

## Tema 11: Planificación por múltiples agentes

# Índice

- ▶ Planificadores multiagente, lenguajes
- ▶ Planificación por múltiples agentes
- ▶ Próxima sesión: FMAP

Planificación  
multiagente





# Planificación multiagente

# Tipos de tarea con múltiples agentes

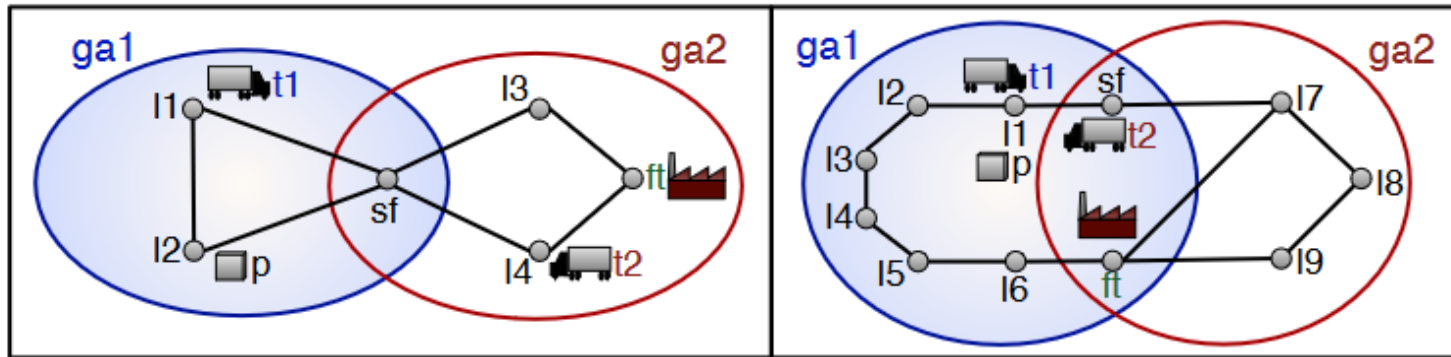


Fig. 1. MAP task examples: task  $T_1$  (left) and task  $T_2$  (right)

Fuente: Torreño et al (2017)

- Las agencias de transporte de  $t_1$  y  $t_2$  no pueden salir respectivamente de  $ga_1$  y  $ga_2$
- En  $T_1$  hay tarea cuyo objetivo es producir un bien en  $ft$  a partir de los materiales de  $p$ . Sólo se puede realizar de forma cooperativa.
- En  $T_2$  la tarea puede realizarse de forma no conjunta, pero es más eficiente realizarla de forma cooperativa.

# Planificación para múltiples agentes

(*task allocation* [Lee, 2017])

Un agente de planificación centralizado mantiene una visión global del estado del mundo.

Genera y coordina los planes de otros agentes de ejecución

Distribuye a estos agentes las tareas o acciones

Cada agente de ejecución debe sensorizar su parte del estado del mundo e informarla al agente de planificación, quien se encargará de realizar las siguientes tareas de manera centralizada:

- **Unificar** los estados del mundo recibidos por cada agente. Pueden ser diferentes porque cada agente puede tener su propia visión del estado del mundo.
- **Generar** un plan solución que a partir del estado del mundo global consiga los objetivos comunes de los agentes de ejecución.
- **Asignar** las acciones del plan solución a cada agente de ejecución.

Los agentes de ejecución pueden tener **sus propios operadores**

**Se pierde privacidad**

Lee, B. H. (2017). Multi-UAV control testbed for persistent UAV presence: ROS GPS waypoint tracking package and centralized task allocation capability. In 2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) (pp. pp. 1742-1750). IEEE.

