



INDUSTRIALES

ETSII | UPM

Índice

POLITÉCNICA

1. MRS: motivaciones y costes.
2. Aplicaciones más típicas, tipos de cooperación.
3. Clasificación de los MRS.
4. Técnicas y estrategias; ejemplos.
5. Proyectos de investigación más representativos.



Introducción

Motivaciones

- Tarea demasiado grande o compleja
- Tiempo de ejecución
- Tolerancia a fallo (perdida de un elemento)
- Mas barato y fácil que construir un robot complejo
 - Economía de escala
- Complementariedad en cuanto a movilidad e instrumentación
- Adaptabilidad a cambios y nuevas misiones

POLITÉCNICA

-
- INDUSTRIALES
ETSII | UPM
- POLITÉCNICA
- # Tipos y elementos
- ## Equipos de robots:
- ### 1. Grupo de robots móviles (homogéneos o heterogéneos)
- Numero limitado 3~10 de unidades
 - Unidades relativamente complejas
-
- ### 2. "Swarms"
- Numero muy alto de unidades (decenas)
 - Unidades sencillas
 - Probados principalmente en simulación
 - Inspirados a colonias de insectos
-
- Comportamiento
"emergente"
- ### 3. Manipulación coordinada
- Brazos fijos o montados en plataformas móviles
 - Generalmente limitados a 2-3 elementos
 - Tareas de manipulación
-

Tipos y elementos

Equipos de robots:

1. Grupo de robots móviles (homogéneos o heterogéneos)
 - Numero limitado 3~10 de unidades
 - Unidades relativamente complejas
2. "Swarms"
 - Numero muy alto de unidades (decenas)
 - Unidades sencillas, homogéneas
 - Probados principalmente en simulación
 - Inspirados a colonias de insectos
3. Manipulación coordinada
 - Brazos fijos o montados en plataformas móviles
 - Generalmente limitados a 2-3 elementos
 - Tareas de manipulación

Solo unos ejemplos

Tipos y elementos

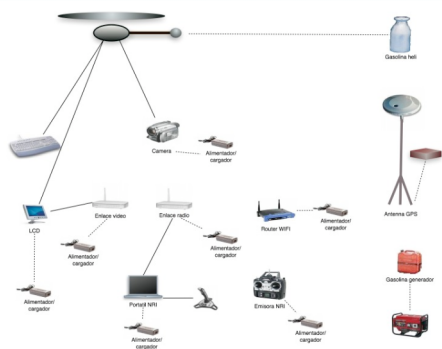
Un sistema multi-robot (tipo 1) está compuesto por tres partes principales:

- Robots móviles (homogéneos o heterogéneos)
- Segmento fijo (estación de mando y control)
 - Puede ser portátil
- Otros elementos fijos
 - Sensores
 - Enlaces de comunicaciones
 - Docking stations (p.e. cargadores de baterías)
 - Pueden ser fijos o desplegados en el campo de acción



Tipos y elementos

Ejemplo
(Proj. FRACTAL)



Tipos y elementos

- En esta conferencia nos centramos en la coordinación entre robots
 - Robots móviles
- Dos opciones básicas:
 - Control centralizado
 - Control distribuido Entre las dos un amplio espectro

Tipos y elementos

Control Centralizado

- Permite obtener una solución optima
- Se pueden aplicar varias técnicas "clásicas" como linear programming, invest. operativa
- Requiere mucha información
- Requiere comunicación global
- Crea un cuello de botella
- Escala muy mal
- Es muy lento (estado global es muy grande)
- No es robusto (punto débil)

Tipos y elementos

Control Distribuido

- Cada robot decide que hacer
- No se necesita acumular información
- Se minimiza la comunicación
- El grupo se puede redimensionar dinámicamente
- Escala bien
- Los individuos se pueden adaptar (especializar)



INDUSTRIALES
ETSII | UPM

POLITÉCNICA

Clasificación

Dudek

- Tamaño: 1, 2, algunos, infinitos (enjambre)
- Comunicaciones:
 - Radio: ninguna, solo vecinos, infinito
 - Topología: Broadcast, p2p (address), tree, graph
 - Banda: infinita, limitada, baja, nula
- Configuración : estática, solo vecinos, dinámica
- Capacidad de procesamiento (inteligencia)
- Composición: heterogéneos, homogéneos



INDUSTRIALES
ETSII | UPM

POLITÉCNICA

Clasificación

Gerkey-Mataric

- Single-Task robots (ST) vs. Multi-Task robots (MT)
- Single-Robot tasks (SR) vs. Multi-Robot tasks (MR)
- Instantaneous Assignment (IA) vs. Time-extended Assignment (TA)

MRS: (*T,*R,*A)

Ejemplo:

(ST,SR,IA) = ?



