

Interacciones en los Sistemas Multiagentes: Cooperación y Coordinación

Jose Aguilar

CEMISID, Facultad de Ingeniería

Universidad de los Andes

Mérida, Venezuela

aguilar@ula.ve

Tipos de Interacción

Cooperación
Coordinación
Negociación

Como construir una sociedad de
agentes

Co-operación

- Forma de dependencia mutua
- Agentes forman un equipo co-operativo cuando:
 - Todos los agentes comparten un objetivo común
 - Se requiere que cada agente haga su parte para lograr el objetivo común
 - Cada agente adopta hacer su parte

COOPERACION

proceso por el que ciertos agentes participantes generan deberes mutuamente dependientes para actividades conjuntas (planes).

Las situaciones de cooperación aparecen cuando los agentes tienen que resolver problemas o tareas interdependientes

- Se recibe un problema en cierto nivel de abstracción.
- El agente resuelve localmente aquello que es posible.
- Recurre a otros agentes del mismo nivel para el resto de las tareas.
- Recurre a otros niveles de abstracción para el resto de las tareas.

Principios de la Cooperación en Agentes

- *La cooperación para alcanzar un objetivo G se logra si*
 - Los agentes comparten G como una meta común.
 - La cooperación es algo más que una *coordinación accidental*
 - Los agentes deben tener una preferencia para alcanzar G y poseer la suposición de que cooperar es interesante
 - Si para alcanzar G se tienen que alcanzar los subobjetivos $g_1..g_n$, entonces los agentes los adoptan

COOPERACION

- **Ventajas:**
 - Realización de tareas no abordables individualmente
 - Mejora rendimiento del sistema
 - Mejora en el uso de los recursos del sistema
- **Cooperación requiere de una estructura social, organización que repercute sobre los agentes**
 - Aumenta funcionalidad del sistema
 - Restringe el comportamiento individual de los agentes

COOPERACION

- Las situaciones de cooperación aparecen cuando los agentes tienen que resolver problemas o tareas interdependientes.
- Análisis de las formas de cooperación:
 - Punto de vista interior (postura intencional)
 - Punto de vista exterior (criterios observables y cuantificables)
- Métodos de cooperación: agrupación, especialización, y colaboración por reparto de tareas, negociación, Protocolo de votación, etc.

COOPERACION

A. FORMAS DE COOPERACION

- COOPERACION COMO ACTITUD INTENCIONAL
- COOPERACION DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL OBSERVADOR

B. INDICES PARA CALIFICAR LA COOPERACION

COORDINACION DE ACCIONES

COMPARTIR RECURSOS

GRADO DE PARALELISMO

ROBUSTES

REDUNDANCIA DE LAS ACCIONES

PERSISTENCIAS DE LOS CONFLICTOS

COOPERACION

C. RAZONES DE LA COOPERACION

- MEJORAR CAPACIDAD DE SOBREVIVIR

- INCREMENTAR RENDIMIENTOS

VENTAJAS VS. AMPLIFICACION DE CAPACIDADES	CUALITATIVAS	CUANTITATIVAS
CUALITATIVAS		CATALISIS
CUANTITATIVAS	EFFECTO DE MASAS	

- RESOLVER CONFLICTOS

COOPERACION

D. ALGUNOS METODOS DE COOPERACION

- COLABORACION PARA COMPARTIR TAREAS Y RECURSOS
- TIPO PIZARRA
- VOTACIÓN.
- EMERGENTES: ESPECIALIZACION

Cooperación

Enfoque Divide y vencerás

- Pequeñas sub-tareas requieren agentes menos capaces
- menos recursos

Distribuir Criterios:

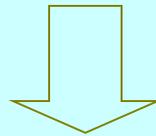
- Evite sobrecargar los recursos críticos
- Asignar tareas a los agentes con capacidades
- Hacer un agente con amplia vista para asignar tareas a otros agentes
- Asignar responsabilidades superpuestas a los agentes para lograr la coherencia
- Asignar tareas altamente independientes a los agentes en la proximidad espacial o semántico
- minimiza los costes de comunicación y sincronización
- Reasignar tareas si es necesario para completar las tareas urgentes

COLABORACION Y REPARTICION DE TAREAS

Repartir tareas, recursos e información implica:

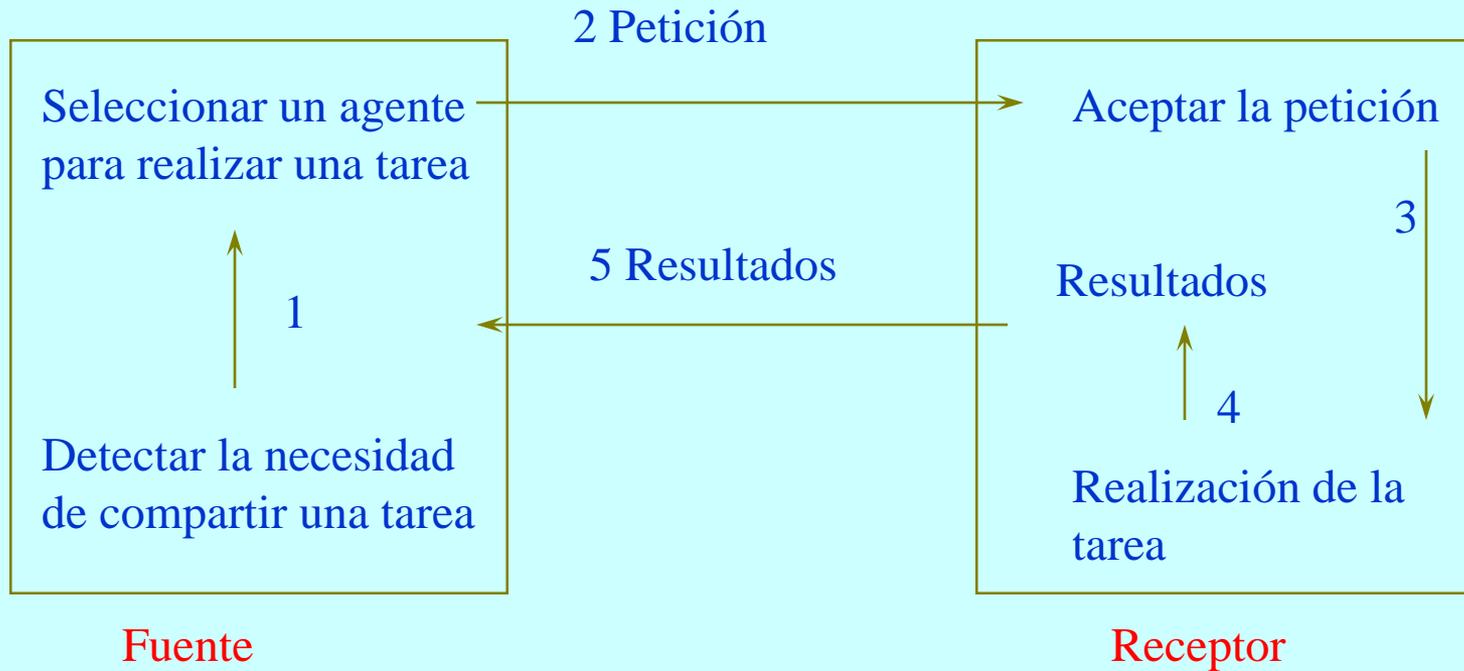
– Quién debe hacer qué con qué medios

En función de los objetivos y competencias de los agentes y restricciones del ambiente



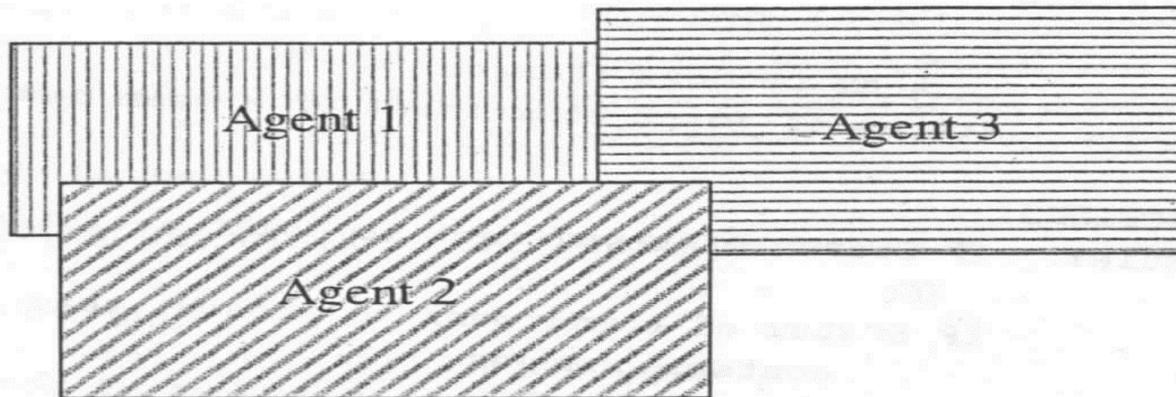
Descomposición de Tareas

REPARTICION DE TAREAS

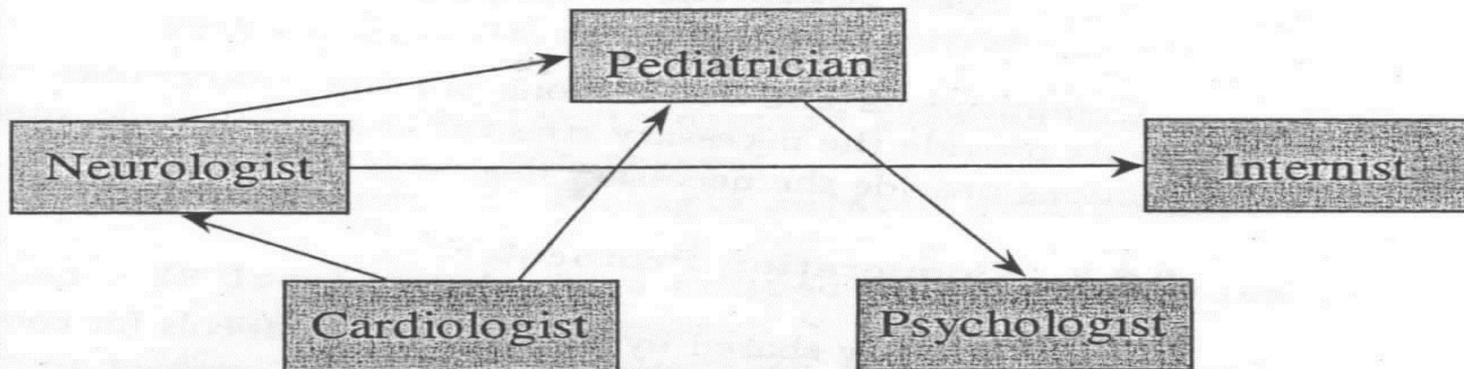


REPARTICION DE TAREAS

Descomposición espacial por fuente de información



Descomposición funcional por experticie



COLABORACION Y REPARTICION DE TAREAS

- **ROLES**

CLIENTES O DEMANDADORES

PROVEEDORES O SERVIDORES

MEDIADORES

- **FORMAS DE ASIGNACION**

PREDEFINIDA

CENTRALIZADA

- JERARQUICO=> IMPUESTA

- IGUALITARIO => MEDIADOR

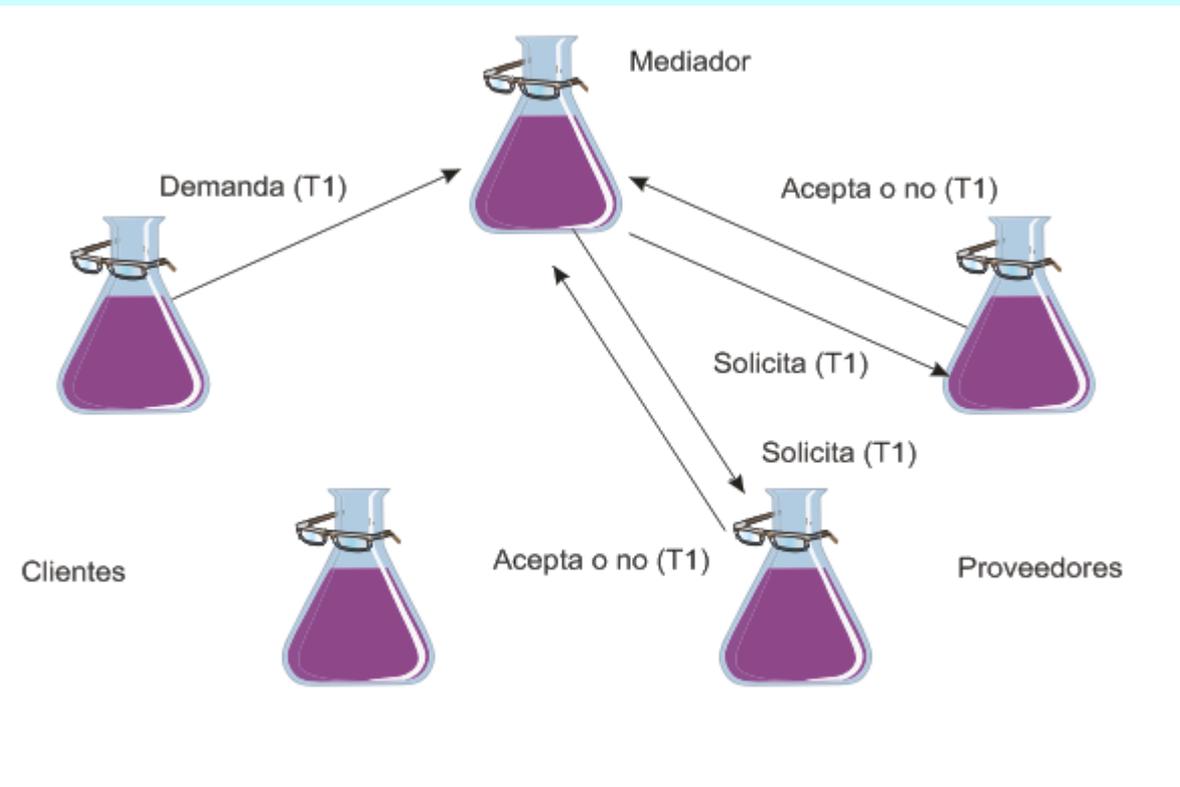
DISTRIBUIDA

- RED DE CONTACTOS: directa o delegar

- RED DE CONTRATO: licitación o subasta

EMERGENTE

Asignación de Recursos



Centralizada clásica.
Centralizada con mediador.
Por redes de amistades.
por concurso
Emergente

ASIGNACION ESTATICA CON MEDIADOR

Asignación centralizada mediante *broker*

- Estructuras igualitarias.
- *Broker*: tabla con agentes conocidos y sus características, recibe peticiones para buscar servidores.
- Fácil actualizar
- Problemas típicos de estructuras centralizadas.