# Tipos de modelos MAP

Table II. Conceptual schemes according to the number of planning and execution agents (along with example MAP solvers that apply them)

		Planning agents $ \mathcal{AG} $	
		1	$n$
Execution agents	1	Single-agent planning FD [Helmert 2006]	Factored planning ADP [Crosby et al. 2013]
	$n$	Planning <i>for</i> multiple agents TFPOP [Kvarnström 2011]	Planning <i>by</i> multiple agents FMAP [Torreño et al. 2015]

Fuente: Torreño et al (2017)

# Características de los enfoques MAP

## Distribución de los agentes

- Centralizado
- Distribuído

## Procesamiento Computational

- Monolítico
- Distribuido

## Síntesis de planes

- Resolución de interacciones
- Pre- post- o durante la generación del plan

## Comunicación

- Externa
- Interna o simulada

## Preservación de la privacidad

- Se oculta o no información sensible

## Búsqueda heurística

- Heurística Local
- Heurística Global

# Tipos de enfoques multi agente



Planificación **por** y/o **para** múltiples agentes



# MA-STRIPS

Muchas veces las tareas tienen un acoplamiento débil, y se pueden factorizar en sub metas que realizarían (y planificarían) los agentes de forma muy autónoma

... to illustrate the MA-STRIPS model, consider the well-known Logistics domain in which a set of packages should be moved on a (possibly complex) roadmap from their initial to their target locations using a given fleet of vehicles such as trucks, airplanes, etc. The packages can be loaded onto and unloaded off the vehicles, and each vehicle can move along a certain subset of road segments. It is quite natural to model this domain using MA-STRIPS by associating an atom with each package location on the map and in the vehicles, and with each truck location on the map. The action schema are move, load, and unload, with the suitable parameters (e.g., move(truck, origin, destination) and load(package, truck, at-location)). Associating each truck with an agent, we might assign to this agent all the move, load, and unload actions in which it is involved. (Note that disjointness of agents' action set is not problematic here as load(P, T, L) and load(P, T', L) are two different actions in A.)

From one to many: planning for loosely coupled multi-agent systems  
[Brafman RI, Domshlak C (2008)]

# MA-PDDL (dominio de agencia)

```
(define ( domain transport-agency )  
  (:requirements :factored-privacy :typing :equality :fluents )  
  (:types transport - agency area location package product - object truck  
place - location factory - place )  
  
  (:predicates  
    ( manufactured ? p - product ) ( at ?p - package ? l - location )  
    (:private ( area ? ag - transport-agency ?a - area ) (in - area ?p -  
place ?a - area ) ( owner ?a - transport-agency ?t - truck ) ( pos ?t -  
truck ?l - location ) ( link ? p1 - place ? p2 - place ) ) )  
    (:action drive  
      :parameters (? ag - transport-agency ?a - area ? t - truck ? p1 -  
place ? p2 - place )  
      :precondition ( and ( area ? ag ?a) (in - area ? p1 ?a ) ( in - area  
? p2 ?a) ( owner ?a ?t) ( pos ? t ? p1 ) ( link ? p1 ? p2 ))  
      :effect ( and ( not ( pos ? t ? p1 )) ( pos ? t ? p2 )) )  
    [...] )
```

Fuente: Torreño et al (2017)

# MA-PDDL (problema ta1)

```
( define ( problem ta1 )  
  (: domain transport-agency )  
  (: objects  
    ta1 - transport-agency  
    ga1 - area l1 l2  
    sf - place  
    p - package  
    fp - product  
    (: private t1 - truck ) )  
  (: init ( area ta1 ga1 ) ( pos t1 l1 ) ( owner t1 ta1 ) ( at p l1 )  
    ( link l1 l2 ) ( link l2 l1 ) ( link l1 sf ) ( link sf l1 ) ( link  
    l2 sf ) ( link sf l2 ) (in - area l1 ga1 ) (in - area l2 ga1 ) (in -  
    area sf ga1 ) )  
  (: goal (manufactured fp)) )
```

Fuente: Torreño et al (2017)



# Planificación por múltiples agentes

# Planificación con representación centralizada

**Representación centralizada del plan:** cada agente tiene una visión global de cómo va el plan (pizarra)

**Confección distribuida de ese plan común:** varios agentes independientes planifican de forma incremental para generar esa representación centralizada del plan. Suele derivar en la planificación distribuida (Ej: Partial Global Planning (PGP) [Durfee E. H., 1987], GRATE [Jennings, 1993]).