INDUSTRIALES
ETSII | UPM

POLITÉCNICA

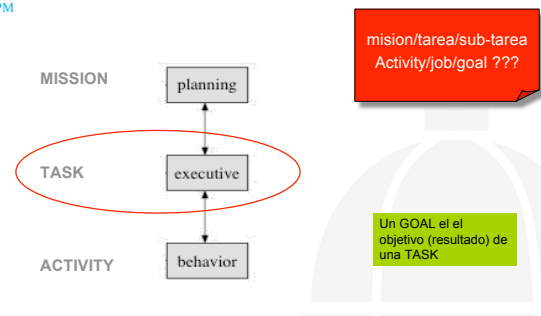
Técnicas



INDUSTRIALES
ETSII | UPM

POLITÉCNICA

Técnicas





INDUSTRIALES
ETSII | UPM

POLITÉCNICA

Loose cooperation

Parte A: Loose cooperation



INDUSTRIALES
ETSII | UPM

POLITÉCNICA

Loose cooperation

Parte A: Loose cooperation

La misión puede ser descompuesta en bloques, y los bloques asignados a distintos robots (e.g. exploración, búsqueda).

ST-SR; MT-SR: Single or Multi Task robots - Single robot Task

Los bloques (Tasks) pueden ser llevados a cabo por un solo robot.



INDUSTRIALES
ETSII | UPM

POLITÉCNICA

Loose cooperation

Hay 5 técnicas base:

1. Behavior-based
2. Schemas
3. Market-based
4. Plan-merging (PMP/PMO)
5. Ninguna cooperación -> cooperación emergente



INDUSTRIALES
ETSII | UPM

POLITÉCNICA

Loose cooperation/Behavior

1. Behavior-based

Cada robot tiene un conjunto de funciones básicas (behavior set)
Behaviors = son procesos concurrentes que se activan según

- el objetivo de la misión,
- las condiciones del entorno,
- la actividad observada de otros robots,
- el estado en que se encuentran, gobernado por parámetros de "impaciencia" y "aceptación"
- su prestaciones en tareas anteriores.

Representantes: ALLIANCE (L. Parker)



INDUSTRIALES
ETSII | UPM

POLITÉCNICA

Loose cooperation/Behavior

¿Como se asignan las tareas? 3 soluciones (ALLIANCE):

- ignora a los demás, solo actúa según la propia impaciencia (v. cross inhibition)
- la tarea es ejecutada por el que tiene mejor prestaciones
- un robot puede "quitar" la tarea a otro se ve que la puede hacer mejor (e.g. tiempo)

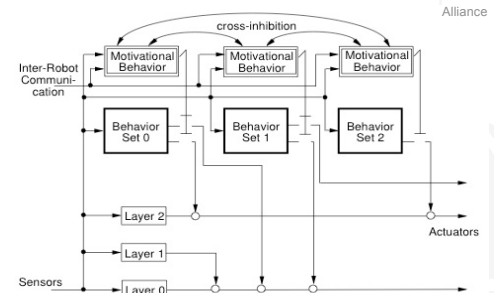
Nota: en L-ALLIANCE las prestaciones están basadas en la experiencia (learning)



INDUSTRIALES
ETSII | UPM

POLITÉCNICA

Loose cooperation/Behavior





INDUSTRIALES
ETSII | UPM

POLITÉCNICA

Loose cooperation/Schema

2. Schemas (patrones de comportamiento)

-incluye **PABs** (Port-Arbitrated Behaviors)

Parecido a comportamientos, pero más "fino": schemas are specialized subsystems realizing a tight coupling between perception and action (e.g. Move-to-target; avoid-obstacle;...)

Para conseguir una tarea determinada, un robot construye una red de esquemas.