ASIGNACION ESTATICA CON MEDIADOR

- *ESTRUCTURA DE DATOS*
 - LISTA DE AGENTES CON SUS COMPETENCIAS
 - DEMANDA DEL MEDIADOR (TAREA A HACER SOLICITADA)
- *DOS CASOS*
 - MEDIADOR CONOCE FUNCION DE EVALUACION DEL PROVEEDOR
 - MEDIADOR NO CONOCE FUNCION DE EVALUACION (CADA PROVEEDOR DEBE FORMULAR UNA PROPUESTA)

ASIGNACION POR RED DE CONTACTOS

- ***ESTRUCTURA DE DATOS***
 - C/AGENTE TIENE MATRIZ DE COMPETENCIAS PARAC/AGENTE QUE CONOCE
 - **GRAFO**: AGENTES SON NODOS Y ARCOS LAS COMPETENCIAS QUE CADA AGENTE CONOCE DEL OTRO
- ***ASIGNACION DIRECTA***
- ***ASIGNACION POR DELEGACION***
 - DEFINICION DEL PEDIDO/DEMANDA
 - DELEGACION: ENVIO MENSAJE
 - EVALUACION PROPOSICION
 - ENVIO DECISION

ASIGNACION *POR DELEGACION*

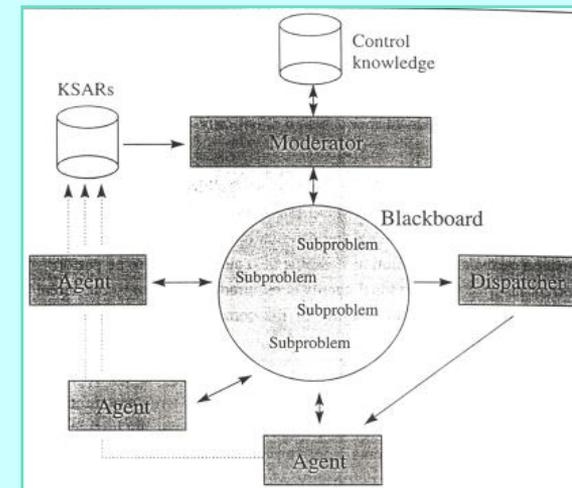
- Un agente Ag1 necesita de, o le **gustaría incluir, una acción del conjunto de habilidades de Ag2** en su propio plan.
- El agente Ag1 **debe satisfacer una meta que no puede cumplir por si mismo**, delega la acción al agente Ag2, que puede y desea ejecutar esa acción.
- De alguna manera, el **agente Ag1 confía en el agente Ag2**, lo que significa que el planea lograr una meta a través de la acción del agente Ag2.

ASIGNACION *POR DELEGACION*

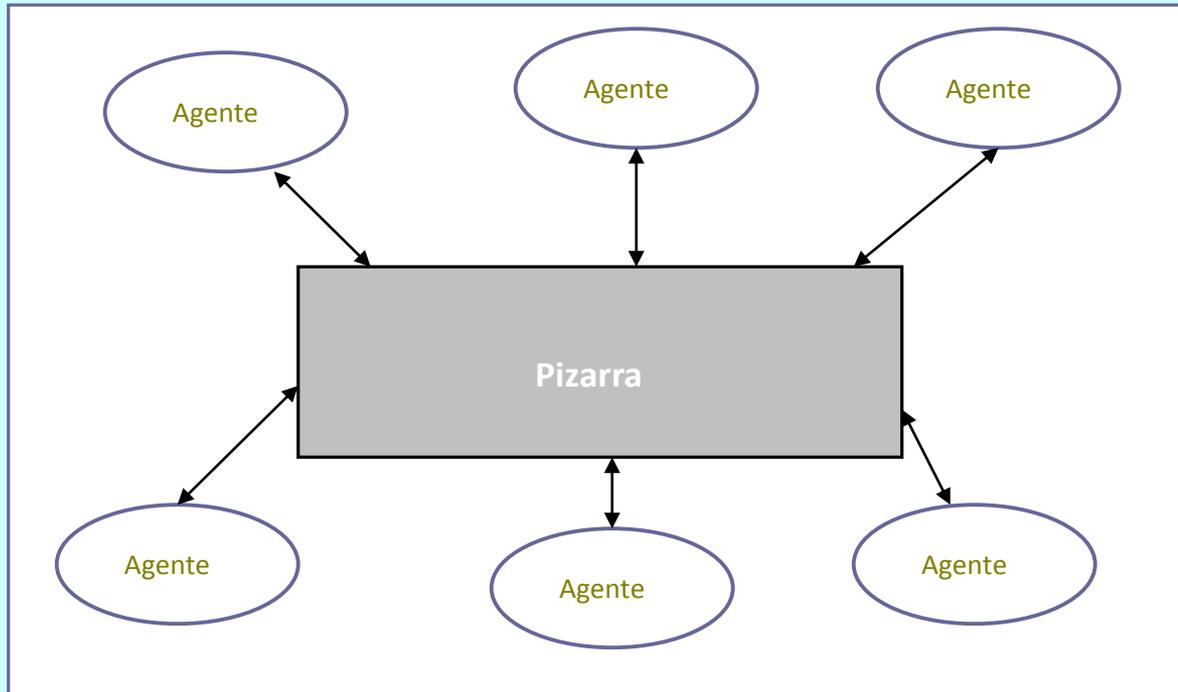
- **Delegación débil unilateral.** No hay conocimiento bilateral de la delegación, ni acuerdo alguno.
- **Delegación por inducción.** el agente Ag1 provoca o induce el comportamiento del agente Ag2 para explotarlo.
- **Delegación por aceptación.** el agente Ag2 conoce la intención del agente Ag1 de explotar su acción.
- **Delegación ejecutiva pura.** La tarea se especifica completamente.
- **Delegación abierta.** La tarea delegada se especifica mínimamente.

Arquitectura de Pizarra

- Existe una **estructura común de datos** donde los distintos agentes pueden leer/escribir la información de utilidad, resultados parciales, ordenes, etc.
- En esta arquitectura puede hacerse necesaria la **existencia de un “Administrador”**
- Puede ser conveniente introducir la figura de un **“Moderador”** y un **“Dispensador”**
- Se necesitan **protocolos de comunicaciones “ad hoc”**.
- Se puede introducir un **control de consultas**



Arquitectura de Pizarra



Arquitectura de Pizarra

Ventajas:

- Es una arquitectura flexible
- No impone restricciones a la arquitectura de los agentes
- No impone restricciones a la estrategia de cooperación

Inconvenientes:

- Estructura muy centralizada,
- Poco compatible con un sistema Cliente/Servidor

SISTEMA DE PASE DE MENSAJES

- Es una alternativa a la arquitectura de pizarra **mas adaptada a sistemas distribuidos.**
- **Un agente (emisor) envía mensajes a otro (receptor)** de acuerdo con estrategias y protocolos bien determinados. De este modo comparten información, resultados parciales, etc.
- Para cada mensaje **el emisor y el receptor deben ser una pareja bien definida.**
 - Se necesitan lenguajes de comunicación adecuados.
 - El lenguaje KQLM ha sido diseñado casi especialmente para este trabajo.
 - El sistema de pase de mensajes suele ser interactivo con diálogos entre agentes

SISTEMA DE PASE DE MENSAJES

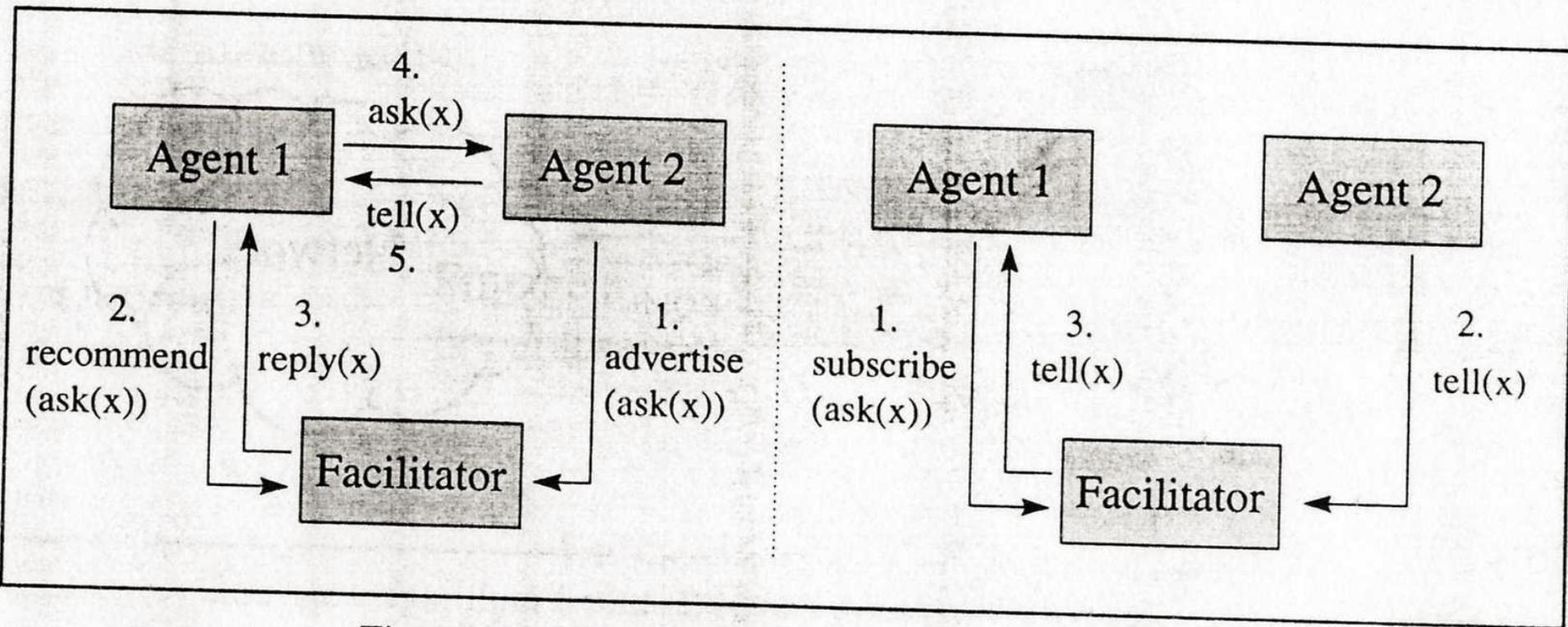


Figure 4.2/10

Protocolo de votación

- Este mecanismo elige la salida en base a las entradas ofrecidas por todos los agentes.
- El alcanzar un acuerdo por votación se puede conseguir por medio de:
 - **Protocolo de la pluralidad** (el mayor número de votos gana)
 - **Protocolo binario** (series de votos con 2 opciones cada una)
 - **Protocolo de Borda**
 - La suma de las preferencias de todos los agentes;
 - Cada agente revela sus preferencias .
 - Una función de bienestar social asigna N puntos a la elección de todos los individuos, $N-1$ a la siguiente elección, etc., siendo N el número de candidatos

ASIGNACION EMERGENTE

- ASIGNACION REACTIVA
 - **SENALES**
- ARRANQUE DIFERENCIAL DE UN COMPORTAMIENTO EN FUNCION DE LA SENAL QUE RECIBE UN AGENTE
 - **COMPETENCIA INTRA-AGENTE:**
 - Intensidad de la señal
 - Tendencia a cumplir cierta tarea (ya comí?, etc.)
 - Distancia a la fuente y capacidad de percibir
 - **RELACION AGENTE VS. FUENTE DE LA SENAL**

