

Razonamiento y Planificación Automática

Tema 11. Planificación por múltiples agentes

Índice

Esquema

Ideas clave

11.1. ¿Cómo estudiar este tema?

11.2. Planificadores distribuidos

11.3. Formalización

11.4. Protocolos

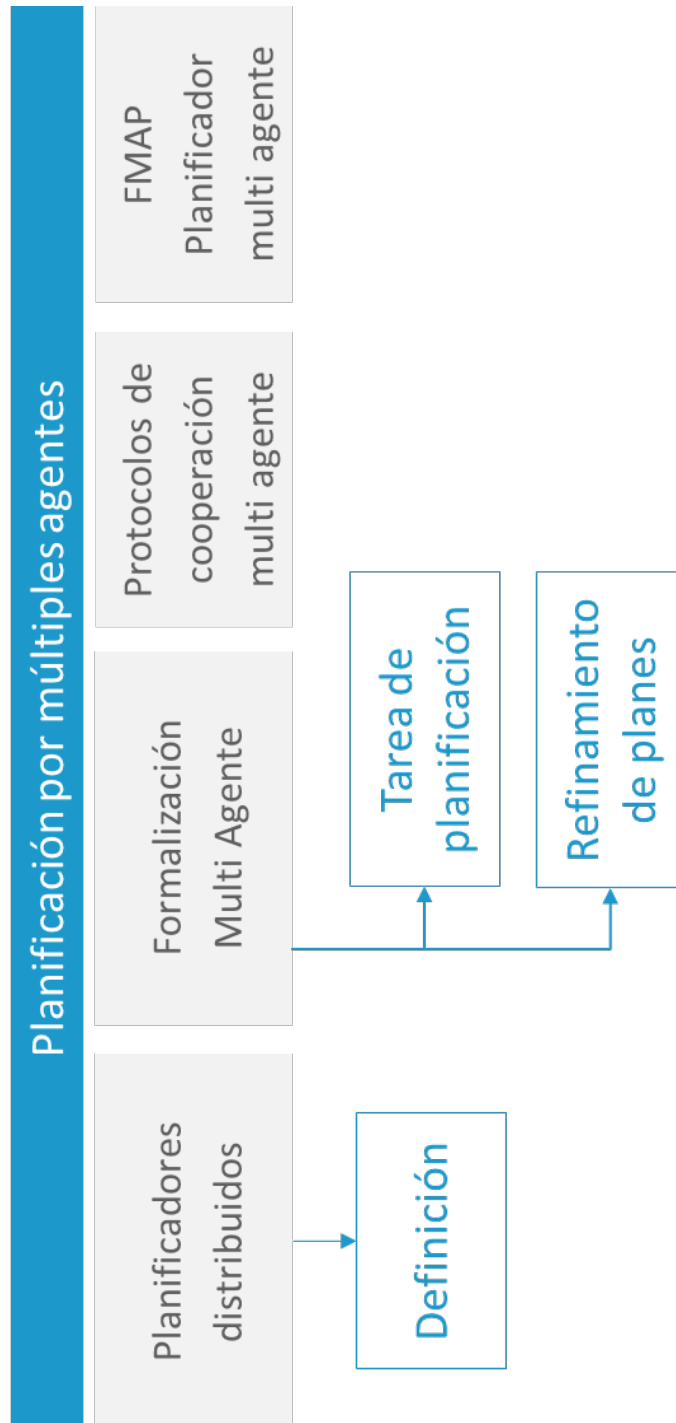
11.5. FMAP

11.6. Referencias bibliográficas

A fondo

Entornos multiagente

Test



11.1. ¿Cómo estudiar este tema?

En este tema profundizaremos en los planificadores distribuidos o planificación por múltiples agentes. Definiremos formalmente este tipo de problemas y como se solucionan. Hablaremos de los protocolos utilizados en la planificación multi agente.

Considerando esta base de planificadores, ilustraremos el caso en el que deseamos construir **sistemas de planificación en entornos multi agentes**. Como sucedía en el caso de los algoritmos de búsqueda, los entornos donde varios agentes tienen que coexistir presentan problemas que deben ser tratados de modo específico. En nuestro caso, presentaremos un modelo de planificador por múltiples agentes diseñado por (Torreno Lerma A., 2016).