En MRS la red incluye E/S de esquemas de otro robots

Representantes: Arkin, ASyMTRe [-D], AYLLU



INDUSTRIALES
ETSII | UPM

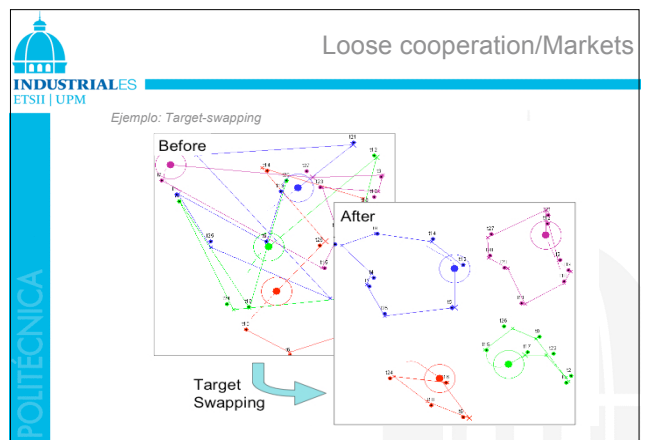
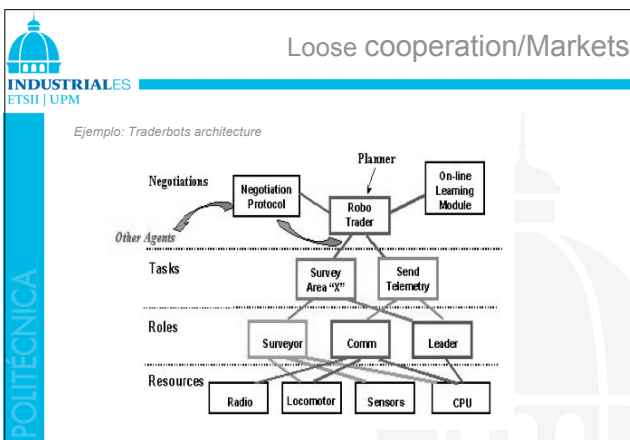
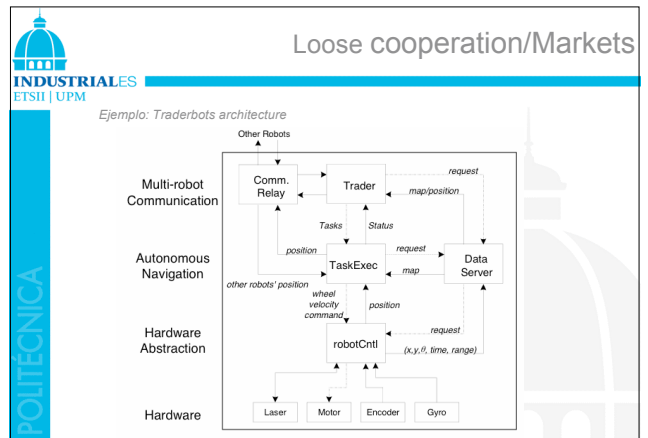
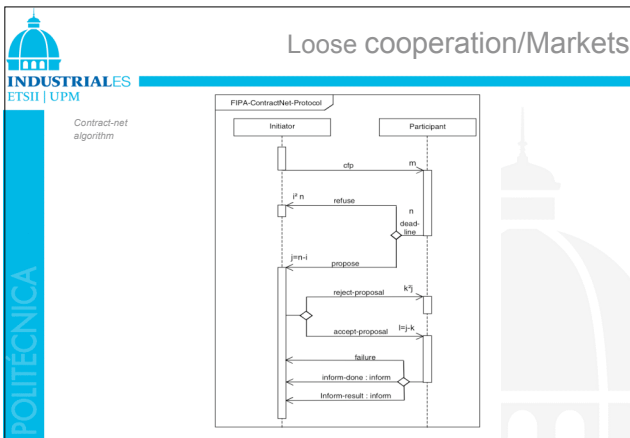
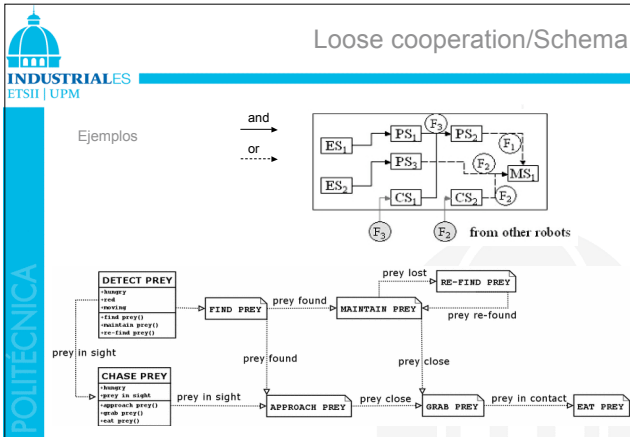
POLITÉCNICA

