular
- Determinar qué es lo que constituye una nueva conducta para el agente
- Determinar el mejor mapeo entre el dominio de estímulos y el de respuestas.

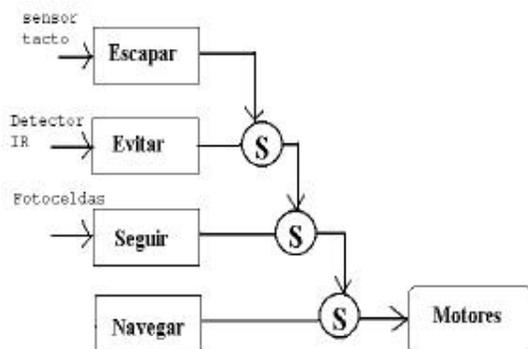


Fig.- 1: Sistema de Conductas Coordinado por Competición

Las técnicas o mecanismos de aprendizaje computacional para solucionar tales problemas son 50

actualmente muy diversos, y van desde los tradicionales (ej. Aprendizaje inductivo, lógica) hasta los más recientes (ej. Aprendizaje evolutivo, aprendizaje por reforzamiento, etc) o integración de ellos [2,9,10,11].

Aunque el aprendizaje y adaptación son piezas fundamentales en el diseño y operación de los sistemas reactivos basados en conductas, este trabajo no persigue profundizar en ello debido a que el centro está en la descripción de los aspectos importantes de este nuevo paradigma de diseño de sistemas inteligentes. Sin embargo, a lo largo del trabajo se dará implícito a dicha situación con el fin de lograr que esta presentación sea lo más breve y sintética.

ARQUITECTURAS BASADAS EN CONDUCTAS

Sin lugar a dudas, todos los elementos descritos anteriormente constituyen las unidades básicas de un sistema basado en conductas, y en forma general, la interacción entre ellos.

Una forma integral de visualizar y entender todos los elementos es considerarlos dentro de una arquitectura que los reuna. En este contexto, una arquitectura Robótica proporciona una serie de principios para organizar un sistema de conductas y entender cómo ellos interactúan. A pesar de que existen varios tipos predominantes, todas ellas poseen algunas características comunes:

- Dan énfasis al acoplamiento entre estímulos y acciones.
- Evitan la representación de conocimiento simbólico.
- Descomponen el sistema en unidades contextualmente significativas: conductas
- Ofrecen diferentes niveles de granularidad en la descomposición.
- Proporcionan bases comunes en la especificación de las conductas.

Los paradigmas arquitectónicos actuales que se han utilizado y que soportan el enfoque de diseño y programación basado en conductas recaen en tres grandes grupos: Subsumption, Esquemas Motores y Redes de Conductas.

- **Subsumption:** Fue desarrollada originalmente en el MIT AI Lab por Rodney Brooks a principios de los 80. Este modelo se caracteriza por utilizar un mecanismo de coordinación competitivo y en una

organización jerárquica de niveles, en donde los más altos representan las conductas abstractas y lo de más abajo, las conductas más básicas que interactúan asincrónicamente [4,5,18]. También se provee de mecanismos de inhibición de entradas, supresión de salidas y otros, para sincronizar la operación de las diferentes conductas del sistema. Un ejemplo típico se refleja en la figura 1.

- Esquemas Motores:** Están basados fuertemente en las ciencias biológicas y en las teorías de esquemas funciones que rigen parte de la operación del cerebro animal [1,8]. Los primeros sistemas implantados fueron desarrollados por Ronald Arkin en el *Georgia Institute of Technology*. Este tipo de arquitectura está formado por una red de esquemas cada uno de los cuales se comporta como si fuera un agente por sí sólo determinando así un sistema de computación distribuido. Cada uno de ellos percibe estímulos, los integra y genera respuestas. A diferencia de otros mecanismos, éste se caracteriza porque la coordinación se realiza por la suma de vectores. O sea, todos los esquemas generan respuestas, en menor o mayor grado, cooperando para la respuesta global. La codificación de dichas conductas se realiza en forma análoga a los campos potenciales utilizados en diferentes ramas de la ingeniería y ciencias. Por ejemplo, si la respuesta que se desea generar es el próximo movimiento del robot, todos los esquemas generarán componentes que forman el vector de respuestas (fuerza y orientación) y su suma determinará el siguiente movimiento del agente.