11.2. Planificadores distribuidos

Un posible diseño de un **planificador distribuido** lo encontramos en (Torreno Lerma A., 2012), en el que definimos un sistema basado en componentes que se puede distribuir entre varios agentes.

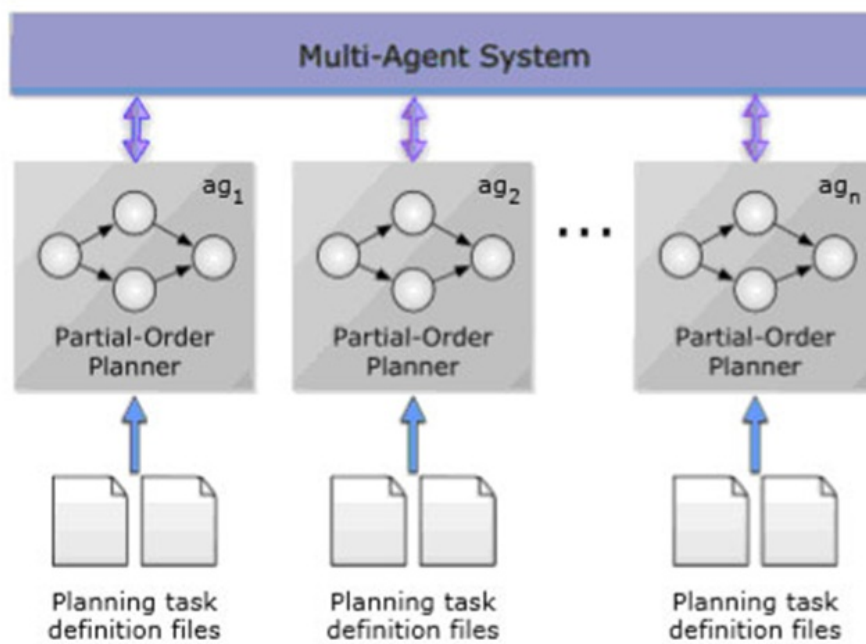


Figura 1. Estructura de un sistema PMA. Fuente: (Torreno Lerma A., 2012).

Este sistema se basa en tres tipos de componentes:

- Una descripción formal del dominio y el problema, especificada por medio de un lenguaje de planificación, aunque es necesario extender los estándares dado que PDDL, en ninguna de sus versiones, cubre todas las necesidades del problema descentralizado.

- ▶ Un sistema multi agente distribuido para permitir la gestión y comunicación de varios agentes, el intercambio de los planes construidos y la toma de decisiones del plan inicial.
- ▶ Un POP (explicado en el Tema 7) que tendrá embebido cada uno de los agentes y que le permitirá refinar el plan global inicial aportando sus subplanes elaborados.

Para este tipo de arquitecturas debemos tener en cuenta que necesitaremos de:

- ▶ Información compartida por los agentes que deberá expresar aquellas variables instanciadas que son públicas y compartidas por estos. Así como los predicados que se presentan y asociar conjuntos de ellos a los distintos agentes o dejar compartido para todo el sistema elementos de esta información.
- ▶ Metas privadas y públicas (o globales): en esta diferenciación clave es donde tenemos la responsabilidad de crear planes consistentes en aquellas metas públicas y garantizar que todas las metas privadas son conseguidas en cada subplan.
- ▶ Permitir, en las variables instanciadas, información explícita de forma positiva y negativa, añadiendo un sistema que nos simplifica el procesado. Se añade el concepto de multifunciones que nos permite codificar parte de la información del problema mediante una notación más compacta.

Con esta información emplearemos un **algoritmo de planificación** que, en esencia, funciona de forma **distribuida**. En él, intercambiaremos inicialmente la información entre los agentes para configurar el problema de planificación. Posteriormente, procesaremos el plan por medio de refinamientos sucesivos. Para ello, cada agente, que tiene un POP embebido, refina de modo individual el plan actual e intercambia información con los otros agentes, enviando los nuevos planes refinados sobre el plan actual y seleccionando cada uno el plan que le resulta más prometedor para continuar con el refinamiento. Esto lo explicaremos en detalle más adelante.

