

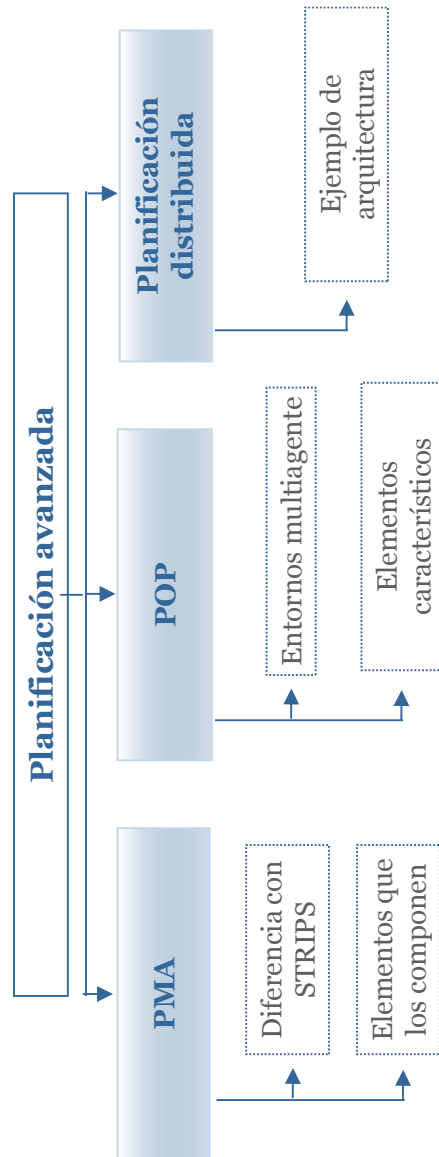
Razonamiento y planificación automática

Planificación multiagente

Índice

Esquema	3
Ideas clave	4
11.1. ¿Cómo estudiar este tema?	4
11.2. Planificadores de orden parcial	4
11.3. Planificadores multiagente	9
11.4. Planificadores distribuidos	13
11.5. Referencias bibliográficas	14
Lo + recomendado	16
+ Información	18
Test	19

Esquema



11.1. ¿Cómo estudiar este tema?

Para estudiar este tema lee las **Ideas clave** que encontrarás a continuación.

A lo largo de este tema profundizaremos en dos conceptos de aplicación avanzados de planificación. Por un lado, presentaremos los **planificadores de orden parcial**, como un mecanismo para resolver problemas generales de planificación en los que modelos clásicos como STRIPS pueden caer en ciclos de destrucción y construcción de metas que derivan en la **anomalía de Sussman** presentada en el tema anterior.

Considerando esta base de planificadores, ilustraremos el caso en el que deseamos construir **sistemas de planificación en entornos multiagentes**. Como sucedía en el caso de los algoritmos de búsqueda, los modelos entornos donde varios agentes tienen que coexistir presentan problemas que deben ser tratados de modo específico. En nuestro caso, presentaremos un modelo de planificador distribuido diseñado por Torreño en 2012 (Torreño, 2012).

11.2. Planificadores de orden parcial

Definición

Para resolver aquellos problemas en los que la consecución de una submeta conlleve, de modo endémico, una destrucción de otras metas conseguidas anteriormente y para solucionar problemas de modo general, disponemos

del mecanismo basado en la búsqueda en el espacio de planes, en contraposición a la búsqueda en el espacio de estados en el que se basa STRIPS.

Así, buscaremos en el espacio de planes no completamente especificado, es decir, en el espacio de **planes de orden parcial**.

Definiremos **plan parcialmente ordenado** (*partial order plan*, POP) como un plan en el que solo se especifican algunas de las precedencias entre sus acciones.

Componentes

Un POP está compuesto por los siguientes componentes:

- ▶ **Nodos/acciones:** forman los pasos del plan, seleccionados de entre los operadores del agente. Cada uno con sus precondiciones y efectos.
 - Con dos acciones especiales: inicio (sin precondiciones y con el efecto de crear las propiedades del estado inicial) y final (sin efectos y que tiene como precondiciones todas las propiedades que conforman el estado meta).
- ▶ **Arcos:** son las restricciones de orden parcial entre dos acciones, $A < B$



Figura 1. Arcos.

- ▶ **Arcos/enlaces causales:** especifican la consecución de un efecto por parte de una acción, que es precondición para otra acción a la que se enlazan.



Figura 2. Arcos/enlaces causales.

- Precondiciones abiertas: representan 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.

Se define un **plan parcial inicial** como aquel que tiene, únicamente, las acciones de inicio y final. Con la restricción implícita de orden $INICIO < FINAL$ y que contiene todas las precondiciones de final abiertas.