UMBRAL DE RESPUESTA

Umbral de Respuesta

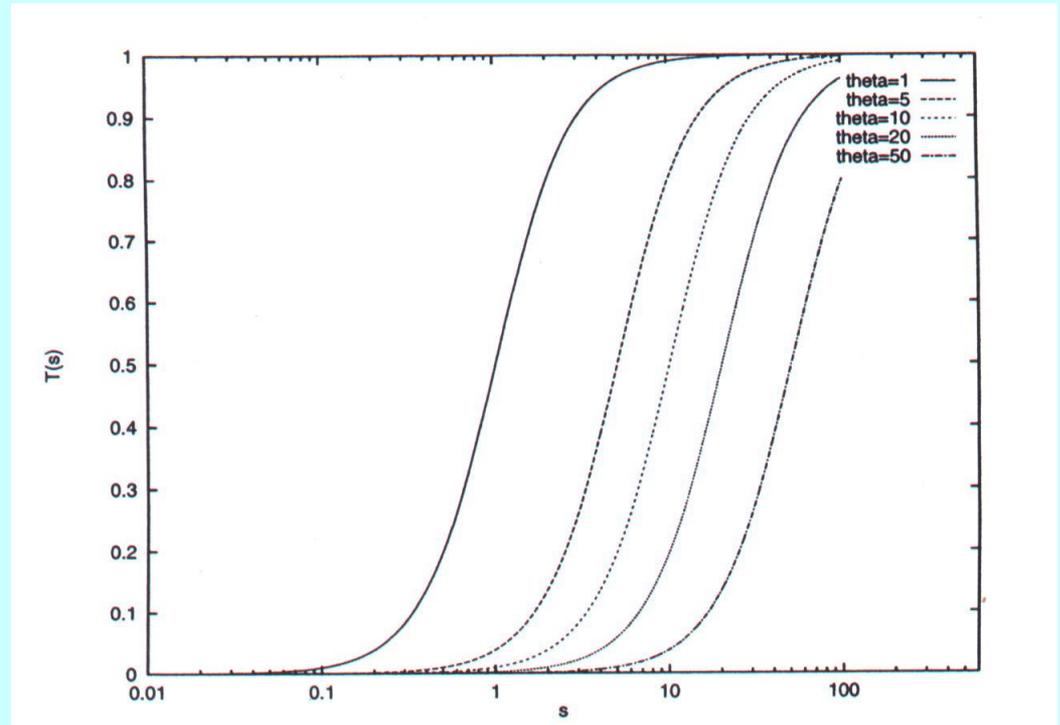
- Cada Individuo:
umbral de respuesta por tarea
- Caso individuo que hace una tarea desaparece:
estimulo asociado a la tarea aumenta en intensidad en el resto de los individuos
- Tarea hecha por un individuo:
reduce intensidad del estimulo asociado a esa tarea

Umbral de Respuesta

- Función de Respuesta: *probabilidad de realizar la tarea en función de la intensidad del estímulo s*

$$T_{\theta}(s) = \frac{s^n}{s^n + \theta^n}$$

θ : umbral de respuesta
 n : grado de no linealidad del modelo



Modelo con m tareas y varios tipos de trabajadores

- Dinámica de los x_{ij}

$$\partial_t x_{ij} = \frac{s_j^n}{s_j^n + \theta_{ij}^n} \left(1 - \sum_{k=1}^m x_{ik} \right) - p x_{ij}$$

p : probabilidad que un individuo activo pase a inactivo

x_{ij} : fracción de individuos del tipo i realizando la tarea j

- Dinámica de s

$$\partial_t s_j = \delta_j - \alpha_j \sum_{i=1}^N x_{ij}$$

N : Números de tipos de individuos en la colonia ($N = \sum n_i$)

α_j : valor escalar que mide la dificultad de la tarea j

δ_j : aumento de la intensidad del estímulo por unidad de tiempo

Especialización

Probabilidad que individuo i haga tarea j

$$T_{\theta_{ij}}(s_j) = \frac{s_j^n}{s_j^n + \theta_{ij}^2}$$

Actualización de θ_{ij} es

$$\theta_{ij} = \theta_{ij} - x_{ij}\beta\Delta t + (1 - x_{ij})\lambda\Delta t$$

β : tazas de aprendizaje

λ : taza de olvido

Adopción social de metas

- La **mente del agente Ag2 cambia** al adquirir una nueva meta, que existía previamente.
- El agente Ag2 pasa a querer **satisfacerla**.
- **Los otros agentes conocen esto y deciden dejar que Ag2 haga que la meta se cumpla.**
- **Los otros agentes que aun no han adquirido la misma meta que el agente Ag2, pasan a hacerlo** porque saben que se trata de una meta del agente Ag2.

Compromiso social

- **El conocimiento del agente Ag1 (miembro del grupo) acerca de la intención del agente Ag2 de hacer una tarea o acción dada (delegación);**
- **La confianza del agente Ag1 de que Ag2 es capaz y tendrá la oportunidad de hacer la acción.**
- **El compromiso social del agente Ag2 con el agente Ag1 para hacer la acción (forma de adopción o adhesión a una meta).**

Tipos de adopcion de metas

- **Ayuda literal.** El agente Ag1 adopta exactamente lo delegado por el agente Ag2.
- **Sobre ayuda.** El agente Ag1 va mas allá de lo delegado por el agente Ag2, sin cambiar el plan del agente Ag2.
- **Ayuda critica.** El agente Ag1 satisface los resultados relevantes de la acción o el plan solicitado, pero lo modifica.
- **Ayuda sobre critica.** El agente Ag1 lleva acabo una sobre ayuda, modificando el plan del agente Ag2.
- **Ayuda hiper-critica.** El agente Ag1 adopta la meta o los intereses del agente Ag2 que el mismo agente Ag2 no ha considerado. Al hacer esto, el agente Ag1 no lleva acabo la acción o plan solicitado que le fueron delegados, sino que lo reevalua en funcion de sus planes y los nuevos adoptados.

Servicio Cooperativo: 1

Cliente

f3: afford(xcorp) IN
r3: buy(X) :- query(Broker recommend(X)),
afford(X) IN

? recommend(?X)

Broker

f1: afford(xcorp) OUT
f2: cash-rich(xcorp) IN
r2: recommend(X) :- takeover-bid(X) IN
r1: takeover-bid(X) :- cash-rich(X) IN

Servicio Cooperativo: 2

Cliente

f3: afford(xcorp) IN
r3: buy(X) :- query(Broker recommend(X)),
afford(X) IN

↑
recommend(XCorp)

Broker

f1: afford(xcorp) OUT
f2: cash-rich(xcorp) IN
r1: recommend(X) :- takeover-bid(X) IN
r2: takeover-bid(X) :- cash-rich(X) IN
f3: recommend(xcorp) IN
Shared with: Client; Justification: (f2 r1 r2)

Servicio Cooperativo: 4

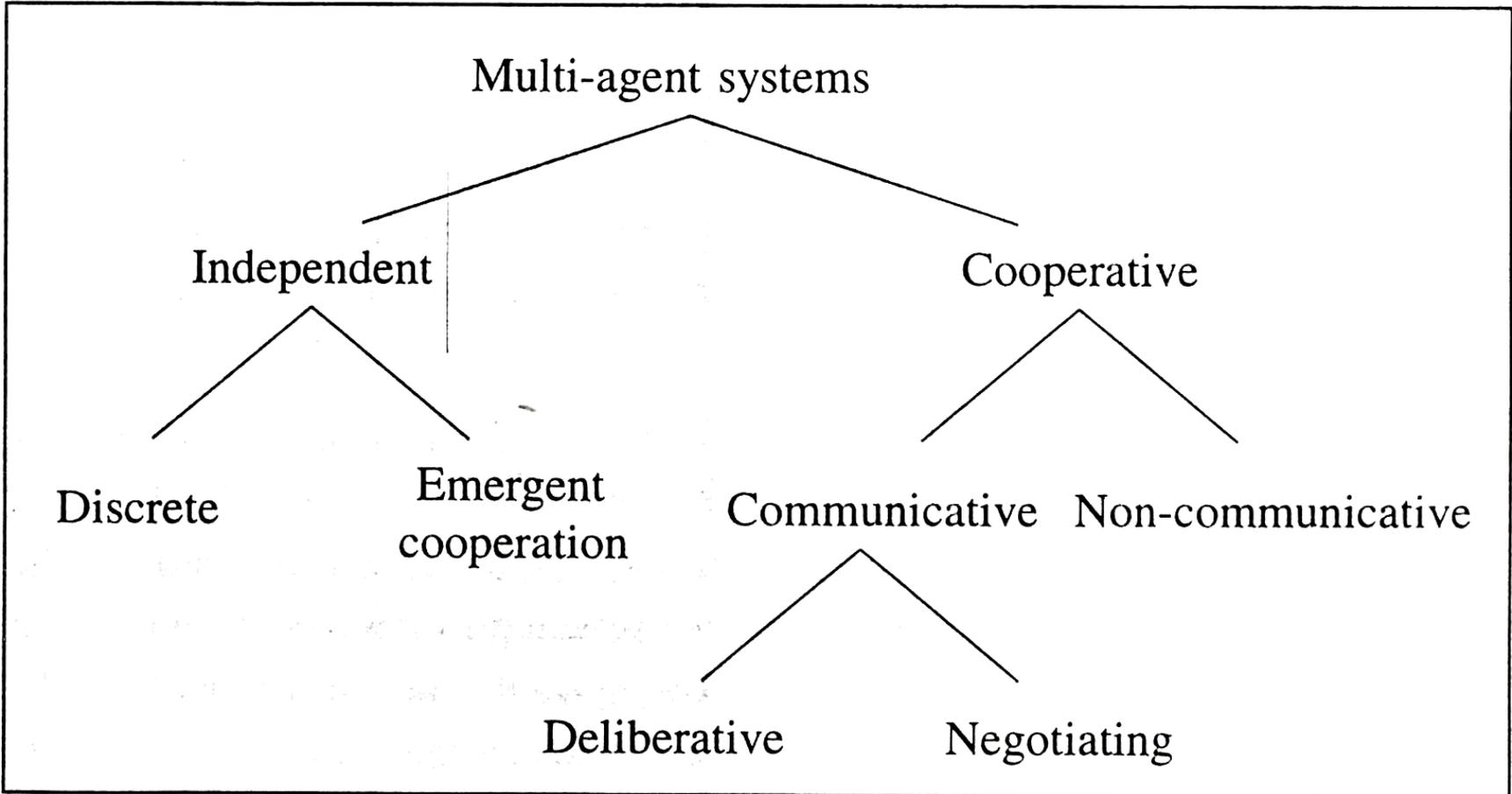
Cliente

f3: afford(xcorp) IN
r3: buy(X) :- query(Broker recommend(X)),
 afford(X) IN
f4: recommend(xcorp) EXTERNAL
 Shared with: Broker; Justification: ()
f5: buy(xcorp) IN
 Justification: (f3 f4 r3)

relabel recommend(XCorp)

Broker

f1: afford(xcorp) OUT
f2: cash-rich(xcorp) IN --> OUT
r1: recommend(X) :- takeover-bid(X) IN
r2: takeover-bid(X) :- cash-rich(X) IN
f3: recommend(xcorp) IN --> OUT
 Shared with: Client; Justification: (f2 r1 r2)



Sistemas Multiagentes

Coordinación

Jose Aguilar

CEMISID, Facultad de Ingeniería

Universidad de los Andes

Mérida, Venezuela

aguilar@ula.ve

Tipos de Interacción

Cooperación
Coordinación
Negociación

Como construir una sociedad de
agentes

Coordinación

- **Concepto “universal”:**
 - Ciencias Sociales, Economía, Biología, ...
 - Robótica, Ingeniería del Software, Lenguajes de Programación, Inteligencia Artificial (Distribuida), ...
- **Múltiples definiciones**
- **Coordinación en los Sistemas Multiagente (SMA):**
 - Es un problema clave en la construcción de SMAs
 - La capacidad para coordinarse es una característica esencial de un agente

COORDINACION DE ACCIONES

CONJUNTO DE ACTIVIDADES SUPLEMENTARIAS QUE SE DEBEN REALIZAR EN UN SMA

Tareas no directamente productivas que mejoran la eficiencia total del sistema. Los agentes se coordinan para gestionar las dependencias existentes entre sus actividades

- ARTICULACION DE ACTIVIDADES HECHAS POR CADA AGENTE
- MEJORAR ACCION DEL GRUPO:
 - **AUMENTO DE RENDIMIENTOS**
 - **DISMINUCION DE CONFLICTOS**

COORDINACION DE ACCIONES

POR QUE COORDINAR:

- **AGENTES NECESITAN RESULTADOS E INFORMACION PRODUCIDAS POR OTROS AGENTES**
- **RECURSOS SON LIMITADOS**
- **OPTIMIZAR COSTOS**
- **PONER A TRABAJAR JUNTOS A AGENTES CON OBJETIVOS DIFERENTES PERO QUE DEPENDEN ENTRE SI**

VISTA LA COORDINACION DE ACCIONES COMO UN PROBLEMA

- CON QUIEN COORDINARSE?
- RELACIONES ENTRE LAS ACCIONES:
 - **DE DEPENDENCIA MUTUA ENTRE ELLAS**
 - **NEGATIVAS:**
 - **OBJETIVOS NO COMPATIBLES**
 - **CONFLICTOS DE RECURSOS**
 - **POSITIVAS**
 - **DE IGUALDAD**
 - **DE FAVOR**
 - **DE SUBCONJUNTO DE OTRA**

COORDINACION DE ACCIONES

Dos enfoques para su solución:

- **Centralización**
 - Un agente coordinador especial es el responsable de detectar las interdependencias entre las actividades de los agentes locales.
- **Descentralización**
 - Los agentes interactúan entre sí. Poseen el conocimiento para descubrir inconsistencias entre sus acciones previstas y adaptar mutuamente sus decisiones locales.