11.3. Formalización

Tarea en planificadores por múltiples agentes

En un PBMA (Torreno Lerma A., 2016), definiremos una tarea como una tupla $\langle AG, V, I, G, A \rangle$ formada por:

- ▶ $AG = \{1, \dots, n\}$: Un conjunto finito no vacío de agentes de planificación.
- ▶ $V = \{i \in AG \mid V^i\}$: Donde V^i es un conjunto de variables estado que definen un estado en el que se pueda encontrar un agente i en el entorno.
- ▶ $I = \{i \in AG \mid I^i\}$: Es un estado inicial definido por un conjunto de variable instanciadas (fluents). Como en este tipo de problemas pueden existir agentes especializados, ellos pueden solo conocer un subconjunto de I . Como premisa, el estado inicial de dos agentes nunca se contradice.
- ▶ G : Conjunto de metas que deben alcanzar entre todos los agentes, teniendo en cuenta que se considerará cumplido el estado meta independientemente del agente que consiga el última fluent buscado. Definen los objetivos de la tarea de planificación multi agente.
- ▶ $A = \{i \in AG \mid A^i\}$: Conjunto de acciones de planificación deterministas de los agentes.

A diferencia de STRIPS, en este tipo de diseños se admite la **hipótesis de mundo abierto**, que permite instanciar las variables y asumir que aquella información que no está definida de modo explícito es desconocida para el agente.

Un estado del mundo está definido a través de un conjunto finito de variables estado V , la cual esta asociada a un dominio finito de valores D_v mutuamente exclusivo que se refiere a objetos del mundo*. Asignar un valor d a una variable v de V genera una variable instanciada o fluent, $\langle v, d \rangle$. Un estado esta formado por un conjunto finito de

fluents.

Una acción se compone de la forma $a = \text{PRE}(a) \rightarrow \text{EFF}(a)$, donde $\text{PRE}(a)$ y $\text{EFF}(a)$ son un conjunto finito de fluents que representan las precondiciones y los efectos de la acción a , respectivamente. Ejecutar una acción a en un estado del mundo S producirá un nuevo estado del mundo S' como resultado de aplicar los $\text{EFF}(a)$ sobre S . Un efecto de la forma $\langle v, d' \rangle$ actualiza el estado S reemplazando el fluente $\langle v, d \rangle \in S$ por $\langle v, d' \rangle$. Teniendo en cuenta que los valores de D_v son mutuamente exclusivos, incluir $\langle v, d' \rangle$ en S' implica que $\forall d \in D_v, d \neq d', d \notin S$.

En los esquemas PBMA, los agentes son heterogéneos, con lo que pueden tener conocimientos del entorno y habilidades distintas, con distintos sensores y actuadores específicos para cada agente y distinta información *a priori*.

La tarea de planificación vista desde un agente i está definida como $T^i = \langle V^i, I^i, G, A^i \rangle$:

- ▶ V^i : Conjunto de variables estado conocidas por el agente i .
- ▶ I^i : es el subconjunto de fluents conocidos por el agente i del estado inicial I .
- ▶ G : es el estado objetivo, común para todos los agentes.
- ▶ $A^i \subseteq A$: Es el conjunto de habilidades del agente i (acciones de planificación).

Finalmente, como podemos observar un agente i también puede tener una visión parcial sobre un dominio de valores D_v de una variable v . Normalmente, esto lo definimos como $D_v^i \subseteq D_v$ el subconjunto de valores de v conocidos por el agente i .

Así entonces, los mecanismos de comunicación implican, generalmente, la existencia de un subconjunto de variables instanciadas que son compartidas por los distintos agentes y que les permiten coordinar sus acciones sobre el entorno.

Los agentes pueden interactuar compartiendo información acerca de sus variables estado. Por ejemplo, $V^{ij} = V^{ji} = V^i \cap V^j$, lo que representa que el agente i y j comparten un subconjunto de variables estado que está definida como la intersección entre ambos subconjuntos V^i y V^j .