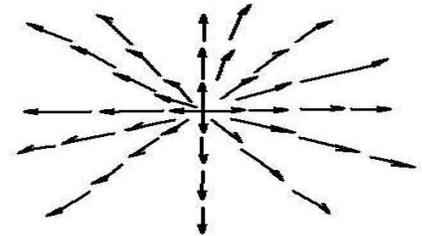
Por ejemplo, la codificación del vector del esquema **evitar-obstáculo** considera la fuerza (magnitud) y orientación del punto de vista geométrico, de la siguiente forma:

$$V_{\text{fuerza}} = \begin{cases} 0 & \text{Si } d > S \\ (S-d)*G/(S-R) & \text{Si } R < d \leq S \\ \alpha & \text{Si } d \leq R \end{cases}$$

Vorientación = Radialmente a lo largo de una línea, desde robot al centro del obstáculo (alejándose del obstáculo)

Donde **S** representa la esfera de influencia, **R** el radio del obstáculo, **G** la ganancia de los esquemas, **d** la distancia del robot al centro del obstáculo.

Debido al factor **G** considerado en el vector de fuerza, se puede visualizar fácilmente que cada uno de los esquemas conductuales concurrentes que se ejecutan en el sistema, generará diferentes intensidades para ambas componentes vectoriales. Del punto de vista de los campos vectoriales generados, las componentes de todos los esquemas del sistema se verían para el ejemplo como se muestra a continuación:



- Redes de Conducta:** A diferencia de mecanismos del tipo *Subsumption*, las redes de conducta son un modelo no jerárquico que se puede configurar en tiempo de ejecución. Existe una red de conductas (grafo), con diferentes tipos de enlaces a otras: sucesor, predecesor y conflicto [12,13,14,18]. El problema es realizar la mejor acción para determinados estímulos, por tanto, formar la cadena de conductas adecuadas para ello, descartando las inhibitorias (enlaces de conflicto). Cada una de las conductas posee algunas precondiciones que se deberían cumplir para activarse si es que su energía o influencia sobrepasa ciertos umbrales, y sus metas pueden variar en tiempo de ejecución sin modificar la especificación original del agente. Este tipo de arquitectura se conoce como redes compiladas, las cuales facilitan la síntesis de los agentes robóticos al diseñar de manera automática la red de conductas adecuadas para producir determinadas respuestas.

APLICACIONES Y RESULTADOS

En la actualidad existe una tendencia creciente en la investigación y desarrollo en el área de sistemas basados en conducta, especialmente en el ámbito de los agentes robóticos, en donde se han logrado grandes éxitos. Junto con ello, está comenzando a crecer el número de desarrollos importantes en lo que respecta a agentes del ciberespacio y agentes de interfaces en general, basados en este paradigma.

En Chile, la investigación básica se ha iniciado en el recientemente creado **Laboratorio de Agentes Autónomos** del Departamento de Ingeniería Informática de la Universidad de Concepción, en donde el autor de este trabajo está dirigiendo investigaciones en el área de control inteligente basado en conductas y agentes en general. El laboratorio cuenta actualmente con varios computadores personales y equipos con la tecnología de procesadores *HandyBoard 6811* desarrollada en el MIT Artificial Intelligence Laboratory para la investigación y experimentación en sistemas autónomos robóticos [15]. Dicha tecnología provee de sistemas de interfaces para entrada de diferente tipo de sensores y salida de efectores, además de estar dotado de un sistema de comunicación infrarojo, compilador concurrente incorporado, capacidad de memoria interna estática y una autonomía de energía de más de 10 horas, lo que independiza al sistema de conexiones computacionales o de fuentes de poder. El compilador corresponde a una versión del lenguaje C conocida como el **IC** (*Interactive C*) con facilidades para programar conductas concurrentes y generar código muy eficiente.