CARACTERISTICAS COORDINACION DE ACCIONES

- **TEMPORALES**
 - **RAPIDEZ**
 - **ADAPTABILIDAD**
 - **PREDICTIVIDAD**
- **ORGANIZACIONALES**
 - **CENTRALIZADA/DISTRIBUIDA**
 - **MODO DE COMUNICACION**
 - **LIBERTAD DE MANIOBRA DE LOS AGENTES**
- **DE CALIDAD Y EFICACIA**
 - **MEJORAN RENDIMIENTO**
 - **ELIMINAN CONFLICTOS**
 - **NUMERO DE AGENTES**

CARACTERISTICAS COORDINACION DE ACCIONES

- **DE IMPLEMENTACION**
 - **CANTIDAD DE INFORMACION REQUERIDA**
 - **GRADO DE REPRESENTACION DE LOS OTROS**
 - **DIFICULTAD PARA IMPLEMENTAR EL MECANISMO**

- **DE GENERALIZACION**
 - **LA HETEROGENEIDAD DEL ENFOQUE**
 - **LA GENERALIDAD DEL METODO**

FORMAS DE COORDINACION DE ACCIONES

- **SINCRONIZACION:**
 - DE MOVIMIENTOS
 - DE ACCESO A RECURSOS => SECCIONES CRITICAS
- **POR PLANIFICACION**
 - PLANIFICACION CENTRALIZADA VS. DISTRIBUIDA
 - PLAN CENTRAL VS. DISTRIBUIDO
- **REACTIVA**
 - ACCIONES SITUADAS (CAMPOS DE POTENCIAS , RECURSO=>SINCRONIZACION)
 - MARCANDO EL AMBIENTE
 - DE MANADA/O JAURIA (AGREGAR, DISPERSAR, EVITAR, VIGILAR)
- **POR REGLAMENTACION**
 - REGLAS SOCIALES

COORDINACION DE ACCIONES

CRITERIOS VS TIPOS	SINCRONIZ.	PLANIFICACION	REACTIVO	REGLAM.
RAPIDEZ	MUY BUENA	DEBIL	MUY BUENA	BUENA
ADAPT.	MUY DEBIL	DEBIL	MUY BUENA	BUENA
PREDICT.	DEBIL	MUY BUENA	DEBIL	MEDIA
CENTR/DIST	INDIFERENTE	INDIF.	INDIF.	CENTR
MODO COM.	MENSAJE	MENSAJE	ESTIMULO	INDIF.
LIBERTAD ACCION	MUY DEBIL	DEBIL	GRANDE	MUY DEB
EVITAR CONF	BUENA	BUENA	DEBIL	MUY BUENA
NUM. AGENT	GRANDE	DEBIL	MUY GRANDE	GRAND
HETEROGEN	DEBIL	MUY DEBIL	ALTA	MEDIA
GENERALIZ	DEBIL	MEDIA	MEDIA	MEDIA

Coordinación

- **Metricas de Calidad (desde la teoría de grafos)**

- **Cantidad de mensajes intercambiados** durante la colaboración.
- **Cantidad de distintos canales de comunicación utilizados.**
- **Grado de participación de cada agente** en la realización de la tarea.
- **Duración total de la realización de la tarea.**

- **Coordinación óptima**

Es deseable que los agentes lleven a cabo su tarea en el *tiempo mínimo*, con una *cantidad mínima de mensajes*, utilizando el *número mínimo de canales de comunicación* y que el *balance de carga de* trabajo entre los agentes sea aproximadamente $\frac{1}{3}$ *uniforme*

Ejemplo de Función objetivo para Coordinación en Agentes

Permite evaluar el performance o desempeño de las conversaciones en un SMA

$$FO = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{m_i} (a * CP_{i.k} + b * CC_{i.k})$$

- Esta basada en el costo de procesamiento (CP) y en el costo comunicacional (CC) de cada mecanismo de coordinación usado por el individuo
- Donde a y b son constantes definidas por el usuario y permiten normalizar las unidades de la función
- Conversaciones $i = \{1 \dots n\}$
- Sub-conversaciones $k = \{1 \dots m_i\}$

Ejemplo de Función objetivo para Coordinación en Agentes

Costo de Procesamiento

$$CP_{i,k} = PI_k + PE_k + \sum_{l=1}^j \sum_{q=1}^{nj} A_{l,q}$$

- PI fijación del precio inicial; especificación de condiciones en las que se requiere un servicio, generación de planes
- PE proceso de selección del agente ganador, asignación de planes
- $A_{l,q}$ tiempo para preparar propuestas, tiempo para generar planes parciales

Costo de Comunicación

$$CC_{i,k} = \sum_{l=1}^j (\sum_{r=1}^{N-1} CEP_{l,r} + \sum_{s=1}^{nj} CEO_{l,s}) + \sum_{r=1}^{N-1} CS_r$$

- CEP costo de envío de propuesta
- CEO costo de envío de ofertas, envío de planes parciales
- CS costo de informar al ganador, de enviar el plan global

Coordinación

- **En la *coordinación reactiva*** el agente usa directamente su *percepción* para identificar obstáculos, oportunidades y la reacción adecuada a ellos.
- **En la *coordinación anticipada*** el agente se basa en el *aprendizaje o la inferencia*, requiriendo de un modelo del medio ambiente
- **En la *coordinación egoísta o ego-céntrica***, un agente Ag1 trata de *satisfacer sus propias metas* ante la presencia de otros agentes.
- **En la *coordinación de colaboración***, el agente Ag1 adapta su comportamiento para *favorecer a otros* agentes.

Coordinación en los SMA: perspectivas diferentes

Interés del diseñador en la coordinación

Diseño a nivel micro

- en un entorno abierto con múltiples agentes
- diseñar un agente con características deseadas

“La coordinación es una forma de adaptarse al entorno” (von Martial)

Varios diseñadores de agentes

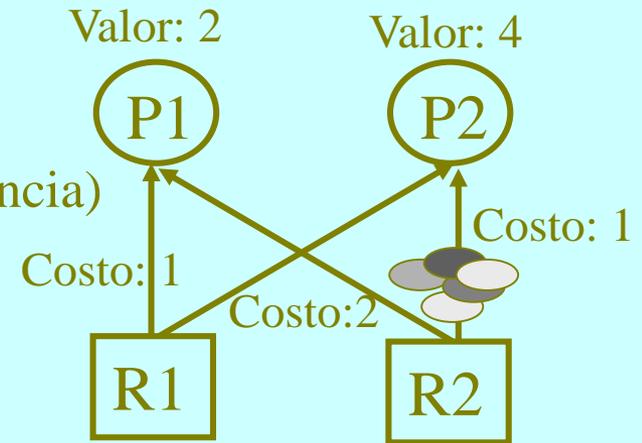
Un diseñador de agentes

Coordinación a nivel micro

Ejemplo:

- Agente R_1 vigila una zona

- Existen dos puntos a observar (P_1 y P_2)
- Suponer un valor (ganancia) y un costo (distancia)
- acciones: A_1 (ir a P_1), A_2 (ir a P_2) o N (nada)



- Mundo multiagentes de R_1 :

- Utilidad: $U_{R_i}(A_j) = \text{valor}(P_j) - \text{costo}(A_j) \quad \forall$ acción posible
- R_1 conoce sus posibles acciones alternativas y sus consecuencias
- R_1 no sabe si R_2 es consciente de sus acciones alternativas

Coordinación a nivel micro

Método RMM (Gmytrasievicz y Durfee): $p=?$

Modelo de R1 de su propia situación

		R2		
		A1	A2	N
R1	A1	1	1	1
	A2	3	3	3
	N	0	0	0

Modelo de R1 sobre las posibles acciones de R2



Coordinación en los SMA: perspectivas diferentes

Interés del diseñador en la coordinación

Diseño a nivel micro

Diseño a nivel macro

- construir sistemas de múltiples agentes con características deseadas

Varios diseñadores de agentes

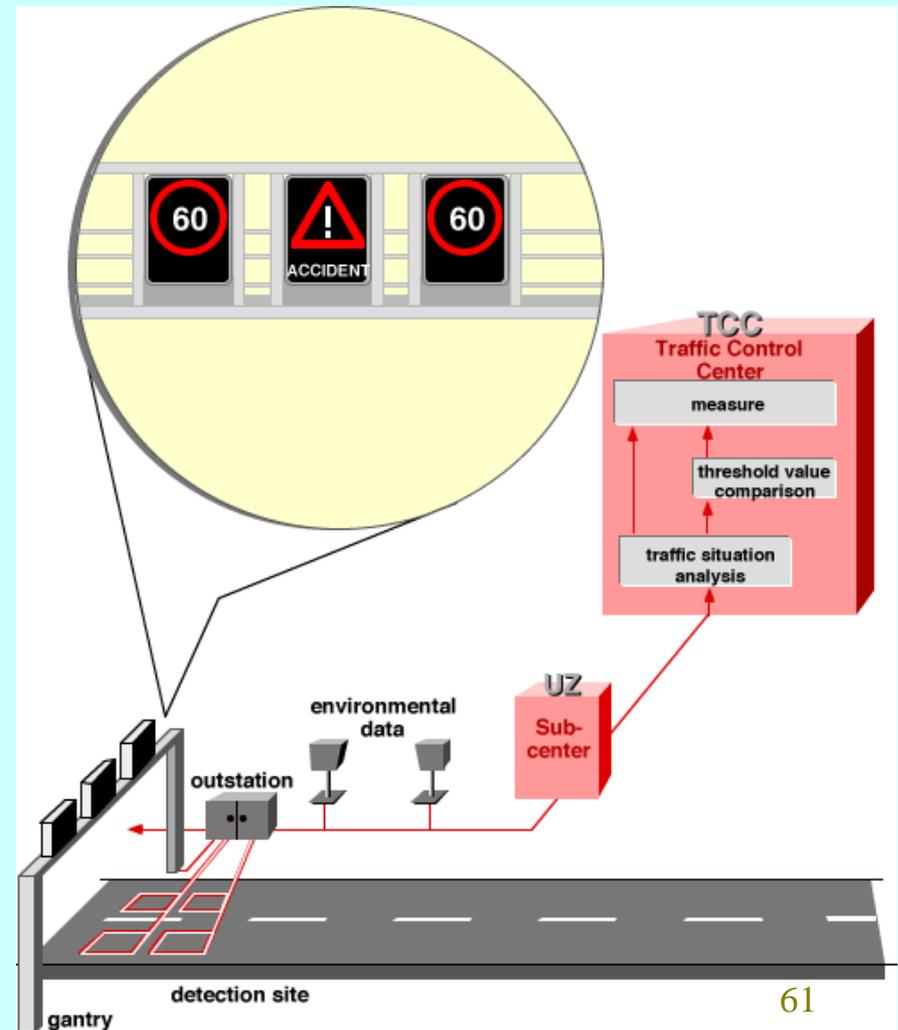
Un diseñador de agentes

- agentes benévolos
- diseñar todo un sistema de resolución de problemas

“La coordinación es la integración y el ajuste del trabajo individual con el fin de alcanzar una meta mayor”
(B. Singh)

Coordinación a nivel macro: Resolución Dist. de Problemas

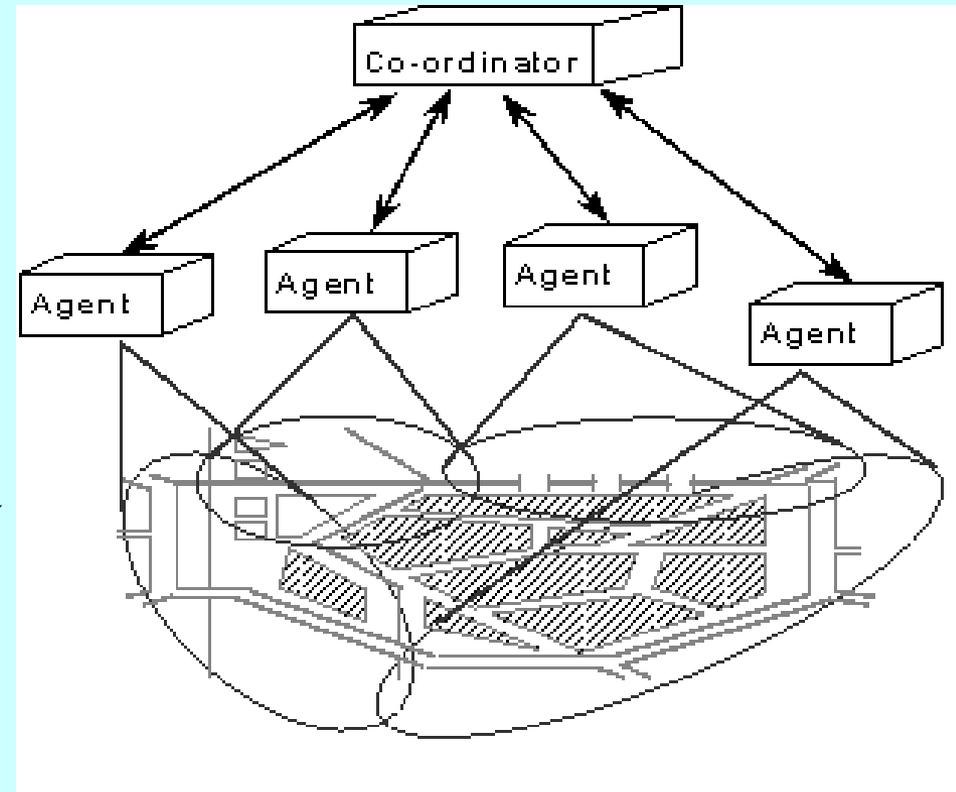
- Ejemplo: Gestión de tráfico
 - Red de rutas en una ciudad
 - Construir un sistema que genere planes de señalización en función del estado del tráfico