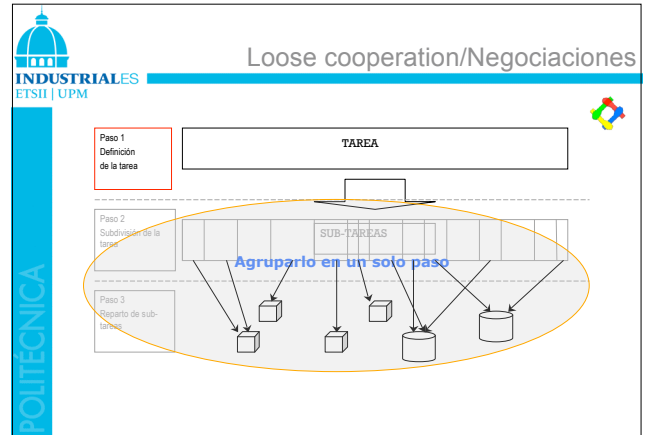
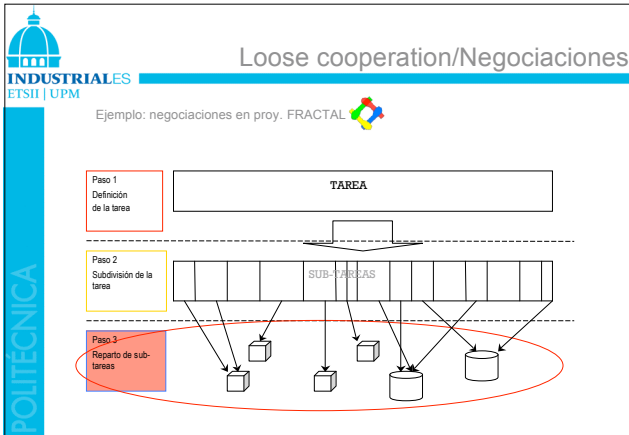
Loose cooperation/Schema

Un esquema incluye:

- Puertos de entrada y salida,
- Variables locales,
- behavior (maps input o outputs).

Hay 3 tipos de esquemas: sensores (ES), perceptual (PS), motor (MS), más communication (CS) para entrada/salida desde esquemas de otro robots.





INDUSTRIALES
ETSII | UPM

Loose cooperation/Negociaciones

- Cooperación débil = reparto de tareas (planificación)
- Se necesita subdividir la tarea total
- Enfoque distribuido
- Primer paso: definición de "tarea"

Aclaración: nos interesa la "tarta" que hay que repartir, no lo que los robots van a hacer con ella

- Área
- Perímetro
- ...

INDUSTRIALES
ETSII | UPM

Loose cooperation/Negociaciones

T está definida por k parámetros $\underline{p} = \{p_1, \dots, p_k\}$

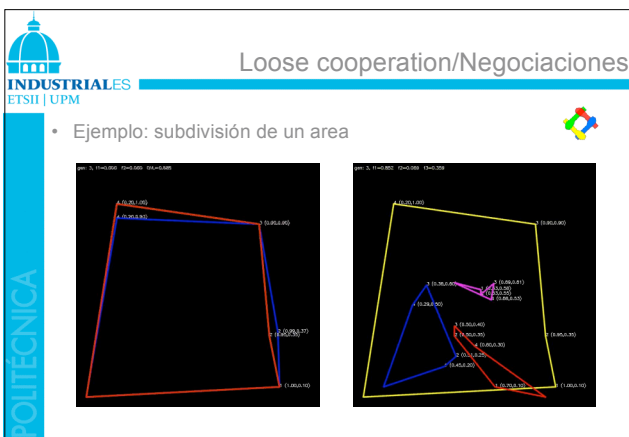
$p = ((x_1, y_1), \dots, (x_k, y_k))$

$p = ((x_1, y_1, x_1), \dots, (x_k, y_k, x_k))$

$p = ((x_1, y_1), \dots, (x_k, y_k))$

$T(\underline{p}) = \{T_1(\underline{p}^{(1)}), \dots, T_R(\underline{p}^{(R)})\}$, $R = \text{numero de robots}$ $\bigcup_{i=1}^R T_i = T$ $T_i \cap T_j = \emptyset$.