La actividad actual del laboratorio incluye, entre otras, investigaciones en las siguientes áreas:

Diseño e Implantación de una Arquitectura del tipo SubSumption para la Realización de conductas en un Agente Autónomo Físico: Hoy en día hay un creciente y fuerte interés por parte de la comunidad de Agentes Inteligentes y Robótica Autónoma, en desarrollar modelos y arquitecturas que permitan diseñar agentes adaptivos utilizando enfoques basados en conductas. Uno de los modelos competitivos de mayor importancia actualmente lo constituyen los basados en sistemas de conductas jerárquicos del tipo Subsumption. Sin embargo, este tipo de arquitecturas posee algunas desventajas: su organización jerárquica, el crecimiento potencial mayor en el número de niveles de abstracción, una topología predeterminada en tiempo de compilación, etc. El objetivo de este trabajo es diseñar y evaluar por medio de Agentes físicos, una arquitectura reactiva que de solución a los problemas inherentes de la *Subsumption*. Los posibles enfoques de solución se dirigen a considerar la formación jerárquica determinada de manera on-line, diseñar mecanismos de supresión/inhibición a partir de feedback externo, distribuir evolutivamente las capas o niveles de conductas, etc.

Modelamiento Evolutivo de Sistemas de Redes de Conductas para Agentes que utilizan mecanismos de

Emergencia: El avance en los modelos de redes de conductas ha estado limitado a aplicaciones en el Ciberespacio. El objetivo de esta investigación es modelar y diseñar un sistema en base a redes de conducta para la operación de un agente autónomo físico (robot móvil). Estas redes se deben modelar según modelos evolutivos de tal forma que el sistema pueda generar ya sea conductas emergentes, nuevas conductas o bien interconexiones diferentes según las tareas. Otra motivación para enfocar el diseño de sistemas con este enfoque, es que a diferencia de *Subsumption*, el modelo actual no es jerárquico lo que posibilita circuitos de conductas totalmente libres y dinámicos.

Desarrollo de un sistema de comunicación y cooperación para un sistema de múltiples agentes: Si se considera que un agente físico vive en un cierto mundo, las interacciones básicas son las internas y las de sus sensores/efectores con su medio ambiente. Este trabajo persigue lograr la concepción de un modelo que permita la comunicación *multiagente* de modo que éstos puedan coordinarse, compartir conocimiento, realizar tareas en común y lograr los objetivos. En este trabajo, se consideran modelos provenientes de diferentes áreas tales como las redes de comunicación y la lingüística, considerando el lenguaje como factor principal de la acción.

Modelamiento de un sistema de adquisición/aprendizaje de lenguaje basado en interacciones de un sistema Multiagente: Estudios recientes en el área de la comunicación entre agentes, han mostrado que ellos son buenos instrumentos para entender y modelar los procesos naturales de adquisición y aprendizaje de lenguaje natural, desde los niveles léxicos hasta los pragmáticos. Este trabajo persigue el desarrollo de un modelo de adquisición/aprendizaje de lenguaje basado en un sistema multiagente subyacente. Dicho modelo da cuenta de aspectos lingüísticos básicos de la comunicación entre agentes que conviven y tratan de adaptarse a cierta sociedad. La investigación está fuertemente motivada por los estudios que han sido llevados a cabo en Bélgica, Escocia y Francia en los mecanismos de “Juegos del lenguaje” que proporcionan una plataforma teórica computacional/lingüística básica para entender la problemática del punto de vista de la evolución del lenguaje y la comunicación.

