

4 ACCIÓN Y COMPORTAMIENTO

Las acciones y el comportamiento que los agentes desarrollan en el entorno son la manifestación de las interacciones que se están produciendo en el sistema. Para facilitar el estudio de las mismas se introducen modelos con distintas características que permiten aproximarse de forma concreta a los elementos que constituyen el sistema multiagente.

4.1 Modelado

El uso de modelos para representar la realidad ofrece la gran ventaja de facilitar y simplificar el objeto de estudio.

Los sistemas multiagente se ven muy beneficiados por el uso de modelos. Resulta de especial interés el modelado de los siguientes aspectos: acciones realizadas por los agentes, así como sus consecuencias en el entorno; funcionamiento e interacción entre agentes y, por último, evolución del sistema multiagente al completo.

Se distinguen dos grandes familias de modelos: algebraicos y operativos. Los primeros intentan describir el objeto de estudio en términos puramente matemáticos, mientras que los segundos emplean herramientas más relacionadas con la informática (redes de Petri, autómatas de estado finito, etc.).

Los sistemas multiagente postulan que la manifestación de la inteligencia del sistema se basa en el comportamiento de los agentes, las acciones que llevan a cabo en el mundo y las interacciones que emanan de estas. De ahí la importancia del adecuado modelado de acciones y agentes.

Previo al estudio de los modelos, es conveniente insistir en los conceptos de agente y de acción, enfatizando los aspectos de estos sobre los que se van a apoyar los modelos. Así:

- Acción: resultado de las reacciones del universo a las influencias de los agentes.
- Agente: entidad que está continuamente percibiendo, deliberando y ejecutando.

4.2 Distintos modelos de acción

Los formalismos para el modelado de acciones que se van a revisar son:

- Acciones como transformación de un estado global.
- Acciones como respuesta a influencias.
- Acciones como procesos informáticos.

UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS MULTIAGENTE EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMPLEJOS: ESTUDIO Y REVISIÓN

- Acciones como desplazamientos físicos.
- Acciones como modificaciones locales.
- Acciones como órdenes.

4.2.1 Acciones como transformación de un estado global

Fikes y Nilsson (1971) presentaron la denominada Representación en tiras (*STRIPS-like representation*), ampliamente utilizada para la planificación en sistemas de inteligencia artificial distribuida.

Según este modelo, los estados del mundo se representan por un conjunto de fórmulas atómicas que se cumplen en ese estado determinado. Por ejemplo, para caracterizar un estado s de la oficina en el que el flexo está encendido y la calefacción apagada, se tendría una formulación como (1).

$$s = \{estadoflexo(encendido), estadocalefaccion(apagada), \dots\} \quad (1)$$

Por otro lado, las acciones se caracterizan por la siguiente tripleta (2), donde *pre* indica las condiciones a cumplirse para que se de la acción, *del* las condiciones que desaparecen en el estado próximo y *adds*, las nuevas a añadir. Así pues, los operadores sólo describen los cambios que se producen.

$$op = \langle pre, del, adss \rangle \quad (2)$$

En este marco, un problema de planificación se expresa como (3).

$$PP = \langle \Sigma, \sigma_{init}, \sigma_{fin}, Op \rangle \quad (3)$$

Σ representa el conjunto (generalmente discreto) de todos los estados del mundo, σ_{init} y σ_{fin} son los estados iniciales y finales del mundo y Op , por último, es el conjunto de operaciones.

Un problema de planificación general se define como el proceso de búsqueda de aquellos operadores que, aplicados de forma recursiva sobre un estado final conocido, llevan al estado inicial

Existen distintas categorías de planes según el criterio de clasificación elegido:

- Estructura del plan: criterio relacionado con la independencia en la consecución de objetivos. Permite distinguir entre planificación lineal y no lineal.

UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS MULTIAGENTE EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMPLEJOS: ESTUDIO Y REVISIÓN

- Relación de interacciones entre las metas. Este criterio diferencia entre una planificación total y una parcial.