Existe también la posibilidad de tener acciones públicas, es decir, que varios agentes comparten y saben que comparten acciones con otros agentes. En consecuencia, pueden solicitar a otros agentes la ejecución de una acción de la cual son conocedores de sus precondiciones y efectos.

Refinamiento de planes

Un posible modelo de planificador distribuido es aquel que considera un esquema de refinamiento de planes en el que un agente propone un plan P (vacío) para solucionar un conjunto de metas abiertas en un problema global. A continuación, el resto de los agentes refinan P resolviendo alguna de las metas que quedan abiertas en el entorno, aportando con refinamientos sucesivos fragmentos de planes que completan las metas abiertas (Kambhampati, 1997).

Un sistema subyacente que permite este tipo de planificación sería la planificación de orden parcial. Tomando la definición que nos presentan los POP como grafos acíclicos dirigidos donde tenemos como nodos del grafo a las posibles acciones de un agente y como arcos a las restricciones y efectos que estas acciones necesitan y producen, podemos definir el esquema de **planificación de orden parcial multi-agente** (Torreno Lerma A., 2016) como aquel en el que nuestros agentes cooperan para refinar un plan base P inicialmente vacío por medio de una serie de pasos de refinamiento en los que iremos resolviendo las metas abiertas que nos queden en el plan.

Así, un paso de refinamiento desarrollado por un agente supondrá la resolución de una meta abierta representada en una variable instanciada pública y de todas aquellas metas abiertas que tuvieran que ver con las variables privadas del agente. De este modo, garantizamos la consistencia de los planes, de forma que aquellas tareas que son propias de un agente y que solo este sabe los efectos que producen sus acciones privadas sobre el entorno son resueltas por el agente sin afectar al plan global de los demás agentes con los que se coopera.

Consideraremos que un plan es solución a un problema si es un plan concurrente entre varios agentes, si no existen metas abiertas en el entorno, no hay amenazas y cada par de acciones podemos decir que son mutuamente consistentes (Torreño, 2012).

11.4. Protocolos

Uno de los mayores retos para implementar una planificación multi agente es el desarrollo de los protocolos de comunicación entre los agentes.

Estos protocolos permitirán, entre muchas otras cosas, la correcta comunicación entre los agentes. Una estrategia muy atractiva es la utilizada en (Rosenschein, 1994), donde clasifica los diferentes dominios e identifica protocolos apropiados para cada tipo de dominio.

Otra idea es implementar un protocolo en el que la planificación o refinamiento se vaya realizando por turnos (Torreno Lerma A., 2016).

En ambientes más reactivos (Gúzman Álvarez, 2019) se eliminan de los protocolos los conceptos de votación o turnos de espera demasiado largos. Por el contrario, se implementa un protocolo en el que el agente que falla solicita ayuda por medio de un broadcast a todos los posibles agentes que pueden contribuir para solucionar el fallo. De esta manera, el agente que falla recibe todas las posibles soluciones y se adapta a la más conveniente.

El protocolo es de vital importancia para la resolución de problemas multi agentes.

11.5. FMAP

FMAP es un planificador multi agente que utiliza un POP y un algoritmo de búsqueda *A* multi agente. Implementa una planificación hacia adelante (Forward). El algoritmo general de FMAP se divide en tres fases:

- ▶ Intercambio de información entre los agentes.
- ▶ Refinamiento individual.
- ▶ Proceso de coordinación.

Las fases 2 y 3 se repiten hasta que un plan solución es encontrado o el espacio de búsqueda es completamente explorado.

Intercambio de información entre los agentes

El algoritmo comienza con una etapa inicial de comunicación entre los agentes, donde intercambian la información declarada como compartida en el dominio de planificación. Por ejemplo, la siguiente sintaxis extiende el PDDL para representar la información compartida entre los agentes del dominio del transporte:

```
(:shared-data
```

```
((at?t - truck) - city)
```

```
((pos?p - package) - city)
```

```
)
```

Esto quiere decir que los agentes comparten los predicados relacionados con la posición de los camiones `((at?t - truck) - city)` y con la posición de los paquetes `((pos?p - package) - city)`. Esto lo hacen con el fin de generar estructuras de datos (grafos de planificación relajados, grafos de transición de dominios, etc.) que luego

les servirán durante el proceso de planificación.