CONCLUSIONES

Los siguientes puntos resumen los aspectos metodológicos y arquitectónicos descritos y discutidos en este trabajo:

- Existe un consenso en distinguir las habilidades intelectivas y las centradas en la acción: aquí se persigue un enfoque bottom-up donde las habilidades centradas en la acción son la base fundamental para las conductas inteligentes.
- Se sigue una metodología sintética practicada en la Inteligencia Artificial, es decir, que las teorías son probadas usándolas para construir sistemas artificiales que se validan colocándolas en un ambiente físico.
- El diseño de sistemas deliberativos (Sistemas de planificación basados en conocimientos) tradicionales no se excluye totalmente de un enfoque reactivos. Esto origina que perfectamente pueden coexistir en una gran variedad de aplicaciones, que es lo que hoy en día se denomina *sistemas híbridos*.
- Aún se debe realizar una gran cantidad de investigación para probar hipótesis, especialmente en el área de la interacción entre los niveles simbólicos y subsimbólicos, y la explotación de los mecanismos seleccionistas para construir sistemas de conductas.

Por otro lado, las investigaciones y aplicaciones descritas aportan en la comprensión, el diseño y el modelamiento de sistemas inteligentes complejos utilizando estrategias y paradigmas no tradicionales para concebir sistemas autónomos.

Es importante destacar que además, se encuentran en desarrollo dos aplicaciones de agentes adaptivos que involucran la realización de determinadas tareas en ambientes físicos, que están siendo llevadas a cabo por estudiantes que han sido entrenados con estos nuevos paradigmas y modelos, como una forma de poner en práctica esta nueva tendencia y de enfocar el diseño de sistemas de una perspectiva bottom-up. Paralelamente, estas aplicaciones de mediana complejidad, están sirviendo como herramientas básicas para soportar la investigación y aplicaciones complejas descritas en este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Arkin R. "Behavior-based Robotics". MIT Press, 1998.
- [2] Ballard Dana. "An Introduction to Natural Computation". MIT Press, 1998.
- [3] Brooks R. "The Behavior Language". AI Memo 1227, MIT Artificial Intelligence Laboratory, USA, 1990.
- [4] Brooks R. "A Robust Layered Control System for a Mobile Robot". In Artificial Intelligence at MIT: Expanding Frontiers, vol 2., pp 3-27, MIT Press, 1991.
- [5] Brooks R. "A Robot that Walks: Emergent Behaviors from a Carefully Evolved Network". In Artificial Intelligence at MIT: Expanding Frontiers, Vol 2, pp 29-39, MIT Press, 1991.
- [6] Caglayan A. "AGENT: Sourcebook". Wiley & Sons, 1997, USA.
- [7] Espiau B. "On the Validation of Robotics Control Systems: High Level Specification and Formal Verification". Reporte de Investigación, INRIA Sophia-Antipolis, Niza, Francia, 1995.
- [8] Freedman D. "Los hacedores de Cerebros". Ed. Andrés Bello, 1995.
- [9] Holland J. "Adaptation in Natural and Artificial Systems". MIT Press, 1993.
- [10] Holland J. "Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity". Addison-Wesley, 1995.
- [11] Levy S. "Artificial Life: A Report from the frontier where Computers meet Biology". Vintage Eds., 1992.
- [12] Maes P. "Designing Autonomous Agents". MIT Press, 1991.
- [13] Maes P. "Modeling Adaptive Autonomous Agents". MIT Media Lab Technical Report 9510, 1995.
- [14] Rhodes B. "Pronomes in Behavior Nets". MIT Media Lab Technical Report 9501, Learning and Common Sense Section, 1996.
- [15] Martin F. "The Handy Board Technical Reference". Gleason Research Ltd. USA, 1998.

- [17] Russell S. and Norvig P. "Artificial Intelligence: A Modern Approach". Prentice Hall International Editions, 1995.
- [18] Steels L. and Brooks R. "The Artificial Life Route to Artificial Intelligence". Lawrence Elbaum Associates, New Jersey, 1995.
- [19] Winston P. "Artificial Intelligence at MIT: Expanding Frontiers". MIT Press, 1991.