

## 5 COLABORACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE TAREAS

La posibilidad de realizar tareas de elevada complejidad no asumibles por un único agente surge de la naturaleza social de estos. Estas interacciones para cooperar requieren que los agentes acuerden cuáles son las tareas que cada uno va a realizar. El presente capítulo recoge una revisión de las técnicas más comunes en este ámbito.

### 5.1 Modelos de asignación de tareas

La cooperación entre los agentes favorece el aumento de la eficiencia cuantitativa y la emergencia de calidad, no obstante también conlleva dificultades como es el caso de la distribución de tareas.

La asignación distribuida de tareas, desarrollada en términos de contratos y compromisos, hace que el sistema multiagente se enfrente a problemas desde el punto de vista social y computacional. Para la resolución de los mismos, se usan técnicas basadas en los campos de la Investigación Operativa y los Sistemas Distribuidos.

La asignación de tareas lleva implícita la definición de los mecanismos organizativos por medio de los cuales los agentes combinarán sus propiedades para la realización del trabajo colectivo.

Para la localización de tareas se necesita, en primer lugar, la división de estas en subtareas y, posteriormente, su distribución. Tradicionalmente, la división en subtareas ha sido realizada por personas, centrándose la investigación en la automatización de su distribución.

Los diferentes papeles que pueden jugar los agentes en un sistema con tareas distribuidas en un momento dado son: cliente, servidor y *broker*, siendo este último el que pone en contacto a los dos anteriores.

El siguiente esquema (Figura 1) presenta las posibles variantes para la asignación de tareas que a continuación se describen. En él se diferencian dos líneas principales, una correspondiente a la asignación predefinida y otra a asignación emergente. La línea de asignación predefinida se divide a su vez en cuatro tendencias: asignación impuesta, asignación mediante *broker*, asignación por conocidos y asignación mediante red de contratos.

La opción más sencilla y directa para la asignación de tareas corresponde a la asignación impuesta. Este es el tipo de localización propio de los sistemas centralizados con estructura jerárquica, en los que el elemento de máximo nivel gestiona y asigna tareas a sus subordinados. El resto de técnicas tienen un mayor interés y se describen a continuación.

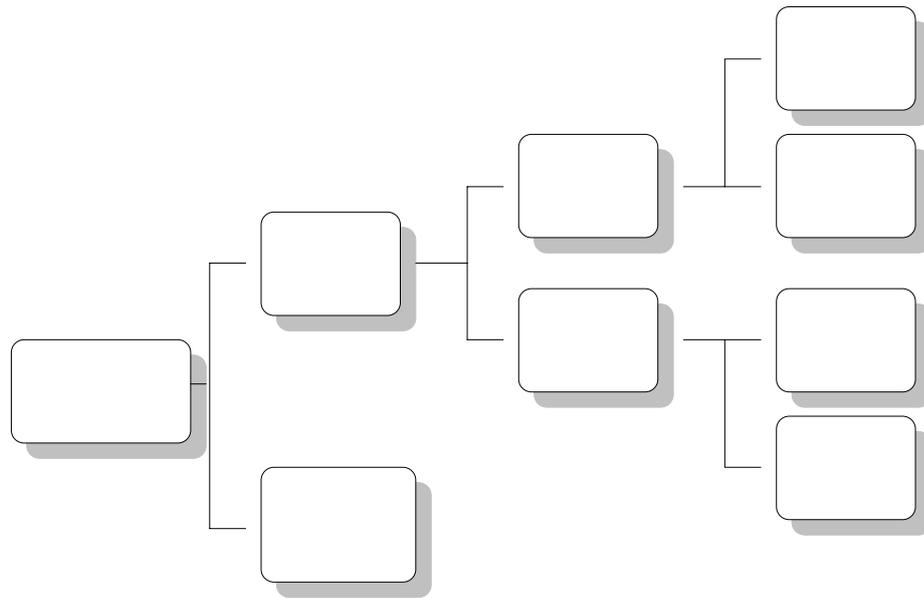


Figura 1: Posibles formas para la asignación de tareas (Fuente: Elaboración propia).

## 5.2 Asignación de tareas centralizada mediante un *broker* o negociador Predefinida

Esta técnica de distribución de tareas es típica de estructuras igualitarias. Se trata de un método centralizado que se aplica a organizaciones variables.

El caso más sencillo es el de un único *broker* que posee una tabla con los agentes conocidos y sus características.

### ASIGNACIÓN DE TAREAS

El proceso de funcionamiento se inicia cuando un agente necesita llevar a cabo una tarea que no es capaz de realizar por sí mismo. Entonces, se pone en contacto con un negociador para que busque entre sus conocidos a aquellos que puedan resolver su problema. Si el negociador encuentra un agente que acepte llevar a cabo la tarea, informa al agente cliente. En caso contrario, también se le indica al cliente el resultado negativo de la búsqueda.