Existen dos elementos principales que se diferencian la planificación clásica:

- La **coordinación de las actividades** de planificación. Implica, por ejemplo, implementar un protocolo que permita planificar por turnos.
- La **distribución de la información** entre agentes. Implica que cada agente tiene su propia visión del estado del mundo, y sus propias capacidades. Y que además pueden o no comunicar dicha información entre ellos.

# Planificación distribuida

- **Una descripción formal del dominio y el problema**, especificada por medio de un lenguaje de planificación, aunque es necesario extender los estándares PDDL. En ninguna de sus versiones, 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 contruidos y la toma de decisiones del plan inicial.
- Un **Partial-Order Planner** (POP) que tendrá embebido cada uno de los agentes y que le permitir refinar el plan global inicial aportando sus subplanes elaborados.

# Aspectos adicionales por definir

- Información compartida por los agentes (pública y privada)
- Metas privadas y públicas (o globales)
- Las variables instanciadas pueden contener información explícita de forma positiva y negativa (multifunciones)
- Hay planificadores que usan Partial Order Forward Chaining (POFC, exploran planes ejecutables) y otros tipo Partial Order Casual Link (POCL)
- Heurísticas locales o globales

Lenguajes: MA-PDDL, MA-STRIPS

Planificadores: FMAP, MAPR, PMR, SIW...

# Refinamiento de planes

- ▶ Hipótesis de mundo abierto

Permite instanciar las variables asumiendo que aquella información que no está definida de modo explícito es desconocida para el agente.

- ▶ Refinamiento de planes

1. Un agente propone un plan P (vacío) para solucionar un conjunto de metas abiertas en un problema global
2. A continuación, el resto de los agentes completan P mediante refinamientos sucesivos: fragmentos de planes que completan las metas abiertas (Kambhampati, 1997)

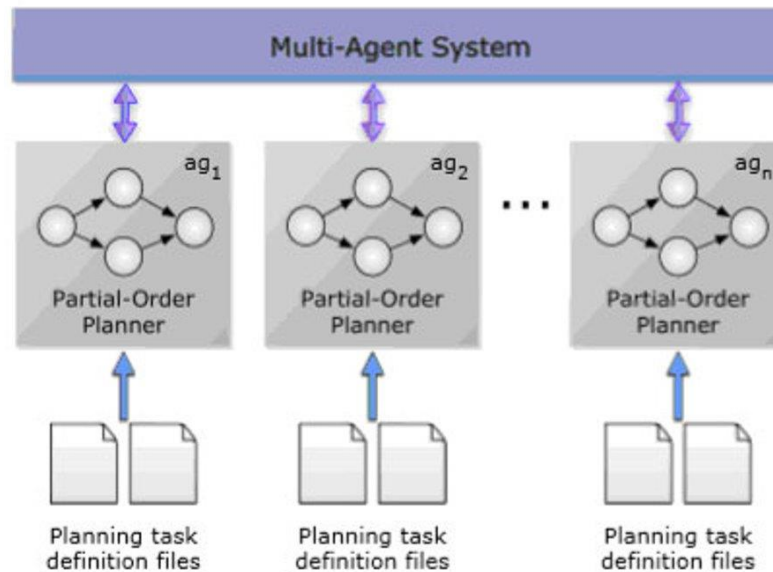


# Características diferenciadoras

- Comunicación entre agentes

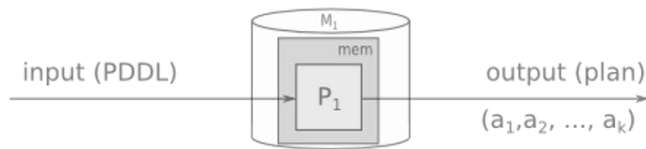
Se requieren protocolos de comunicación, que son costosos

Su necesidad varía: puede haber votaciones, tomar turnos, o ser innecesaria (planificación reactiva)