Si somos capaces de diseñar algoritmos que resuelven esto problema, podemos resolver *cualquier* problema parecido !



INDUSTRIALES
ETSII | UPM

Loose cooperation/Plan merging

4. Plan merging (PMP/PMO)

Una "estación central" manda distintos **goals** a los robots. Cada robot descompone el goal en **acciones** (individual plan). (Goals sucesivos se descomponen FCFS y las acciones se ponen en una cola.)

Representantes: MARTHA; proy. COMETS;

Loose cooperation/Plan merging

Antes de ejecutar una acción, los robots tienen que asegurarse que sea válida en el contexto multirobot.

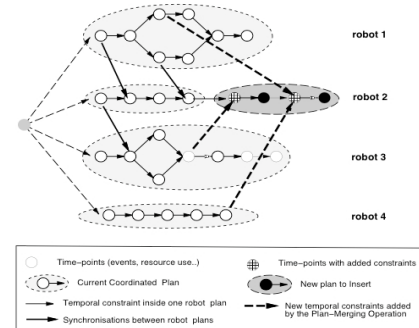
Para ello, hay un paso de fusión de los planos (Plan Merging Operation).

La PMO añade execution events, o sea vínculos temporales entre acciones, y crea un DAG, que constituye el plan global.

PMO: cada robot (en mutex) inserta su acciones en el plan global, teniendo en cuenta los vínculos.

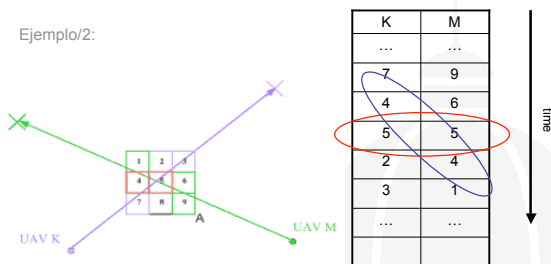
Loose cooperation/Plan merging

Ejemplo:



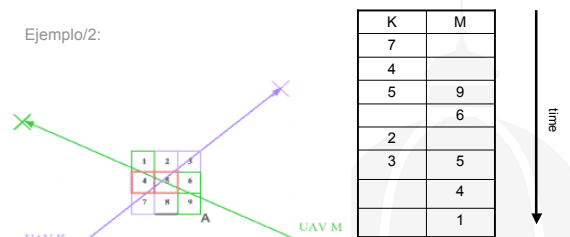
Loose cooperation/Plan merging

Ejemplo/2:



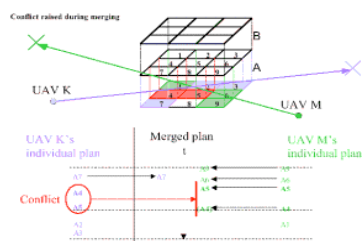
Loose cooperation/Plan merging

Ejemplo/2:



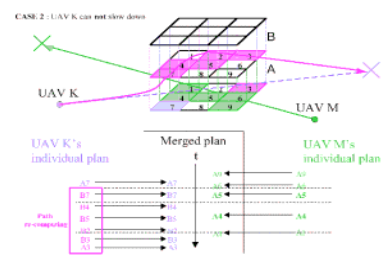
Loose cooperation/Plan merging

Ejemplo/2:



Loose cooperation/Plan merging

Ejemplo/2:



Loose cooperation/Plan merging

Ejemplo/3: AVCL + PMO (Proy. FRACTAL)

- AVCL es el "plan" de vuelo
- Dato el estado del vehiculo (pos+rumbo+vel) y el plan (= programa AVCL), se puede calcular cual sería la ruta "ideal" de los vehículos
- > Los vehículos pueden hablarse en AVCL para
 - Detectar colisiones
 - Establecer prioridades de paso
 - Coordinar acciones

Ejemplos de instr. AVCL:

```

Robot.doLine(point_A)
Robot.takeOff()
Robot.doArc(degrees,radius,way)
Robot.takePicture()
            
```

Loose cooperation/Plan merging

AVCL + PMO

UAV1

```

...
B-UAV1 pos = 300m SW
UAV1 DoArc (90 deg, radius 100m, CCW)
UAV1.LineTo(B)
...
            
```

UAV2

```

WayPoint_A = (32°12'00", 10°3')
B-UAV1 pos = 300m SW
WayPoint_A = (32°12'00", 10°3')
UAV2.LineTo(WayPoint_A)
...
            
```

Loose cooperation/NoCoop

6. No cooperation / emergent cooperation

Cada robot tiene actúa según un plan o un comportamiento, de forma reactiva

Inspirados tb. de animales (insectos etc., véase SWARMS)

La cooperación "emerge" como resultado de la actividad de los individuos

Representantes: PLAYS (Velooso)

Loose cooperation/NoCoop

Ejemplo: PLAYS (M.Velooso, CMU)

- Técnica usada en robot soccer
- Muy exitosa

Tactics = Behavior !