Refinamiento individual

Inicialmente el plan se encuentra vacío con dos acciones ficticias α_i y α_f que no pertenecen a las acciones de ningún agente en particular. La acción α_i representa el estado inicial de la tarea de planificación, es decir, $PRE(\alpha_i) = vacío$ y $EFF(\alpha_i) = I$, mientras que α_f representa los objetivos G de la tarea de planificación, es decir, $PRE(\alpha_f) = G$ y $EFF(\alpha_f) = vacío$.

Cada agente realiza un refinamiento del plan. En el que coloca las acciones que consiguen precondiciones abiertas del actual plan Π_0 que contiene solo las dos acciones ficticias.

Las **precondiciones abiertas** son aquellas que:

- ▶ No están presentes en el estado inicial.
- ▶ O no se consiguen con ningún otro conjunto de acciones del plan.

La siguiente figura 2 muestra un ejemplo de refinamiento de nivel 1 para el dominio de transporte.

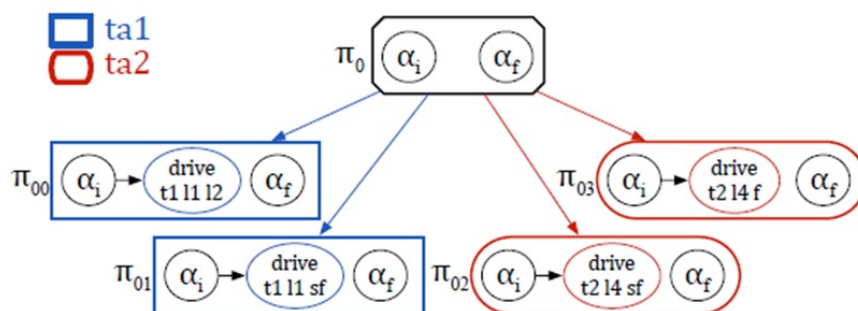


Figura 2: Ejemplo de un refinamiento de nivel 1. Fuente: (Torreno Lerma A., 2016).

En este nivel, los agentes ta_1 y ta_2 proponen cada uno un refinamiento de dos planes, específicamente planes para conducir sus camiones dentro de sus áreas geográficas.

En cada uno de esos refinamientos los agentes agregan una acción con sus correspondientes enlaces **de orden y causales**.

Hay que recordar que, por definición (Russell, 2004), un enlace de orden es de la forma $a < b$, que se lee como «a antes de b» y significa que la acción a debe ser ejecutada en algún momento antes de la acción b, pero no necesariamente en el estado inmediatamente anterior. El enlace de orden describe un orden parcial apropiado. Cualquier ciclo (del tipo $A < B$ y $B > A$) representa una contradicción, que no podrá ser añadida a un plan. Del mismo modo, un enlace causal, escrito como $a \xrightarrow{P} b$, y leído como la acción “a” alcanza la acción “b” a través del fluyente P. Lo que expresa que P es un efecto de “a” y una precondition de “b”. También nos informa que P debe ser cierto durante el tiempo de acción que discurre desde la acción “a” a la acción “b”. Este sistema de enlace causal ayuda bastante durante el proceso de planificación. Porque obliga a no incluir entre las dos acciones “a” y “b” ninguna acción “c” que tenga como efecto la negación del fluyente P.

En siguientes refinamientos (expansión de los siguientes nodos del árbol), los agentes pueden crear nuevos planes de refinamiento sobre el nuevo nodo seleccionado. Por ejemplo, en la figura 2, si el nodo Π_{00} es seleccionado, los agentes ta_1 y ta_2 pueden generar nuevos planes refinados sobre el nodo Π_{00} agregando una de sus acciones y manteniéndolas con los enlaces orden y causales necesarios.

Proceso de coordinación

Durante todo este proceso cada agente mantiene una copia del árbol de búsqueda multi agente, guardando la vista local que ellos tienen de cada uno de los planes que se encuentran en los nodos del árbol.