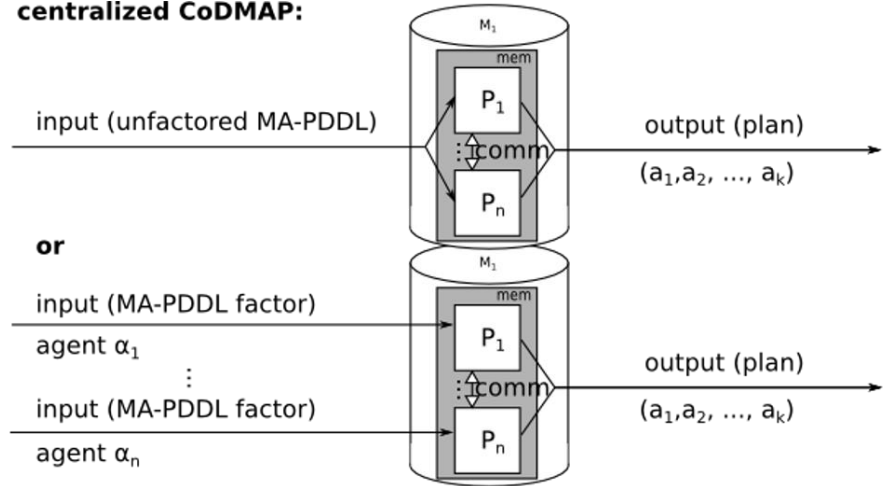


# CoDMAP

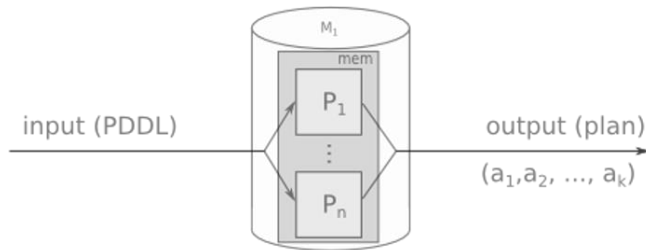
## IPC:



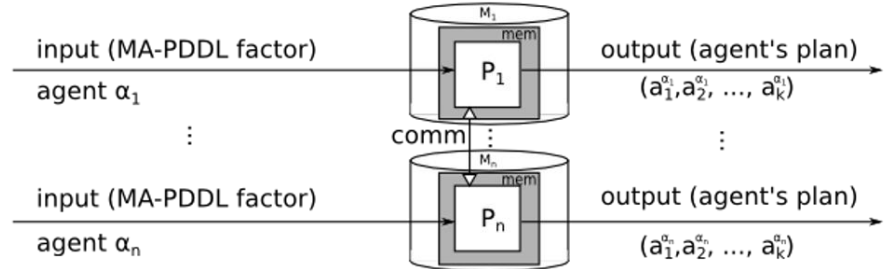
## centralized CoDMAP:



## multi-core IPC:



## distributed CoDMAP:



Fuente: <http://agents.fel.cvut.cz/codmap/>

# CoDMAP

Table IV. Summary of the state-of-the-art MAP solvers and their features. For unthreaded solvers, the plan synthesis schemes are listed in form of pairs "agent coordination" & "local planning technique".