Active Tactics:

```

shoot (Aim | Noaim | Deflect (role))
steal [(coordinate)]
clear
active.def [(coordinate)]
pass (role)
dribble.to.shoot (region)
dribble.to.region (region)
spin.to.region (region)
receive.pass
receive.deflection
dribble.to.position (coordinate) (theta)
position.for.kick
            
```

Loose cooperation/NoCoop

Ejemplo: PLAYS

- Playbook: libro de estrategias
- Play: "esquema"
- Plays están formados por una secuencia de acciones (=comportamientos =tacticas), agrupadas en roles
- En cada momento, el sistema decide que esquema adoptar (ej. atacar, defender,...)
 - Según la situación
 - Seleccionando las que han dado mejores resultados

Coordinación a través de los ROLES

¡ NO HAY COMUNICACIÓN EXPLÍCITA !

Comunicación a través del entorno

```

PLAY Two Attackers, Pass from Corner
APPLICABLE offense in_their_corner
DONE aborted !offense
TIMEOUT 15
OROLE 0 closest_to_ball
ROLE 1
pass 3
mark 0 from_shot
none
ROLE 2
block 320 900 -1
none
ROLE 3
position_for_pass { R { B 1000 0 } ...
receive_pass
shoot A
none
ROLE 4
defend_line { -1400 1150 } ...
none
            
```

Tight cooperation

Parte B: Tight cooperation

Parte B: *Tight cooperation*

La misión **NO** puede ser descompuesta en bloques (e.g. marcha en formación, fútbol, box pushing).

ST-MR; MT-MR: Single or Multi Task robots - Multi robot Task
Los bloques (Tasks) **NO** pueden ser llevados a cabo por un solo robot

Tight cooperation

Las técnicas mas usadas son las basadas en comportamientos:

- Behavior-based
- Schemas

Robot soccer? -> **!!!PLAYS!!!**

Además, para la marcha en formación hay técnicas basadas en estructuras matemáticas:

1. Deformable shapes / elastic shapes
2. Virtual structures
3. Active contours/snakes

Tight cooperation

Ejemplo: box pushing con comportamientos (Alliance L. Parker)



Ejemplo: Marcha en formación con comportamientos (Asymtre, L. Parker)



Tight cooperation

1. Deformable shapes / elastic shapes
2. Virtual structures
3. Active contours/snakes

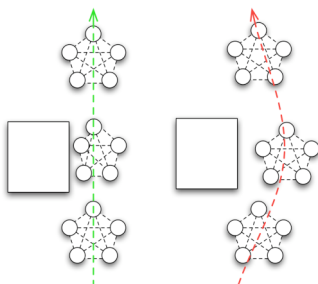
- Técnicas usadas principalmente en coordinación de movimientos y en marcha formación

- La idea principal es definir una estructura geométrica entre los elementos y usar propiedades de deformación de esta



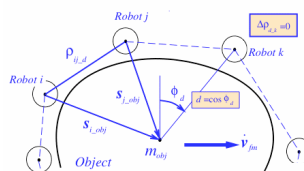
Tight cooperation

- Relaciones modeladas como
 - Fuerzas de atracción/repulsión entre vehículos
 - Parámetros geométricos
- Variando los parámetros se puede obtener comportamientos diversos



Tight cooperation

- Ejemplo: “caging” (rodear)



$$\rho_{ij-d} = \rho_d + \Delta\rho_{d-i} + \Delta\rho_{d-j}$$

$$\Delta\rho_{d-i} = -l_{dfm}m_{obj}||\dot{\mathbf{v}}_{fm}||(\frac{\dot{\mathbf{v}}_{fm} \cdot \mathbf{s}_{i-obj}}{||\dot{\mathbf{v}}_{fm}|| ||\mathbf{s}_{i-obj}||} + d)$$