Coordinación a nivel macro: Resolución Dist. de Problemas

Arquitectura TRYS (*Cuena et al.*):

- agentes de resolución de problemas locales
- cada agente es responsable de un *área del problema*
 - genera *planes alternativos de señalización local* y los comunica al agente coordinador
- agente coordinador
 - *resuelve las interdependencias* entre los planes locales
 - envía los *planes locales adaptados* a los agentes para su ejecución



Coordinación en los SMA: perspectivas diferentes

Interés del diseñador en la coordinación

“Coordinar es gobernar la interacción”(Wegener)

Diseño a nivel micro

Diseño a nivel macro

- construir sistemas de múltiples agentes con características deseadas

Varios diseñadores de agentes

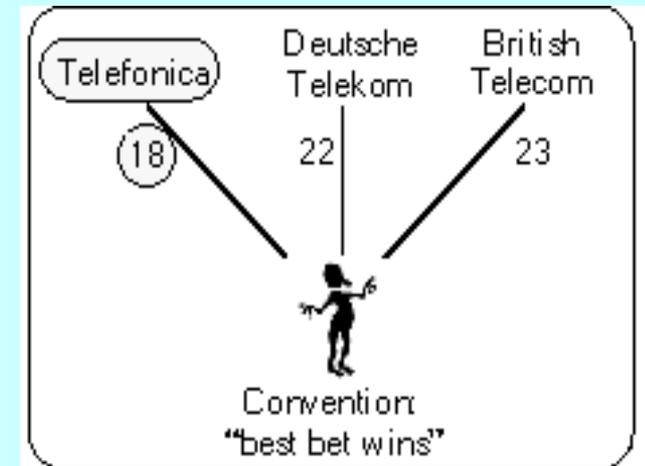
- no se puede ejercer un control directo sobre los agentes
- diseñar el contexto del sistema

Un diseñador de agentes

- agentes benévolos
- diseñar todo un sistema de resolución de problemas

Coordinación a nivel macro: Sociedades de Agentes

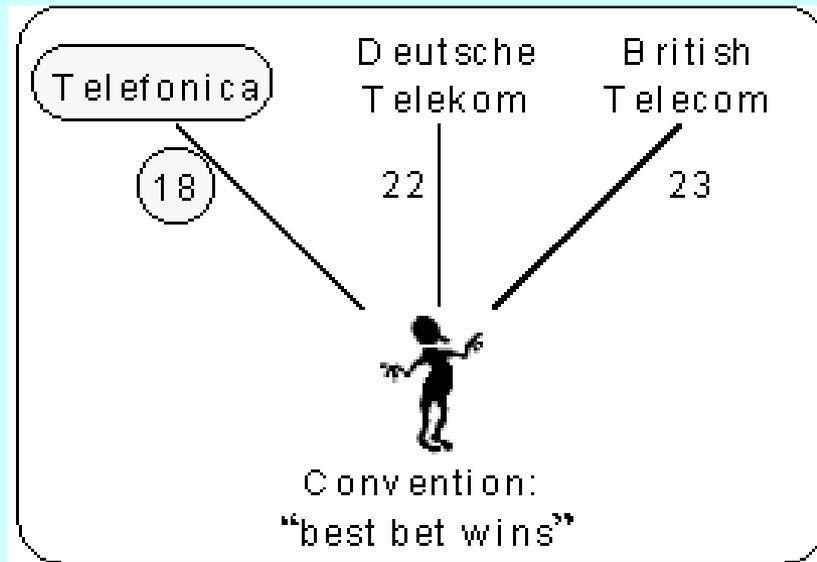
- Ejemplo: Comercio Electrónico (Rosenschein y Zlotkin):
 - asignación de llamadas telefónicas a compañías de telecomunicación
 - objetivo: evitar monopolio de compañías
- Mecanismo de subasta:
 - un agente usuario comunica las características de la llamada a los distintos agentes empresa
 - cada agente empresa contesta con una oferta (precio por minuto)
 - el agente usuario elige una oferta según cierto criterios



Coordinación a nivel macro: Sociedades de Agentes

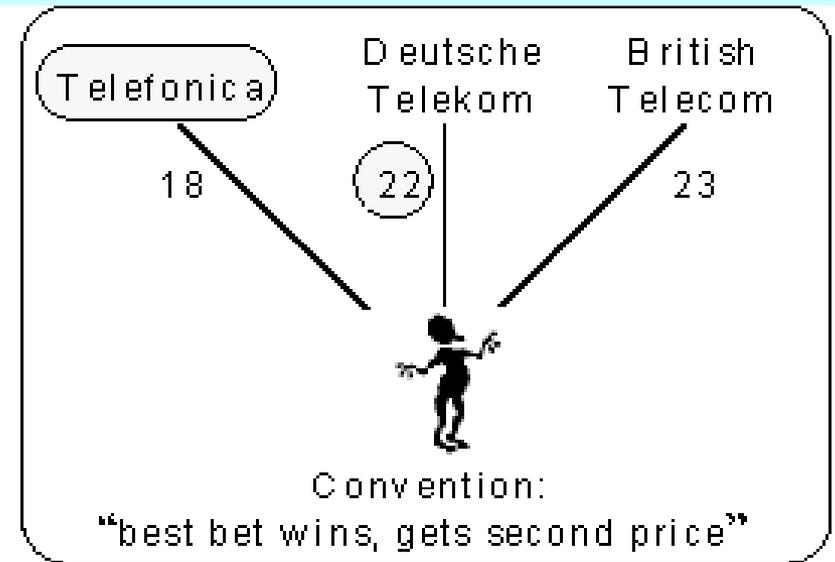
• Criterio 1:

- elegir la *mejor* compañía y pagar el precio de la oferta *más baja*
- problema: promueve el monopolio



• Criterio 2:

- elegir la mejor compañía y pagar el precio de la segunda oferta más baja
- elimina incentivos para el monopolio



Coordinación en entornos abiertos

Diseño de estrategias

Diseño de Sistemas de Agentes para Negociación

Diseño a nivel micro

- en un entorno abierto con múltiples agentes
- diseñar un agente con características deseadas

Diseño a nivel macro

- construir sistemas de múltiples agentes con características deseadas

Varios diseñadores de agentes

- no se puede ejercer un control directo sobre los agentes
- diseñar el contexto del sistema

Un diseñador de agentes

- agentes benévolos
- diseñar todo un sistema de resolución de problemas

Diseño de protocolos

Aplicaciones a Tráfico

Semaforos Auto-organizantes



Algunas Reglas que lo hacen posible

1. Minimizar la fricción
2. Maximizar la satisfacción
3. En contador cero, la luz pasa a roja
4. Se favorecen a quien tenga primero pelotones
5. de mayor número que alcancen un umbral determinado.



Elementos Evaluados

- Intervalo de los semáforos
- Intervalo de los autos en las intersecciones
- Intervalo de los autos en las calles

Resultado de las Simulaciones:

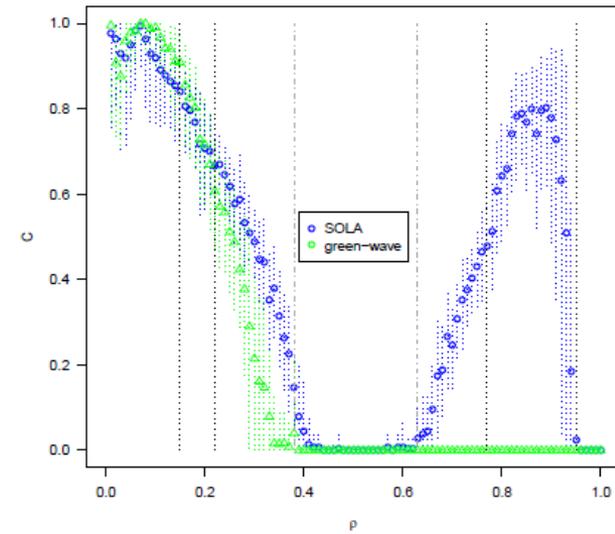
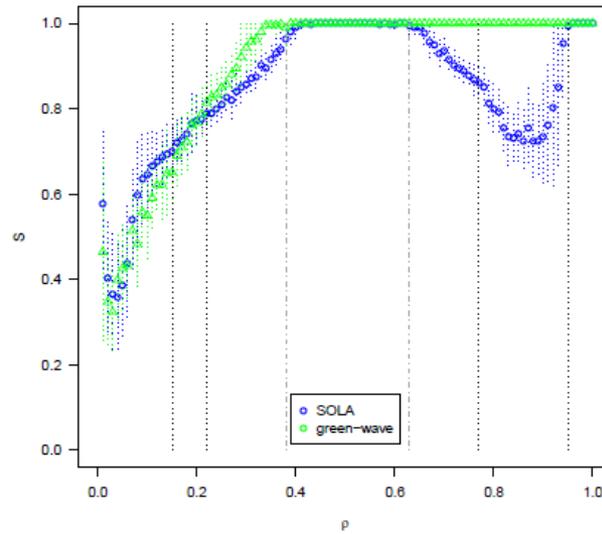
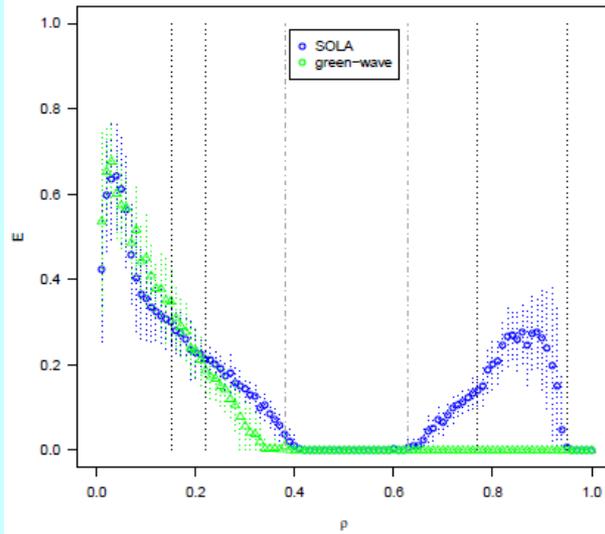
Ola Verde

Fases Dinámicas Sao

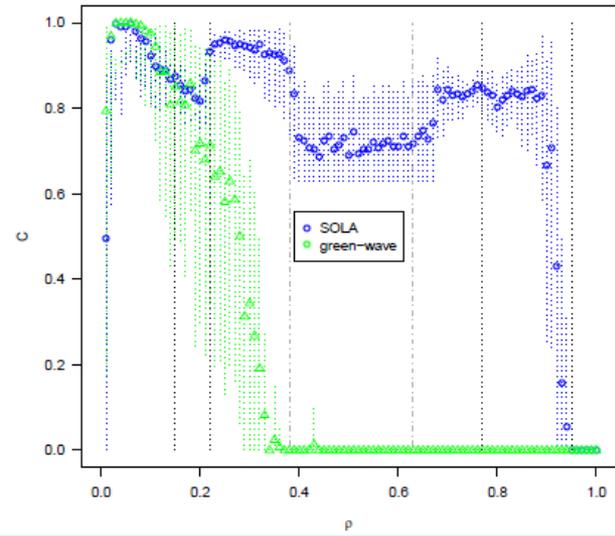
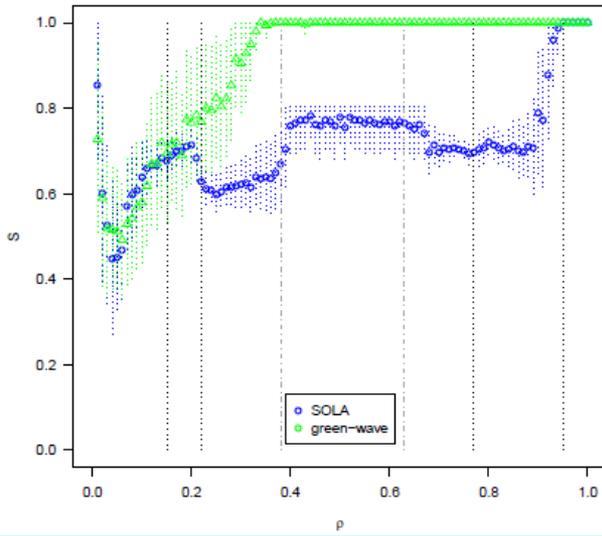
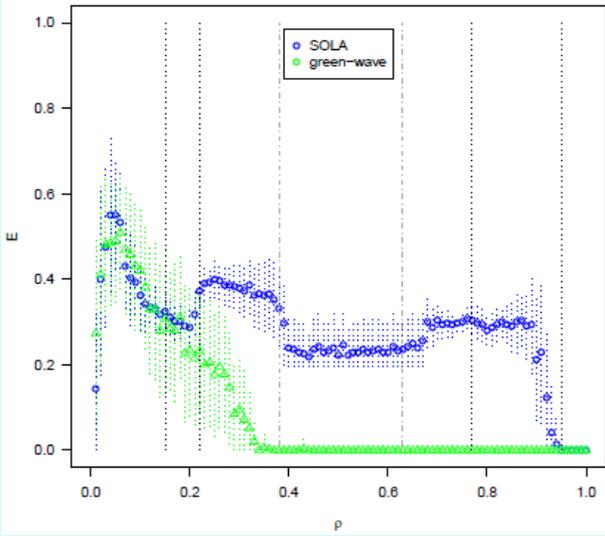
- **Intervalos regulares**
- **Intermitente (Subfases: subutilizado, capacidad total, sobreutilizado)**
- **De Estancamiento**
No movimiento de Carros
- **Flujo Libre**
- **Flujo semi-libre**
- **Semi-estancado**