La búsqueda A multi agente implica explorar el árbol multi agente de la siguiente manera:

- ▶ El agente selecciona una de las hojas no exploradas del árbol;
- ▶ El agente expande el plan seleccionado, generando todos los posibles planes refinados sobre ese nodo;
- ▶ El agente genera y calcula el resultado de la función de evaluación de todos los nodos sucesores;
- ▶ Y el agente comunica los resultados al resto de los agentes.

FMAP no utiliza un proceso de control por medio de mensajes broadcast. Por el contrario, mantiene un liderazgo democrático en el cual un rol de coordinador es planificado entre los agentes. Es decir, un agente en cualquier momento adopta el rol de coordinador en cada iteración, permitiéndole liderar el procedimiento de refinamiento. Inicialmente, el coordinador se elige de manera aleatoria.

11.6. Referencias bibliográficas

Gúzman Álvarez, C. A. (2019). *Reactive plan execution in multi-agent environments (Doctoral dissertation)*.

Rosenschein, J. S. (1994). *Rules of encounter: designing conventions for automated negotiation among computers*. MIT press.

Russell, S. y. (2004). *Inteligencia Artificial: Un Enfoque Moderno*. Madrid: Pearson Educación.

Torreno Lerma, A. (2012). *Diseño e implementación de un sistema de planificación distribuido* (Trabajo fin de carrera). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Torreno Lerma, A. (2016). *Cooperative planning in multi-agent systems (Doctoral dissertation)*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Entornos multiagente

Torreno Lerma, A. (2016). Cooperative planning in multi-agent systems (Doctoral dissertation). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/handle/10251/65815>

Explica el funcionamiento completo del algoritmo FMAP. Indicando entre otros aspectos su arquitectura, formalización, y extensiones que se realizan al PDDL.

1. ¿Un POP es?
 - A. Un plan el que se especifican todas las precedencias entre las acciones.
 - B. Un plan en el que solo se especifican algunas de las precedencias entre sus acciones.
 - C. Una red de tareas jerárquicas.

2. Un POP está compuesto por:
 - A. Tareas y subtareas.
 - B. Nodos, arcos (causales y no causales) y precondiciones abiertas.
 - C. Planes, acciones y propiedades.

3. Una precondición abierta:
 - A. Representa aquellas propiedades que son precondición de alguna acción presente en el plan y que todavía no se han enlazado por medio de ningún arco causal.
 - B. Representa aquellas acciones que son precondición de alguna acción presente en el plan y que todavía no se han enlazado por medio de ningún arco causal.
 - C. Las acciones abiertas en el problema.

4. Un enlace causal:
 - A. Son las restricciones de orden parcial entre dos acciones.
 - B. Especifica la consecución de un efecto.
 - C. Es la causa de un efecto entre tres o más acciones conjuntas.

5. Una acción entra en conflicto con un enlace causal:
 - A. Si la acción tiene el efecto de eliminar un efecto producido por el enlace causal.
 - B. Si tiene más de dos propiedades a las que afecte con sus efectos.
 - C. Si no se puede descomponer.

6. En general, un algoritmo de POP debe:
 - A. Encontrar todas las acciones del plan global.
 - B. Aplicar heurísticas de tipo STRIPS.
 - C. Encontrar la secuencia de refinamiento que, partiendo del plan parcial inicial, llegue a un plan parcial solución.

7. Los PMA (planificador multiagente) son:
 - A. Aptos para entornos en los que varios agentes desean conseguir elaborar un plan conjunto para resolver un problema.
 - B. Construcciones de redes de tareas jerárquicas de tipo STRIPS.
 - C. Aptos para entornos en los que un agente desea resolver varios problemas a la vez.

8. La PMA y la planificación clásica se diferencian en:
 - A. La coordinación de las actividades de planificación.
 - B. La distribución de la información entre agentes.
 - C. Las dos características anteriores.

9. Los PMA admiten la hipótesis de:
 - A. Mundo cerrado.
 - B. Mundo abierto.
 - C. Mundo distribuido.

10. Un sistema distribuido de planificación:
- A. Debe ser capaz de distribuir la información entre varios agentes por medio de un sistema multiagente.
 - B. Tiene que ejecutar todas las tareas en un único agente en un orden determinado.
 - C. Debe usar un planificador de tipo STRIPS en cada agente.