El objetivo es conseguir un plan parcial final (de entre los posibles que existan) que **no tenga conflictos** entre los enlaces causales, **sin ciclos** entre sus restricciones de orden y **sin precondiciones abiertas**.

Donde definimos que la acción C entra en conflicto con el enlace causal entre $A \xrightarrow{p} B$ (que produce la propiedad **p**) si C tiene el efecto de eliminar **p** y, según las restricciones de orden, C podría ir antes que B y después de A. $A < C < B$

Para la obtención de una secuencia de planes parciales que nos permita alcanzar el plan parcial debemos colocar las acciones una detrás de otra, sin contradecir ninguna restricción de orden que se deduzca del plan parcial. Para ello deberemos tener en cuenta que cualquier secuenciación de un plan parcial solución supone una solución al problema original.

En este contexto elaboramos la idea de que debemos diseñar un algoritmo para encontrar planes parciales finales. La idea principal es la creación de un POP comenzando por el plan inicial e ir aplicando transformaciones u operadores a los planes parciales, refinándolos.

En esencia, consiste en resolver las precondiciones abiertas evitando las amenazas. En cada instante habrá varias alternativas para ir refinando el plan y no todas ellas conducen hacia el plan parcial final. Por tanto, el problema consiste en encontrar la

secuencia de refinamiento que, partiendo del plan parcial inicial, llegue a un plan parcial solución (es decir, sin ciclos, sin amenazas y sin precondiciones abiertas).

Vuelve a ser una búsqueda en un espacio de estados, pero ahora los estados son los planes parciales y los operadores son los refinamientos sucesivos de los planes parciales.

Algoritmo

En consecuencia, un **algoritmo POP** simplemente emplea un algoritmo de búsqueda (en profundidad, por ejemplo) en el espacio de los planes parciales para encontrar el plan parcial final.

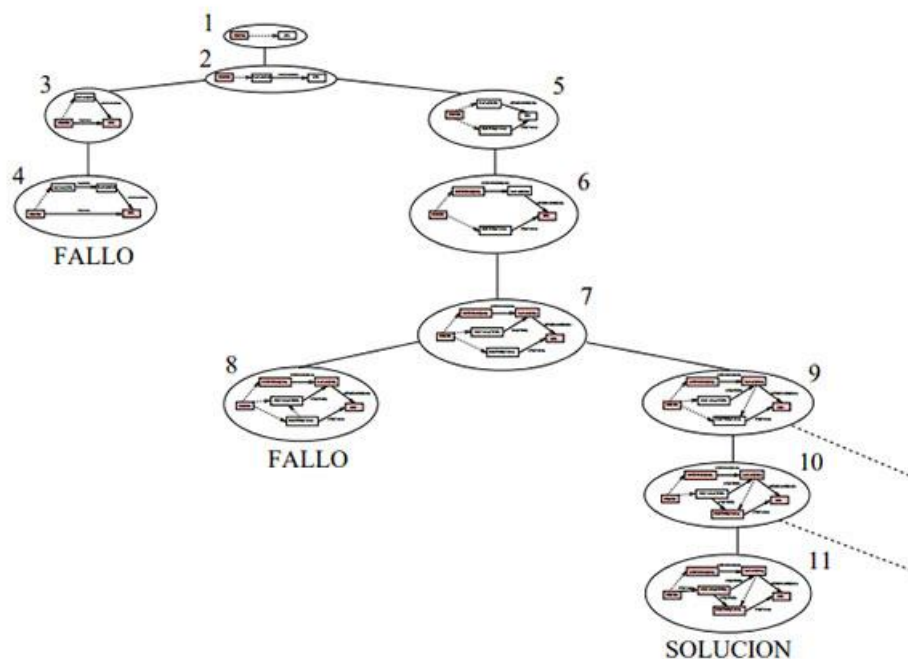


Figura 3. Búsqueda en profundidad en el espacio de planes.

Como todo algoritmo de búsqueda, contamos con dos componentes principales. Por un lado, los **estados**, que en este caso es un plan parcial creado hasta ese instante, con el conjunto de acciones enlazadas y precondiciones abiertas. Y, por otro lado, los

operadores o acciones que se pueden crear desde cada estado. En este caso, dispondremos de dos tipos de acciones en cada estado.