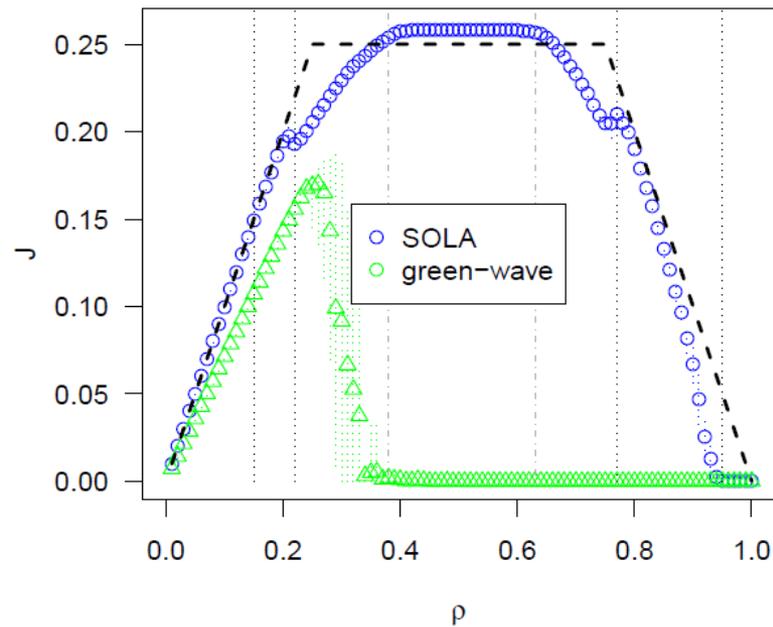
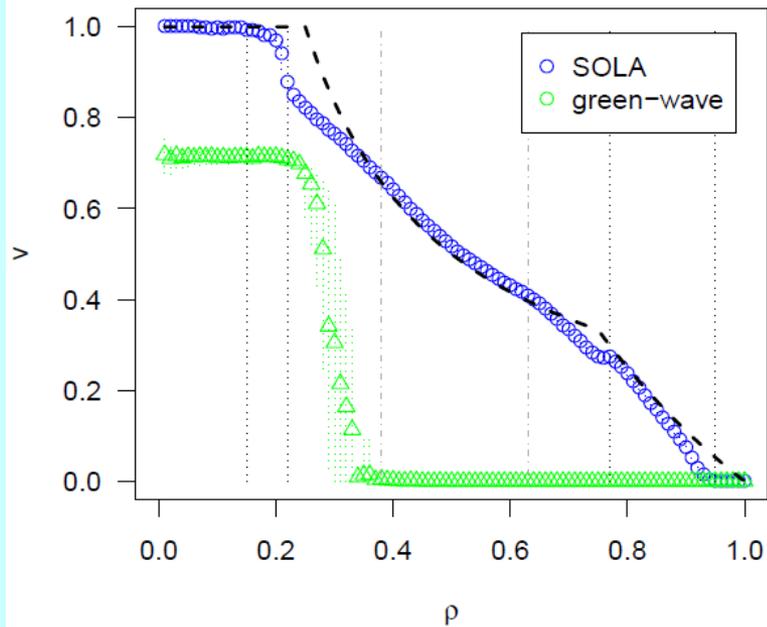
Topología Cíclica_crossings at intersections



Topología Cíclica_crossings at streets



Velocidades y Flujo



Síntesis Método SAo

- *El método SAo tiene un mejor rendimiento sobre la ola verde, debido a su alta complejidad con lo cual responde a un número mayor de situaciones.*
- *Presenta máxima auto-organización cuando se alcanza el flujo máximo*

entropy

ISSN 1099-4300

www.mdpi.com/journal/entropy

Article

Measuring the Complexity of Self-Organizing Traffic Lights

Darío Zubillaga^{1,2}, **Geovany Cruz**^{1,3}, **Luis Daniel Aguilar**^{1,3}, **Jorge Zapotécatl**^{1,2},
Nelson Fernández^{4,5}, **José Aguilar**⁵, **David A. Rosenblueth**^{1,6} and **Carlos Gershenson**^{1,6,*}

¹ Departamento de Ciencias de la Computación, Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, Universidad Nacional Autónoma de México, A.P. 20-126, 01000 México DF, Mexico; E-Mails: dariozubi@gmail.com (D.Z.); geo27cruz04@gmail.com (G.C.); luis.daniel.ardz@gmail.com (L.D.A.); jzapotecatl@gmail.com (J.Z.); drosenbl@unam.mx (D.A.R.); cgg@unam.mx (C.G.)

² Posgrado en Ciencia e Ingeniería de la Computación, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 México DF, Mexico

³ Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, 50700 Jocotitlán, Mexico

⁴ Laboratorio de Hidroinformática, Facultad de Ciencias Básicas, Univesidad de Pamplona, Pamplona 31009, Colombia; E-Mail: nfernandez@unipamplona.edu.co

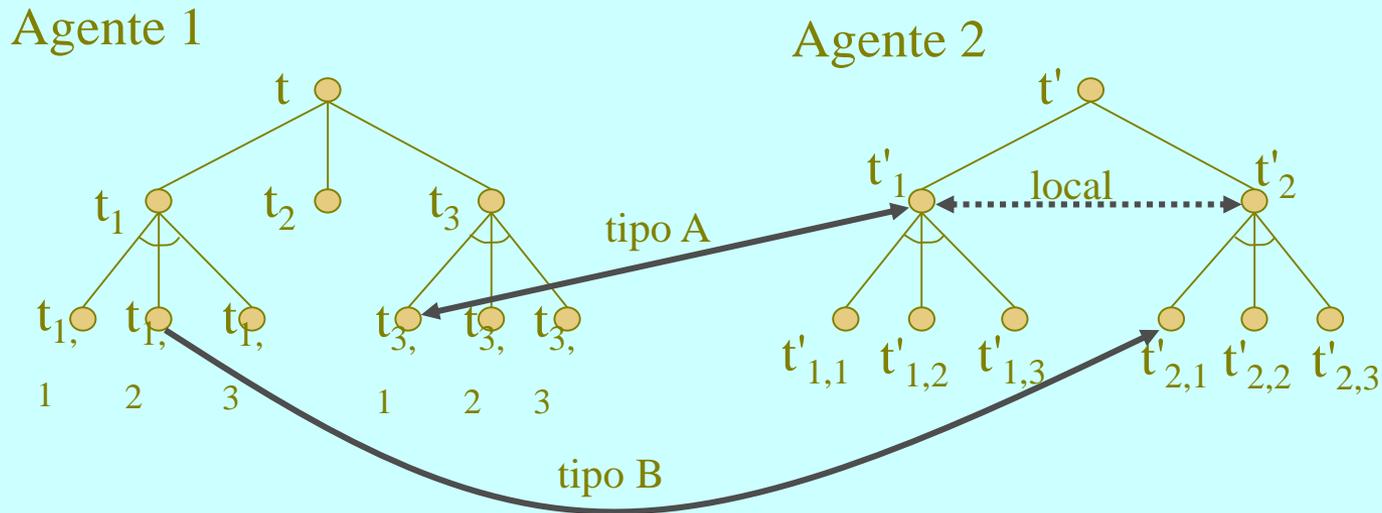
⁵ Centro de Micro-electrónica y Sistemas Distribuidos, Universidad de los Andes, Mérida 5101, Venezuela; E-Mail: aguilar@ula.ve

⁶ Centro de Ciencias de la Complejidad, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 México DF, Mexico

* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: cgg@unam.mx;

Coordinar y Gestión de Dependencias

Coordinación: gestión de dependencias (Malone y Crowston)



Tareas de coordinación:

1. **Definición del contexto de coordinación:** agentes, metas, tareas, capacidades, etc.
2. **Detección de dependencias:** recursos compartidos, productor/consumidor etc.
3. **Decisión de gestión:** secuenciación temporal, selección de recursos etc.

Situaciones con múltiples decisores:

Juegos

Juegos:

- Un juego Γ definido formalmente por una tripleta (I, S, U) , tal que
 - I es un conjunto de n agentes (jugadores)
 - S es el espacio de acciones (estrategias) conjuntas, pudiendo elegir cada agente de un conjunto finito de acciones (estrategias) individuales
 - U es un conjunto de funciones de utilidad U_i para cada jugador, tal que

$$U_i : S \rightarrow \mathfrak{R}$$

Escenarios antagónicos:

Juegos de suma nula

- En toda estrategia conjunta σ se compensan exactamente las ganancias de unos jugadores con las pérdidas de otros, es decir:

$$\forall \sigma \in S \quad \sum_{i=1}^n U_i(\sigma) = 0$$

- Caso particular de un juego bipersonal de suma nula, \:

$$\forall (\sigma_1, \sigma_2) \in S. \quad U_1(\sigma_1) = -U_2(\sigma_2)$$

Competitividad e interacciones de sumatoria Cero

- Supongamos un escenario donde un resultado $\omega \in \Omega$ es preferido por el agente i sobre un resultado ω' si y sólo si ω' es preferido sobre ω por el agente j :
$$\omega >_i \omega' \text{ si y sólo si } \omega' >_j \omega$$
- Las preferencias de los jugadores son dramáticamente opuestas.

Un escenario de interacción que satisface esta propiedad es estrictamente competitivo.

Competitividad e interacciones de sumatoria Cero

- Los encuentros de suma Cero son aquellos en los cuales para cualquier resultado las utilidades de los agentes suman cero:

$$u_i(\omega) + u_j(\omega) = 0 \text{ para todo } \omega \in \Omega$$

Cualquier escenario de suma Cero es estrictamente competitivo.

- Son importantes porque son los encuentros concebibles del tipo más vicioso, imposibilitando el comportamiento cooperativo.

Ejemplos: ajedrez y tablero

Escenarios parcialmente cooperativos:

Juegos de suma no constante

- Representan entornos en los que los intereses de los jugadores no son totalmente antagónicos
- Hay estrategias conjuntas de las que se pueden beneficiar ambos jugadores:

$$\exists \sigma, \sigma' \in S. \quad \sum_{i=1}^n U_i(\sigma) \neq \sum_{i=1}^n U_i(\sigma')$$

- **Matriz de juego:**
 - representación de un juego *de suma no constante* con dos jugadores
 - las *filas* representan las posibles acciones del agente 1, mientras que las *columnas* indican las posibilidades de elección del jugador 2
 - las *celdas* de la matriz contienen pares de números, que indican los valores de utilidad de cada uno de los jugadores

El dilema del prisionero

- Escenario:
 - Dos hombres son acusados de un crimen
 - Los tienen en celdas separadas
 - No se pueden comunicar ni llegar a un acuerdo
- A ambos se les dice que:
 - Si uno confiesa se le libera, el otro va a la cárcel tres años
 - Si ambos confiesan, van dos años a la cárcel
 - Si ninguno confiesa, los dos van un año a la cárcel
- ¿Qué harían ustedes?

Escenarios parcialmente cooperativos: Juegos de suma no constante

Ejemplo: Dilema de los Prisioneros

- Dos presos son sometidos de forma separada a un interrogatorio.
- **Estrategias** alternativas de actuación:
 - confesar el crimen del que se le acusa (*D*)
 - callarse (*C*).

Confesar = no cooperar

No confesar = cooperar

Hay cuatro posibles resultados:

- **Resultados :**
 - **Ninguno confiesa:** serán condenados a un año en la cárcel por una fechoría menor
 - **Ambos confiesan:** afrontarán 5 años de cárcel
 - **Uno confiesa y el otro se calla:** al primero se le perdonará la fechoría menor, y será liberado gracias a su colaboración, mientras que el último será recluido durante 10 años

Nota:

- Muchas situaciones de la vida real son parecidas al problema del Dilema de los Prisioneros (“arms-race”, “free-rider”, etc.)

Escenarios parcialmente cooperativos: Juegos de suma no constante

Utilidades

- Según lo dicho antes
 - $U_1(D,D) = -5$ $U_1(D,C) = 0$ $U_1(C,D) = -10$ $U_1(C,C) = -1$
 - $U_2(D,D) = -5$ $U_2(D,C) = -10$ $U_2(C,D) = 0$ $U_2(C,C) = -1$

Matriz del juego:

	<i>C</i>	<i>D</i>
<i>C</i>	(-1,-1)	(-10,0)
<i>D</i>	(0,-10)	(-5,-5)

Confesar = no cooperar

No confesar = cooperar

Cuatro posibles resultados:

Preferencias

- Agente 1: $(D,C) >_1 (C,C) >_1 (D,D) >_1 (C,D)$
- Agente 2: $(C,D) >_2 (C,C) >_2 (D,D) >_2 (D,C)$

No sucede que el prisionero prefiere todos los casos en que no confiesa sobre los casos en que confiesa.