En este proceso se ha asumido que el agente servidor con las características adecuadas para resolver la tarea, siempre acepta este trabajo. Emergente

Una posible mejora a esta técnica sería la ordenación de los servidores en la tabla de conocidos de los agentes según sus rasgos o una función de coste. Esto permitiría seleccionar al agente más adecuado para la tarea o minimizar el coste funcional.

La facilidad a la hora de actualizar el conjunto de agentes y sus características, así como la satisfacción de los requerimientos para la optimización, son las principales ventajas de los métodos centralizados.

Como sistema centralizado, su principal inconveniente son los cuellos de botella y la elevada sensibilidad a fallos.

### 5.3 Asignación de tareas distribuidas

Dentro de las técnicas de asignación de tareas distribuidas se distinguen dos tipos básicos. La asignación mediante red de conocidos y mediante red de contratos se presentan a continuación.

#### 5.3.1 Asignación mediante red de conocidos

En los sistemas que usan esta técnica de asignación de tareas, se supone que cada agente dispone de una tabla en la que figuran sus agentes conocidos y algunas de sus características.

Dependiendo de si los agentes pueden delegar directamente sus peticiones a otros agentes o no, se distinguen dos modos de asignación: Asignación directa o Asignación por delegación.

- Asignación directa.

En este modo, un agente ve su tarea realizada por un agente servidor directamente conocido por él. Si ninguno de sus conocidos puede o quiere llevar a cabo esa tarea, puede utilizarse un sistema centralizado para reorganizar las redes de conocidos de los agentes. Se comportaría, por tanto, como un sistema de mantenimiento y reparación.

La mayor limitación de este método se debe a la imposibilidad de poner en contacto a los servidores entre sí. Se hace necesario un mecanismo que permita solventar este problema poniendo en contacto, de forma indirecta, a varios agentes.

- Asignación por delegación.

Con esta técnica, pueden ponerse en contacto servidores entre sí. Así, un cliente que, en principio no tenía acceso a un servidor con determinadas características para que realizara su tarea, puede conseguir ver esta realizada. Se origina entonces un proceso de búsqueda entre los servidores para hallar al que reúne los requisitos deseados.

Un método para realizar esa búsqueda es el denominado de búsqueda paralela, que se apoya en algoritmos de difusión. El funcionamiento básico es el siguiente: cuando un agente recibe una petición para la asignación de una tarea, si él no es capaz de realizarla, propaga la petición a todos los agentes que conoce. El proceso se repite de forma recursiva hasta conseguir completar la tarea.

Algunos problemas y las posibles mejoras derivadas para este algoritmo son:

- Optimizar la búsqueda del servidor adecuado. Para ello, se deben enviar sólo peticiones a aquellos que tengan las características necesarias para la tarea.

- Detener el proceso cuando se halla el servidor que realiza la tarea.
- Elegir al mejor candidato de entre todos los servidores que cumplen los requisitos.
- Identificar las peticiones de localización para así distinguir peticiones distintas sobre la realización de una misma tarea.

Durante el tiempo de vida de un sistema multiagente, pueden aparecer o desaparecer entidades, cambiar las características de los agentes, etc. Esto hace necesario una reorganización de la red de conocidos, para lograr así la coherencia entre esta representación de los individuos y la realidad.

### 5.3.2 Asignación mediante red de contratos

El protocolo de red de contrato (*Contract Net Protocol*) (Smith, 1980) es un mecanismo para la localización de tareas basado en un protocolo de mercado. Ha tenido gran éxito y difusión debido a su sencillez. Aunque fue concebido por sus creadores, y muchos otros investigadores, como una técnica de negociación, se trata realmente de un método de coordinación para la localización de tareas (Jennings et al., 1998).

La relación entre agente cliente y agente servidor se establece mediante peticiones de pujas, que son evaluadas al ser recibidas. Al final del proceso, el gestor encarga su tarea mediante la realización de un contrato con el servidor que hizo la mejor propuesta.

Para la evaluación de las propuestas, el propio ofertante envía al gestor una evaluación de sí mismo en esa tarea concreta. La función de evaluación elegida depende del diseñador del sistema y premiará los aspectos que este desee.

El desarrollo de este proceso se lleva a cabo mediante el intercambio de mensajes y primitivas. El lenguaje ideado por Smith (1980) incluía primitivas para pedir ofertas, proponer contratos, aceptarlos o rechazarlos, etc.