A pesar de su simplicidad y potencia, este modelo de acción presenta limitaciones importantes, tales como la imposibilidad de representar acciones en paralelo, la necesidad de que todas las posibilidades estén codificadas o el hecho de que las acciones sean instantáneas y no se tenga en cuenta el transcurso del tiempo.

La representación de acciones como transformación de estados presenta numerosas debilidades cuando intenta aplicarse a escenarios para los que no fue diseñada.

4.2.2 Acciones como respuesta a influencias

Este modelo se basa en los principios de influencias y las reacciones a ellas que se producen. Contempla la posibilidad de que se den acciones simultáneas y modela, además, los fenómenos emergentes de la interacción entre agentes.

El problema del modelo anterior derivaba de la no distinción entre lo que está ocurriendo en un momento dado y las consecuencias de eso.

El modelo de influencia/reacción se compone de dos estructuras:

- Σ : conjunto de estados del mundo. Cada uno de sus elementos σ se compone de una serie de fórmulas atómicas.
- Γ : estructura de influencia. Representa todos los gestos o intentos de acción llevados a cabo por los agentes en un estado determinado del mundo. Cada uno de sus elementos se representa por γ .

Las acciones (4) se representan de forma similar al modelo anterior donde *name* es el nombre del operador, expresado en función del conjunto de variables que intervienen; *pre* representa las condiciones previas para su aplicación y *post*, por último, son las influencias que se van a cumplir tras la aplicación del operador.

$$op = \langle name, pre, post \rangle \quad (4)$$

La aplicación de uno o varios operadores sobre los estados del mundo da lugar a las influencias. Las leyes del universo explican cómo reacciona el mundo a esas influencias. Es decir, cómo se pasa de un estado a otro.

La gran importancia de este modelo radica en la separación clara que establece entre lo perteneciente al agente y los fenómenos que ocurren en el ambiente. O lo que es lo mismo, las influencias producidas por los agentes y las reacciones del entorno a estas.

UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS MULTIAGENTE EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMPLEJOS: ESTUDIO Y REVISIÓN

Este enfoque resulta muy apropiado para la implementación de sistemas multiagente heterogéneos, en el que el entorno juega un papel integrador.

4.2.3 Acciones como procesos informáticos

Desde el punto de vista de la informática, el entorno no está caracterizado por su estado global, sino que se considera formado por un conjunto de procesos. El interés de este enfoque se centra en las entidades que componen el entorno, sus actividades y las interacciones que tienen lugar entre estos procesos. Resulta de especial interés la posibilidad de ligar unos procesos con otros de forma que puedan ser ejecutados en paralelo.

Existen numerosas formas de representar procesos. Algunas de ellas se presentan a continuación.

- Autómata de estado finito.

Esta representación permite describir fácilmente el comportamiento de un agente con capacidad de memorizar el estado en que se encuentra. Un autómata de estado finito viene representado por un conjunto de estados y las denominadas funciones de transición.

Es un sistema sencillo y fácil para la representación de sistemas de lógica simple. No obstante, presenta numerosas limitaciones para el tratamiento de la evolución en sistemas multiagente. Algunas de estas dificultades giran en torno a su limitada capacidad de computación o el hecho de que sólo se puedan describir procesos secuenciales.

- Autómata de registro (o red de transición aumentada).

Se trata de un formalismo que supone una extensión del anterior. Consiste en añadir a los estados un conjunto de registros, de tal forma que pueden implementarse comportamientos más complejos.

- Redes de Petri.

Permiten la representación de sistemas multiprocesos. Son consideradas una herramienta básica para el modelado de procesos asíncronos. Al contrario que los autómatas, las redes de Petri hacen posible el modelado de los aspectos dinámicos de los procesos.

4.2.4 Acciones como desplazamientos físicos

La base de este modelo es el uso de campos de atracción hacia el objetivo y de repulsión a los obstáculos. Se trata de un modelo muy ventajoso para sistemas reactivos, como puede ser el caso de un sistema de control de tráfico aéreo.

UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS MULTIAGENTE EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMPLEJOS: ESTUDIO Y REVISIÓN

Sus inconvenientes se deben a las dificultades para integrar este modelo en una concepción lógica superior, para estudiar la evolución del sistema como un todo y la necesidad de un espacio mensurable y medido.