- ▶ Acciones de resolución de precondiciones abiertas: dada una precondición p abierta en una acción B dentro del plan del estado actual, por cada acción A que tiene como efecto producir p , podemos obtener un plan refinado aplicando uno de los pasos siguientes (siempre que no se produzcan ciclos):
 - Establecimiento simple: si la acción A ya estaba en el plan, se añade la restricción $A < B$ y el enlace causal $A \xrightarrow{p} B$.
 - Añadir una nueva acción al plan: si la acción A no está en el plan actual del estado, se añade junto a las restricciones $A < B$, $INICIO < A$ y $A < FIN$ y el enlace causal $A \xrightarrow{p} B$.
- ▶ Resolución de conflictos dentro del plan actual: supuesto el caso de que exista un conflicto entre el enlace causal $A \xrightarrow{p} B$ y la acción C , se puede crear un plan sucesor (estado sucesor) aplicando alguno de los siguientes pasos, siempre que no creemos ciclos:
 - Promoción de la acción B : añadiendo la restricción de orden $B < C$.
 - Degradar la acción A : añadiendo la restricción $C < A$.

Al realizar el proceso de creación del POP por medio de una técnica de búsqueda, tenemos que crear el árbol de búsqueda en el que:

- ▶ Los nodos son planes parciales.
- ▶ Creamos tantas ramas como las necesarias originadas por las acciones anteriores de resolución de precondiciones abiertas y conflictos.

No es necesario expandir todas las precondiciones en un nivel, basta con ir haciéndolo de modo ordenado a lo largo de la exploración de los siguientes niveles (debemos ser cuidadosos con este proceso, esta exploración no influye en la completitud del plan, pero sí puede ser muy determinante en la eficiencia).

Algunos mecanismos de búsqueda en árboles, como el de profundidad, pueden caer en iteraciones infinitas. Para evitarlo es necesario contar con una cota de profundidad de exploración en estos casos. Asimismo, existen heurísticas que permiten acelerar el proceso de obtención de planes.

11.3. Planificadores multiagente

El término **planificación de múltiples agentes (PMA)** aborda el problema de la planificación en entornos donde varios agentes independientes planifican y actúan juntos.

PMA puede referirse a la **planificación multiagente** (planificación distribuida, donde debemos tener en cuenta varios agentes independientes no centralizados) o **multiagente de planificación (ejecución multiagente)**. En estos entornos nos podemos encontrar con varios escenarios; por un lado, podemos tener agentes que desean planificar en función de alcanzar un objetivo común y, por otro, podemos encontrarnos con un agente que coordina los planes de otros y gestiona a estos agentes para distribuir las tareas o agentes que definen sus propios planes mientras negocian con otros sobre tareas o recursos (Clement, 2005). Como en todos los escenarios multiagente, nos podemos encontrar con **entornos cooperativos, competitivos o parcialmente cooperativos**.

Existen dos elementos principales que diferencian la planificación clásica de los modelos PMA:

- ▶ La coordinación de las actividades de planificación.
- ▶ La distribución de la información entre agentes.

Para resolver un problema de planificación multiagente, en general, debemos resolver un conjunto de tareas (Durfee, 1999), si bien algunas de estas se pueden suprimir o matizar:

1. Detallar y refinar la meta global.
2. Asignar tareas a los agentes.
3. Coordinar a los agentes antes de la planificación.
4. Resolver los planes individuales de cada agente.
5. Coordinar el plan resultante de todos los agentes antes de ejecutarlo.
6. Ejecutar el plan.

Algunas aproximaciones de PMA se centran en resolver problemas en los que los agentes presentan escasas interacciones entre sí. Los agentes en estos modelos diseñan los planes independientemente, de modo que el objetivo es coordinar *a posteriori* estos planes individuales (Durfee, 1999) (Van Der Krogt y De Weerd, 2005).

Asimismo, en otros diseños de planificadores multiagente, se orientan a tratar con problemas cuyos agentes tienen fuertes interacciones, resolviendo el problema por medio de un enfoque más centralizado. En estos diseños se asume un entorno completamente cooperativo por parte de los agentes que comparten bases de conocimiento y mecanismos de comunicación y coordinación. En ellos se crean planes de forma incremental, realizando un trabajo de planificación sobre una representación de plan centralizada (des Jardins, Durfee, Ortiz y Wolverton, 1999).

Tarea en planificadores multiagente

En un PMA, definiremos una tarea como una tupla formada por:

- ▶ El conjunto de agentes de planificación.
- ▶ El conjunto de objetos que modelan el dominio sobre el que operan las acciones de los agentes.
- ▶ El conjunto de variables que definen un estado en el que se pueda encontrar el entorno.
- ▶ El conjunto de acciones deterministas de los agentes.
- ▶ Un estado inicial.
- ▶ Un conjunto de metas que deben alcanzar entre todos los agentes, teniendo en cuenta que se considerará cumplido el estado meta independientemente del agente que asigne la última propiedad buscada.

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 dentro de un agente le es desconocida.

Definiremos variable instanciada $\langle v, d \rangle$ como una variable v que o le asigna un valor d o no le asigna dicho valor (asignación negativa $\neg d$).