La puesta en contacto entre los agentes puede realizarse mediante algoritmos similares a los de localización de tareas por delegación. No obstante, esto supone crear una red de conocidos, con todas las dificultades que eso conlleva. Para evitarlo, se pueden colocar los agentes siguiendo una topología *token ring*, de forma que todos los mensajes circulen en el mismo sentido. En pos de evitar situaciones de bloqueo causadas por la espera del cliente a ofertas que no llegan se introduce un tiempo máximo de espera para la recepción de estas.

La ejecución en paralelo de los procesos descritos puede crear dificultades a los agentes, en cuanto a su comportamiento se refiere. Cuando un agente recibe una petición de oferta, este se plantea si debe comprometerse ya o reservarse para posibles tareas que estén a punto de llegar.

---

Ante esta situación las posibles posturas a adoptar son:

- Prudencia: el agente reserva sus recursos al realizar una oferta porque se cree con posibilidades para conseguir el contrato.
- Compromiso posterior: el agente hace muchas ofertas sin comprometer sus recursos. Es un comportamiento propio de agentes que se creen con pocas posibilidades en entornos competitivos.
- Postura intermedia a las anteriores: se busca un equilibrio entre la probabilidad de conseguir un contrato y el beneficio reportado. Mediante técnicas basadas en teoría de la decisión y teoría de juegos se evalúa el nivel de compromiso a establecer.

En caso de que un agente se comprometa a realizar una tarea que no es capaz de llevar a cabo por sí solo, existe la posibilidad de que este divida la tarea en subtareas y, a su vez, subcontrate a otros agentes para que las lleven a cabo. Aparecen entonces distintas posibilidades según se disponga de un grupo de agentes subcontratados permanente o se busque a este antes o después de la asignación de la tarea.

El protocolo de red de contratos es un mecanismo muy flexible para la localización de tareas. Se ajusta adecuadamente a los sistemas distribuidos y tiene una naturaleza dinámica. En cuanto a sus inconvenientes, destaca el elevado número de mensajes que necesita para su desarrollo y las elevadas capacidades de decisión que deben tener los agentes para poder subdividir tareas y buscar subcontratados. La versión inicial del protocolo tampoco contemplaba la detección y resolución de conflictos, así como la posibilidad de rechazar ofertas o el establecimiento de prioridades en la realización de tareas.

Así pues, el sistema de red de contratos sólo puede aplicarse a redes pequeñas que llevan a cabo tareas divididas en pequeños elementos. En estas circunstancias, el protocolo ofrece grandes ventajas en cuanto a simplicidad y dinamismo se refiere. No obstante, para salvar algunos de sus problemas, numerosas extensiones han sido propuestas para el protocolo básico.

### **5.3.3 Variaciones y asignaciones híbridas**

Como es habitual, se pueden generar métodos resultantes de la variación o combinación entre los antes presentados, como por ejemplo, la red de contrato centrada en los ofertantes en lugar de en los gestores. Esta técnica se asemejaría a la gestión de contactos directos, ya que el cliente conoce de antemano a los ofertantes que puedan interesarle.

También es posible realizar una combinación de la red de conocidos con el protocolo de red de contratos. Una aproximación posible consiste en utilizar la red de conocidos para la realización de tareas pequeñas y la petición de ofertas para tareas más complejas. Es decir, la red de conocidos simularía una memoria caché de la red de contratos. Otra posibilidad podría permitir emplear la petición de ofertas por parte de la propia red de conocidos. De este modo,

cuando la red de conocidos no es capaz de solucionar o abordar una tarea, intenta reestructurarse o modificarse.

#### **5.4 Asignación emergente**

Hasta ahora, sólo se ha hablado de asignación de tareas para agentes cognitivos. La asignación de tareas para el caso de agentes reactivos se basa en el concepto de señal. Se dejan de lado los mensajes, propios de los agentes cognitivos, para fijar la atención en las formas de comunicación no intencionales.

Un ejemplo claro de señal para la asignación de una tarea (protección por parte de la madre) es el llanto de una cría. Hay que señalar que la intensidad de las señales disminuye con la distancia a la fuente de origen, y que la activación de una tarea u otra depende de esta intensidad recibida.

La activación diferencial de tareas introduce dos formas de competición en los sistemas multiagente: interna al propio agente (relativa a la elección de la tarea a realizar) y, también, competición entre varios agentes distintos. En este último caso, la competición se produce entre los agentes afectados por el estímulo; de forma que los más cercanos a él, tienen una mayor tendencia a realizar la acción requerida.

No obstante, no todos los problemas posibles en un sistema reactivo se solucionan con las técnicas de competición anteriores. Existen problemas relativos a la optimización del comportamiento de los agentes y zonas en las que no son perceptibles las señales, y que por tanto no pueden resolverse con este enfoque. En cualquier caso, es muy destacable la gran flexibilidad y las posibilidades de adaptación que muestran estos sistemas a las diferentes situaciones que pueden darse.