MAP Solver	Coordination strategy	Computational process	Plan synthesis scheme	Heuristic	Privacy	CoDMAP	
						Cent. track	Dist. track
ADP [Crosby et al. 2013]	UT	C	Automated task agentization & heuristic forward search (FD)	L	N	1st/5th	-
MAP-LAPKT [Muisse et al. 2015]	UT	C	Task mapping into single-agent task & heuristic forward search (LAPKT)	G	W	2nd/3rd/6th	-
MARC [Sreedharan et al. 2015]	UT	C	Task mapping into transformer agent task & planning via FD or IBACOP → solution plan translation into original MAP task	G	W	4th	-
CMAF [Borrajo and Fernández 2015]	UT	C	Pre-planning goal allocation → task mapping into single-agent task → solution plan parallelization & heuristic forward search (LAMA)	G	W	7th/8th	-
MAPlan [Fišer et al. 2015]	IL	D	Multi-agent heuristic forward search	G/L	W	9th/18th/19th	2nd/5th/6th
GPPP [Maliah et al. 2016]	IL	C	Multi-agent heuristic forward search (relaxed, subgoals)	G	W	10th/11th	-
PSM [Tožička et al. 2016]	UT	D	Intersection of Finite Automata & heuristic forward search (LAMA) → Finite Automata	G	W	12th/16th	1st/4th
MADLA [Štolba and Komenda 2014]	IL	C	Multi-agent multi-heuristic state-based search	G/L	W	13th	-
PMR [Luis and Borrajo 2014]	UT	C	Pre-planning goal allocation → Plan merging → plan repair → solution plan parallelization & heuristic forward search (LAMA)	L	W	14th	-
MAPR [Borrajo 2013]	UT	C	Pre-planning goal allocation → iterative response planning → solution plan parallelization & heuristic forward search (LAMA)	L	W	15th	-
MH-FMAP [Torreño et al. 2015]	IL	D	Multi-agent A* multi-heuristic search via forward POP	G	W	17th	3rd
DPP [Shani et al. 2016]	UT	C	Synthesis of high-level plan over DP projection (FD) & heuristic forward search (FF)	L	OC	-	-
FMAP [Torreño et al. 2014b]	IL	D	Multi-agent A* heuristic search via forward POP	G	W	-	-
MAFS [Nissim and Brafman 2012]	IL	D	Multi-agent heuristic forward search	L	W	-	-
MAD-A* [Nissim and Brafman 2012]	IL	D	Multi-agent A* heuristic forward search	L	W	-	-
MAP-POP [Torreño et al. 2014a]	IL	D	Multi-agent A* heuristic search via backward POP	G	W	-	-
Planning First [Brafman and Domshlak 2008]	UT	C	Post-planning coordination via DisCSP & heuristic forward search (FF)	-	N	-	-
μ-SATPLAN [Dimopoulos et al. 2012]	UT	C	Pre-planning goal allocation → iterative response planning & SAT	-	N	-	-
TFPOP [Kvarnström 2011]	UT	C	Forward-chaining partial-order planning & synthesis of agent-specific thread of actions	-	N	-	-
Distoplan [Fabre et al. 2010]	UT	C	Message passing algorithm & Finite Automata	-	N	-	-
DPGM [Pellier 2010]	UT	C	Iterative response planning & GraphPlan + CSP plan extraction	-	N	-	-
A# [Jezequel and Fabre 2012]	UT	C	Asynchronous communication mechanism & A* heuristic forward search	G	N	-	-
Secure-MAFS [Brafman 2015]	IL	C	Multi-agent heuristic forward search	L	S	-	-

Computational process: C - centralized solver, D - distributed solver

Coordination strategy: UT - unthreaded, IL - interleaved

Privacy: N - no privacy, W - weak privacy, OC - object cardinality privacy, S - strong privacy

Heuristic: L - local, G - global

CoDMAP: coverage classification, Cent. track - centralized track, Dist. track - distributed track, a '-' indicates that the solver did not participate in a track.

Fuente: <http://agents.fel.cvut.cz/codmap/>

# Recursos

- ▶ Revisión del campo, lectura recomendada

Torreño et al (2017) Cooperative Multi-Agent Planning: A Survey  
<https://arxiv.org/pdf/1711.09057.pdf>

- ▶ ADP

Crosby, M., Rovatsos, M., & Petrick, R. (2013). Automated Agent Decomposition for Classical Planning. *Proceedings of the International Conference on Automated Planning and Scheduling*, 23(1), 46-54.  
Retrieved from <https://ojs.aaai.org/index.php/ICAPS/article/view/13564>

- ▶ MA-STRIPS

Brafman RI, Domshlak C (2008) From one to many: planning for loosely coupled multi-agent systems. In: Proceedings of ICAPS'08. <https://www.aaai.org/Papers/ICAPS/2008/ICAPS08-004.pdf>

- ▶ Competición CoDMAP

<http://agents.fel.cvut.cz/codmap/>



[www.unir.net](http://www.unir.net)