En los esquemas PMA, 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*.

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.

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 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 distribuida** 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. Planificadores distribuidos

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

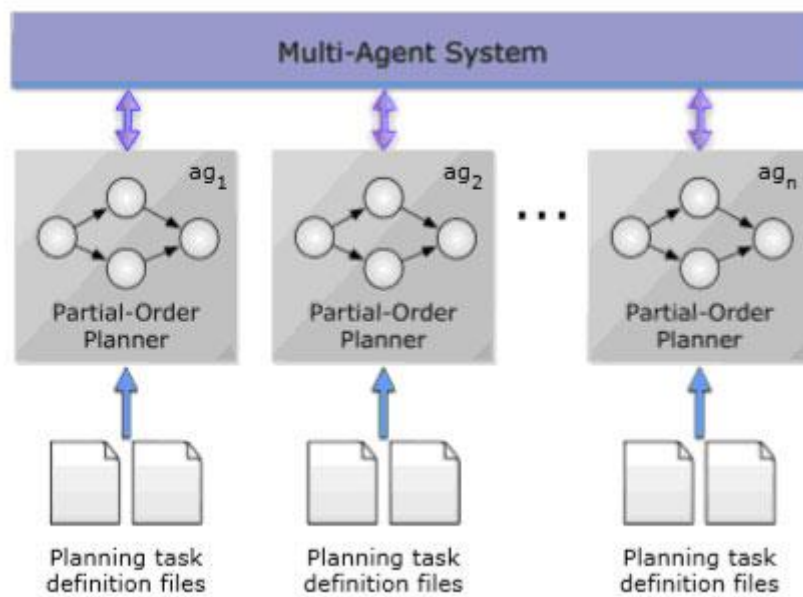


Figura 4. Estructura de un sistema PMA. Fuente: Torreño (2012).

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 no cubre todas las necesidades del problema descentralizado.
- ▶ Un sistema multiagente 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 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.
- ▶ Al permitir, en las variables instanciadas, información explícita de forma positiva y negativa, debemos añadir un sistema que nos simplifique el procesado. Añadimos el concepto de multifunciones que nos permiten codificar parte de la información del problema mediante una notación más compacta.

Con esta información emplearemos un **algoritmo de planificación 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.

11.5. Referencias bibliográficas

Clement, B. (2005). *Workshop on Multiagent Planning and Scheduling*. Taller llevado a cabo en el International Conference on Automated Planning and Scheduling ICAPS-05. Monterrey (California).

des Jardins, M., Durfee, E., Ortiz, C. y Wolverton, M. (1999). A survey of research in distributed continual planning. *AI Magazine*. 20, 13-22.

Durfee, E. (1999). *Distributed problem solving and planning*. San Francisco, CA.: MIT Press.

Kambhampati, S. (1997). Refinement Planning as an Unifying Framework for Plan Synthesis. *AI Magazine*, 18, 67-97.

Torreño, A. (2012). *Diseño e implementación de un sistema de planificación distribuido* (Proyecto Fin de Carrera). Universidad Politécnica de Valencia: Valencia.

Van Der Krogt, R. y De Weerd, M. (2005). *Plan repair as an extension of planning*. International Conference on Automated Planning and Scheduling ICAPS-05. Monterrey (California). Recuperado de <https://www.aaai.org/Papers/ICAPS/2005/ICAPS05-017.pdf>

Lo + recomendado

No dejes de leer

Entornos multiagente

Torreño, A. (2012). *Diseño e implementación de un sistema de planificación distribuido* (Proyecto Fin de Carrera). Universidad Politécnica de Valencia: Valencia

En el primer capítulo se hace referencia a varios trabajos de interés en los entornos multiagente que permiten la coordinación y cooperación de redes de agentes por medio de mecanismos de negociación.

Accede al documento a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/14760/memoria.pdf?sequence=1>

No dejes de ver

Planificación en sistemas complejos

Vídeo sobre planificación en sistemas complejos de J. L. Iglesias.



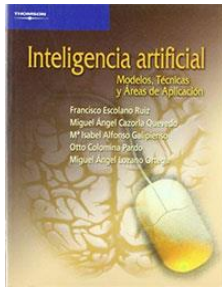
Accede al vídeo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

<https://www.youtube.com/watch?v=KACAJdifJyl&feature=youtu.be>

A fondo

Inteligencia Artificial

Escolano, F., Cazorla, M. A., Alfonso, M. I., Colomina, O. y Lozano, M. A. (2003). *Inteligencia artificial*. Madrid: Thomson.



Lee el capítulo cinco de este libro en el que se habla de la planificación clásica, planificación disyuntiva y planificación como satisfacción de restricciones, entre otras cosas.

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.