Evaluación del Dilema del Prisionero

Contexto de los agentes:

- No pueden comunicarse,
- No pueden llegar a acuerdos respecto a las acciones a tomar, o al reparto de las utilidades obtenidas.

Estrategia racional: cada convicto prefiere confesar (D) en vez de callarse (C).

- **Seguridad:** Si elige C corre el riesgo de ser recluido por 10 años, mientras que al hacer D la penalización máxima es de 5 años.
- **D domina a C :**
 - Si el compañero juega D , lo mejor que puede hacer el agente es jugar D también, puesto que en este caso sólo iría 5 y no 10 años a la cárcel.
 - Si el otro convicto se calla (C), la mejor opción será confesar (D), puesto que así la potencial condena de un año se convierte en nada

El dilema del prisionero

¿Cuál es el razonamiento?

	C no conf	D conf
C	$(-1, -1)$	$(-10, 0)$
D	$(0, -10)$	$(-5, -5)$

– **Si no confieso:**

- Si el otro no confiesa, ambos obtenemos un beneficio de -1
 - Si el otro confiesa, obtengo beneficio de -10
- ⇒ Si no confieso, obtengo -1 como máximo porque no sé qué va a hacer el otro

– **Si confieso:**

- Si el otro no confiesa, obtengo beneficio de 0
 - Si el otro confiesa, obtengo beneficio de -5
- ⇒ Si confieso, obtengo 0 como máximo porque no sé qué va a hacer el otro

Equilibrio de Nash

Definición:

- Una “solución” para juegos con dos o más jugadores, que asume que cada jugador:
 - Conoce y ha adoptado su mejor estrategia,
 - Todos conocen las estrategias de los otros.
- Consecuentemente, cada jugador individual no gana nada modificando su estrategia mientras los otros mantengan las suyas.

maximiza sus ganancias dadas las estrategias de los otros.
- Consecuentemente, ningún jugador tiene ningún incentivo para modificar individualmente su estrategia.
- Equilibrio de Nash no implica que se logre el mejor resultado conjunto, sino sólo el mejor resultado para cada uno de ellos individualmente.

Es perfectamente posible que el resultado fuera mejor para todos si, de alguna manera, los jugadores coordinaran su acción.

Estrategias predominantes y equilibrio de Nash

Predominio: dados dos subconjuntos Ω_1 y Ω_2 de Ω , Ω_1 predomina sobre Ω_2 para el agente i si cada resultado en Ω_1 es preferido por i sobre cada resultado en Ω_2

- $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4\}$;
- $\omega_1 \succ_i \omega_2 \succ_i \omega_3 \succ_i \omega_4$;
- $\Omega_1 = \{\omega_1, \omega_2\}$; y
- $\Omega_2 = \{\omega_3, \omega_4\}$;

Para todo $\omega_1 \in \Omega_1$, para todo $\omega_2 \in \Omega_2$ tenemos $\omega_1 \succ_i \omega_2$

Estrategias predominantes y equilibrio de Nash

Estrategias: conjunto de acciones de A_i .

Dada una estrategia s para el agente i se denota s^* los resultados que puede obtener el agente i jugando la estrategia s .

- $C^* = \{\omega_3, \omega_4\}$
- $D^* = \{\omega_1, \omega_2\}$

Una estrategia s_1 predomina sobre s_2 si su conjunto de resultados predomina sobre el otro.

Equilibrio de Nash

Definición:

- Cada jugador está ejecutando el mejor "movimiento" que puede dados los movimientos de los demás jugadores.
- Ningún agente puede incrementar su utilidad cambiando unilateralmente su acción.

Equilibrio de Nash

Dos estrategias s_1 y s_2 están en equilibrio de Nash si:

- a. Bajo la suposición que el agente i juega s_1 , el agente j no puede hacer nada mejor que jugar s_2 ; y
- b. Bajo la suposición que el agente j juega s_2 , el agente i no puede hacer nada mejor que jugar s_1 .

La forma mutua de un equilibrio es importante porque bloquea los agentes en un par de estrategias.

Ningún agente tendrá incentivo de desviarse del equilibrio de Nash.

No todo escenario tiene un equilibrio de Nash y algunos escenarios tienen más de uno.

El dilema del prisionero

- Según el **equilibrio de Nash**, existe solo un caso:
 - que ambos confiesen**
 - Si yo confieso, lo mejor que puede hacer el otro es confesar y viceversa.
 - Si se asume que el otro no va a confesar, lo mejor que puedo hacer es confesar, ya que salgo libre
- La intuición dice que sería mejor si ninguno confesara, en cuyo caso van a la cárcel por un año
Por eso este problema es visto como un dilema

Soluciones al Dilema del Prisionero

Dilema del Prisionero:

- El único equilibrio de Nash es (D,D) , por lo que ambos acusados acabarán por 5 años en la cárcel
- **Pero la opción (D,D) no es (Pareto-)eficiente ...**
 - (C,C) domina a (D,D)
 - Cada agente podría estar mejor sin que el otro estuviera peor

Soluciones:

- Modificar el concepto de racionalidad: altruismo, generosidad, etc.
- *Dilema del Prisionero Iterado* (con futuro “abierto”):

Establecer condiciones para que se pueda llegar a “acuerdos creíbles”

El dilema del prisionero

- **Formas de obtener cooperación del otro:**
 - Si se logra que el otro no busque su propio beneficio
 - Si se sabe que piensa de la misma forma, se puede asumir que se dará cuenta de que es mejor cooperar (no sería un dilema ya que habría un solo acusado)
- **Cómo se logra que la cooperación sea lo más racional:**
 - El dilema del prisionero iterado, cada iteración es un round. Se asume que cada agente puede ver lo que hizo el otro en la ronda anterior.
 - Puede ser que uno decida *castigar* al otro
 - Puede ser que pierda utilidad, la cual se compensará por la cantidad de veces que se juega
 - Si se juega un número finito de veces, solo el último juego es en verdad un dilema
 - La ventaja es que si se juega suficientes veces, se puede tender a que la reacción común sea cooperar

Torneo de Axelrod

Interesado en cómo la cooperación puede surgir en sociedades de agentes con intereses propios

- Axelrod convocó a un torneo público a politólogos, sicólogos, economistas y teóricos del juego.
- Los participantes debían enviar un programa de cómputo que jugara el dilema del prisionero iterado.
 - Cada programa se corrió contra los otros por cinco juegos de 200 iteraciones.
 - El ganador era el programa que lo hiciera mejor en comparación a los demás programas.

Torneo de Axelrod

- Algunas estrategias enviadas:
 - ALL-D: Nunca cooperar
 - RANDOM: Cooperar o no de manera aleatoria
 - TIT-FOR-TAT: Cooperar la primera vez y en la iteración t , y luego jugar igual que el contrincante en la ronda $t-1$
 - TFT dio mejores resultados en general porque juega con programas que **tienden a cooperar**. Si los otros tienden a no cooperar, él sigue comportandose igual

Torneo de Axelrod

Cuatro reglas para el éxito en el dilema del prisionero iterado:

- No ser envidioso
- No ser el primero en no cooperar
- Ser recíproco con cooperar y no cooperar
- No ser muy inteligente

TFT fue el programa mejor en la competencia

Otros ejemplos

El juego de la gallina:

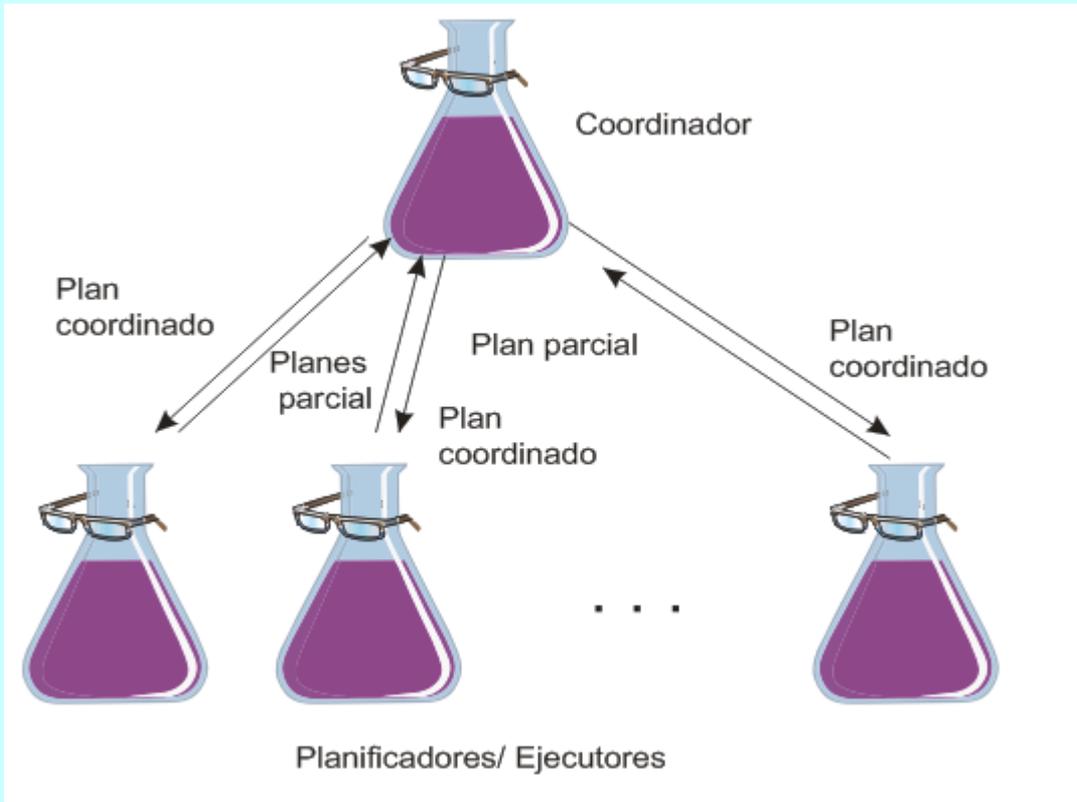
– Ambos jugadores manejan sus autos hacia un acantilado

– El caso más temido es que **ninguno coopere** (ninguno gana y ambos mueren)

– **Equilibrios de Nash:**

Uno conduce hacia el acantilado y el otro se desvía y viceversa

Planificación



Planificación centralizado para planes distribuidos

Coordinación centralizada para planes parciales

Planificación distribuida de un plan centralizado

Planificación distribuida para planes distribuidos

Jerarquización de planes.

Planificación reactiva,

PLANIFICACION MULTIAGENTES

- PLANIFICACION CENTRALIZADA PARA AGENTES MULTIPLES:
 1. REALIZACION DE UN PLAN GENERAL (EL PLANIFICADOR)
 2. IDENTIFICACION RAMIFICACIONES QUE SE PUEDEN REALIZAR EN PARALELO (POP)
 3. ASIGNACION (ESTATICA O DINAMICA) DE LAS TAREAS A LOS AGENTES
- COORDINACION CENTRALIZADA POR PLANES PARCIALES
 1. CADA AGENTE HACE SU PLAN PARCIAL
 2. EL COORDINADOR FUSIONA LOS PLANES (RELACION ENTRE LAS ACCIONES)
- PLANIFICACION DISTRIBUIDA
 1. CADA AGENTE HACE SU PLAN PARCIAL
 2. NEGOCIACION