4.2.5 Acciones como modificaciones locales

Según este modelo, el mundo se compone de una red cuyos nodos representan entidades reales, y cuyos arcos representan los lazos de unión entre estas entidades.

El autómatas celular es un sistema dinámico cuyo comportamiento viene dado en términos de relaciones locales. Este sistema se compone de un conjunto de autómatas de estado finito distribuidos entre los nodos de una red periódica. El estado de cada autómatas en un instante, depende de su estado y el de sus vecinos en el instante anterior. Así pues, en estas condiciones, este modelo resulta adecuado para dominios caracterizados por leyes locales basadas en la proximidad y geografía del entorno.

En relación con los sistemas multiagente, el autómatas celular puede considerarse como un caso degenerado de estos. Se trataría de un sistema multiagente con los agentes fijos y en el que pueden definirse adecuadamente las leyes del universo.

4.2.6 Acciones como órdenes

Desde el punto de vista de la teoría del control una acción consiste en la provocación de cambios en las entradas de un sistema físico con el fin de obtener unas determinadas salidas.

Con este enfoque, las acciones dejan de ser vistas como transformaciones de estados. Ahora se consideran actividades complejas dirigidas hacia un objetivo, teniendo en cuenta para ello, las reacciones del entorno y las correcciones a realizar con respecto a acciones previas.

El problema de esta técnica, basada en la regulación del sistema, es su inaptitud para describir acciones de coordinación de tareas o simultaneidad de las mismas.

4.3 Distintos modelos de agentes

Una vez estudiado el modelado de las acciones, se aborda ahora el estudio del modelado de agentes y sistemas multiagente.

Un agente es una entidad capaz de tener en cuenta lo que pasa a su alrededor gracias a tres funciones básicas de percepción, deliberación y ejecución.

- La función de percepción asocia cada percepción con un estado del entorno.
- La función de ejecución consiste en aplicar un determinado operador sobre un estado, originándose así la correspondiente influencia.

UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS MULTIAGENTE EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMPLEJOS: ESTUDIO Y REVISIÓN

- La función de deliberación es la más importante y compleja. Aquí se desarrollan los objetivos, la toma de decisiones y la memoria, además de la representación del mundo (en el caso de agentes cognitivos).

La estructura del agente y la relación entre las funciones previamente explicadas es la apreciada en la Figura 1.

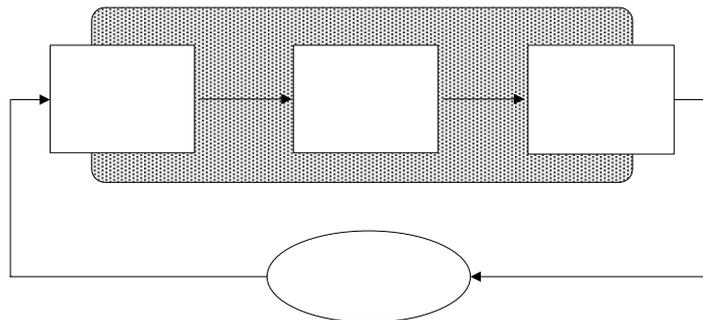


Figura 1: Estructura de un agente (Fuente: elaboración propia).

Para este análisis, conviene distinguir únicamente entre dos grandes tipos de agentes: reactivos y cognitivos. Los agentes cognitivos tienen capacidad para mostrar comportamientos más complejos que los reactivos, ya que pueden usar sus experiencias pasadas (gracias a la memoria) para anticiparse a situaciones futuras.

4.3.1 Agentes reactivos

Este tipo de agentes se caracteriza, como su propio nombre indica, por una forma de actuar totalmente refleja. Carecen de objetivos y estados internos, por lo que su módulo de deliberación se reduce a la asociación de percepciones con operaciones.

El estudio de un sistema multiagente reactivo es equivalente al estudio de la dinámica del mismo, o lo que es igual, conocer la evolución de los estados del entorno en el tiempo. Esta evolución viene dada por la aplicación de las leyes del universo y la unión de las distintas influencias originadas por el comportamiento de los agentes.