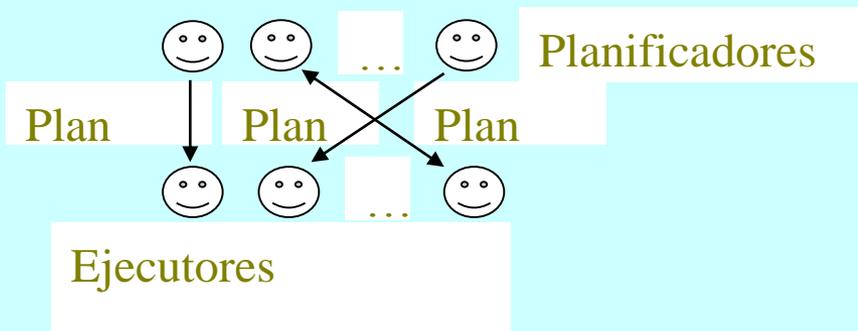
PLANIFICACION MULTIAGENTES



Planificación centralizada para planes distribuidos



Planificación distribuida para un plan centralizado

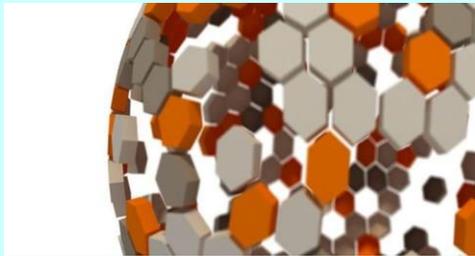


Planificación distribuida para planes distribuidos

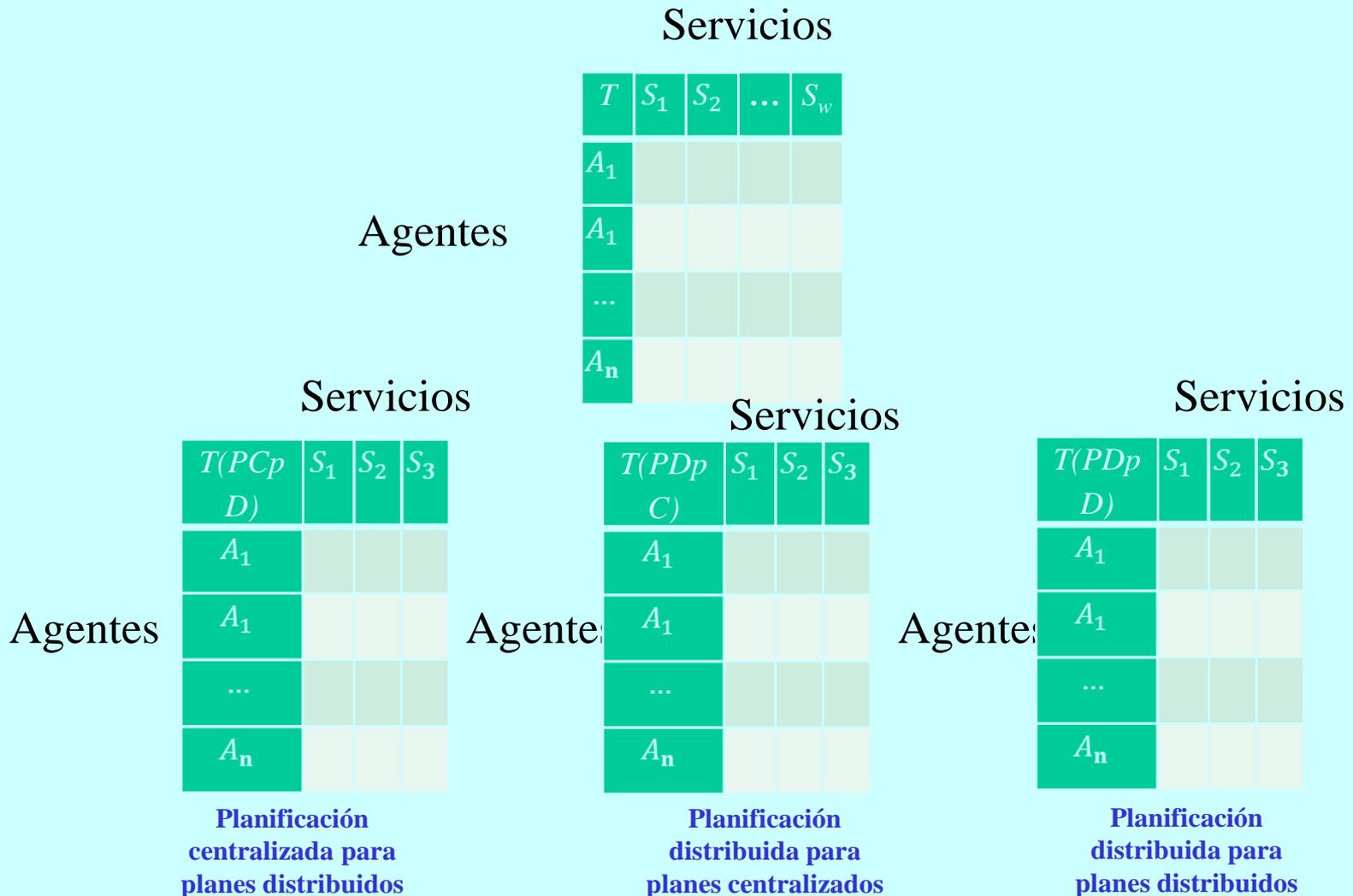
Modelo formal para el mecanismo de planificación

$$PL = \langle AP, AA, AE, T, G, P \rangle$$

- AP, AA y $AE \subset A$ son los conjuntos de agentes que planifican, asignan y ejecutan un plan, o sub-planes, respectivamente.
- T es la matriz de asignación (conformada por agentes y servicios)
- G es el objetivo general,
- P es el conjunto de sub-planes $sp_e, \forall e = 1..q$, donde q es el número de sub-planes



Modelo formal para el mecanismo de planificación



Coordinación Reactiva: Sistemas Artificiales de Hormigas

Regla de Transición (toma de decisión):

$$P_{rs}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\gamma_{rs}(t)]^\alpha [\eta_{rs}]^\beta}{\sum_{u \in J_r^k} [\gamma_{ru}(t)]^\alpha [\eta_{ru}]^\beta} & \text{Si } s \in J_r^k \\ 0 & \text{De lo contrario} \end{cases}$$

$\gamma_{rs}(t)$: Cantidad de feromona,

η_{rs} : inverso de la distancia

$J_k(r)$: nodos aun no visitados,

β y α : parámetros

Regla de actualización de las trazas:

$$\gamma_{rs}(t) = (1 - \rho)\gamma_{rs}(t-1) + \sum_{k=1}^m \Delta\gamma_{rs}^k(t)$$

$(1-\rho)$: tasa de evaporación,

m : numero de hormigas

$\Delta\gamma_{rs}^k(t)$: cantidad de traza que se deja por unidad de longitud

Coordinación Reactiva: Sistemas Artificiales de Hormigas

Cantidad dejada de *feromona*

$$\Delta\gamma_{rs}^k(t) = \begin{cases} 1/L_k(t) & \text{Si arco } (r,s) \in \text{tour completado por hormiga } k \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

Extensiones

- Exploración vs. Explotación
- Regla Actualización global vs. Local

Coordinación Reactiva: Modelo de Umbral de Respuesta

- Elasticidad del comportamiento de los individuos
- Reacción a estímulos asociados a tareas
- Especialización
- Plasticidad
- Robustez/Elasticidad

*Sirve para la División del Trabajo y Asignación de
Tareas*

Soporta formas de Aprendizaje

(vista en asignación de tareas)

Coordinación Reactiva: Agrupamiento

- **Objetivo:** Objetos aislados deben ser recogidos y depositados en sitios donde hallan mas del mismo tipo
- **Modelo para un solo tipo de objeto**
 - Probabilidad para un agente sin carga recoja un objeto

$$P_R = \left(\frac{K_1}{K_1 + f} \right)^2$$

- Probabilidad para un agente con carga deposite un objeto

$$P_d = \left(\frac{f}{K_2 + f} \right)^2$$

K_1, K_2 : umbral (constante)

f : fracción de objetos percibidos en la vecindad del agente (f : numero de objetos durante los últimos T unidades de tiempo dividido por el numero de objetos máximo que se puede encontrar durante ese lapso de tiempo)

Leyes sociales y Estructura Organizacional

- **Leyes sociales**

- Coordinación se obtiene al obedecer reglas o convenciones sociales.
- Ejemplo: Manejar siguiendo las reglas de tránsito

- **Estructura Organizacional**

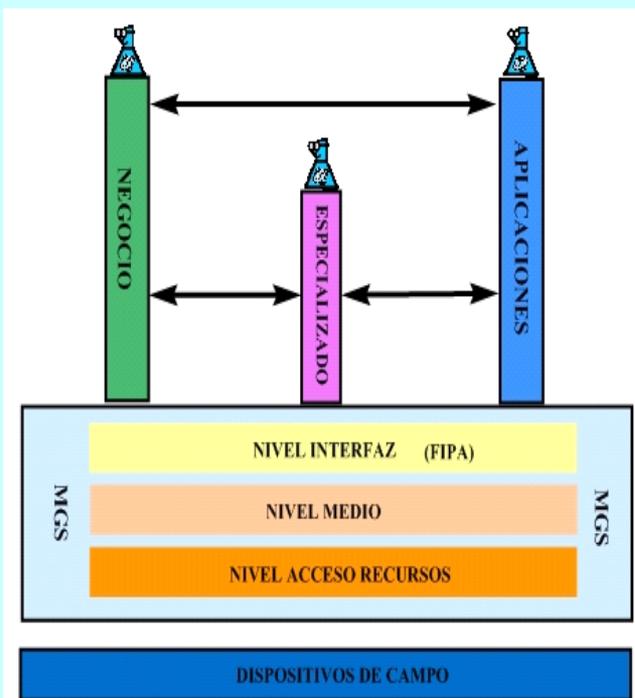
- Coordinación se logra a través de la distribución funcional, espacial, especialización y división de tareas, de responsabilidades, etc.

Misión

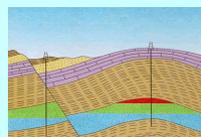
- Propuesto por Jennings:
- Basado en los modelos humanos de trabajo en equipo
 - “Cuando un grupo de agentes está involucrado en una actividad cooperativa, debe tener una misión conjunta para su meta general, así como sus misiones individuales”
- Misión: un compromiso o una promesa
 - La misión es persistente: si el agente adopta una misión, ésta no se detiene hasta que por alguna razón no se requiere más o se cumpla.
 - Las misiones pueden cambiar a lo largo del tiempo (por ejemplo, debido a cambios en el entorno).

Casos de estudio

Sistema multi-agente de una unidad de explotación de yacimientos de producción petrolera



1. Yacimientos



Plan de Explotación (Yacimientos)

2. Extracción de Fluidos



Pozos Perforación Subsuelo/Superficie

4. Almacenamiento y Despacho



Patio de Tanques

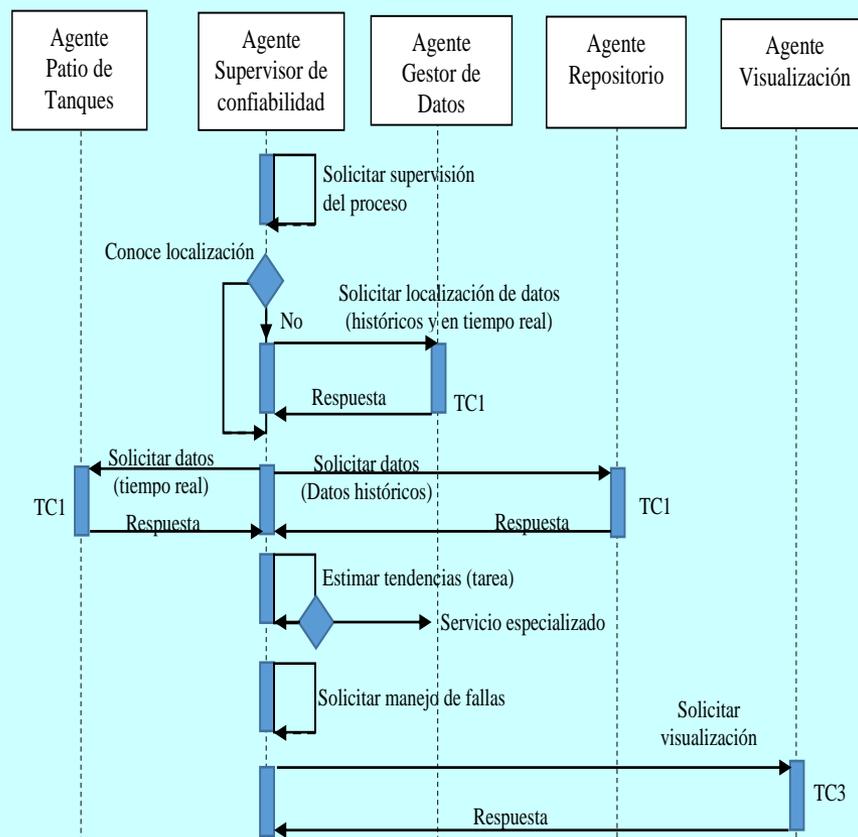
3. Manejo y Disposición



Estaciones de Flujo, Plataformas, Plantas de Procesamiento de Gas

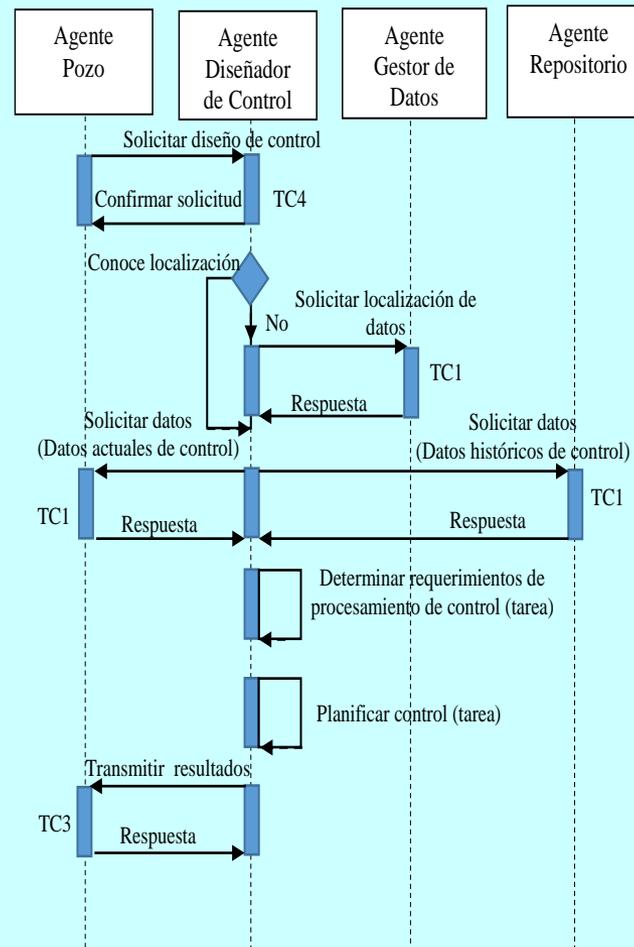
Casos de estudio

Monitorear el proceso del agente patio de tanques



Casos de estudio

Diseñar el control de un agente pozo



Casos de estudio

**Evaluar el desempeño
del plan de control
del agente estación de
flujo.**