Pese a lo que pudiera parecer, los agentes reactivos pueden desplegar comportamientos complejos, valiéndose, para ello, del entorno como punto de referencia y memoria. Esta forma de abordar los sistemas multiagente recibe el nombre de Acciones Situadas (Wavish y Grahams, 1996) y constituye el modelo más elemental para las acciones reactivas.

Su desarrollo se apoya en los denominados índices, que no son más que rasgos del entorno que resultan de gran ayuda en la resolución de tareas. Un rasgo del entorno adquiere calidad de índice cuando constituye una marca o referencia que le indica al agente cuándo reaccionar para llevar a cabo una determinada tarea.

UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS MULTIAGENTE EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMPLEJOS: ESTUDIO Y REVISIÓN

Entre las ventajas de este enfoque, destaca sobremanera la flexibilidad que tiene para llevar a cabo tareas y su habilidad para afrontar cambios inesperados en el entorno.

El hecho de que estos agentes carezcan de representación del entorno y memoria, los conduce a veces a situaciones incongruentes. No obstante, este inconveniente puede ser salvado con la ayuda del entorno. Diferentes técnicas, tales como la codificación en el comportamiento del agente de las acciones para conseguir un objetivo determinado o exploración y marcado del entorno, hacen posible que este tipo de agentes puedan perseguir objetivos y metas concretas.

4.3.2 Agentes cognitivos

Los agentes cognitivos constan de un módulo de deliberación y capacidad para almacenar información, de forma que no actúan únicamente según la percepción recibida. Puede decirse que estos agentes poseen un cierto estado mental.

En el módulo de deliberación se desarrollan dos funciones:

- Determinar el nuevo estado mental a partir del estado anterior y la percepción recibida del entorno.
- Decidir, a partir de la percepción y el estado interno, qué operación debe realizarse.

El comportamiento de los agentes es ahora más complejo, pues se asocian pares de *<estado del entorno, estado interno>* con *<influencia, nuevo estado interno>*. En consecuencia, el sistema multiagente se modelaría con un sistema de $n+1$ ecuaciones: n de ellas asociadas a los estados internos de los agentes y una última relativa al estado del entorno.

Los agentes cognitivos pueden modelarse con autómatas de estado finito. Para ello, basta fijarse en el paralelismo existente entre los estados internos del agente y los estados del autómata, así como las funciones de memorización y toma de decisiones del agente y las funciones de transición y disparo de comandos propias del autómata.

El principal problema de esta y otras representaciones reside en su incapacidad para representar situaciones de paralelismo, lo que hace que se pase al uso de otros formalismos, tales como redes de Petri o Representación básica de componentes interactivos (*Basic representation of interactive components*, BRIC).

4.3.2.1 BRIC, un modelo para representación de agentes

El objetivo de este formalismo (Ferber, 1999) es proporcionar un modo de representación operativa del funcionamiento de un agente y un sistema multiagente, todo desde una perspectiva basada en componentes.

Cada componente BRIC puede considerarse como un módulo, una entidad software, definida por el conjunto de operaciones que puede realizar, las cuales se ilustran en forma de terminales de entrada/salida (Figura 2).

UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS MULTIAGENTE EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMPLEJOS: ESTUDIO Y REVISIÓN

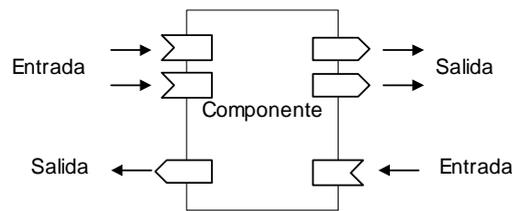


Figura 2: Vista de un componente BRIC (Fuente: Ferber, 1999).

La importancia de este enfoque reside en la recursividad que lo caracteriza. Esta se hace patente al ver al agente como un componente BRIC, que a su vez se define en términos de componentes más elementales. De modo que, finalmente, un sistema multiagente, se ve como un conjunto de componentes interconectados.