

Coordinación

Jose Aguilar

CEMISID, Facultad de Ingeniería

Universidad de los Andes

Mérida, Venezuela

aguilar@ula.ve

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.

COORDINACION DE ACCIONES

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

COORDINACION DE ACCIONES

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

uniforme

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.

La 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)

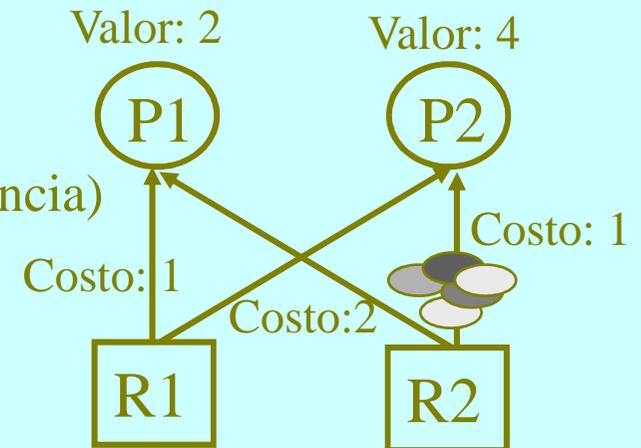
Varios diseñadores de agentes

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):

$p=?$ **R2**
~~A1~~ **A2** **N** $-p=?$

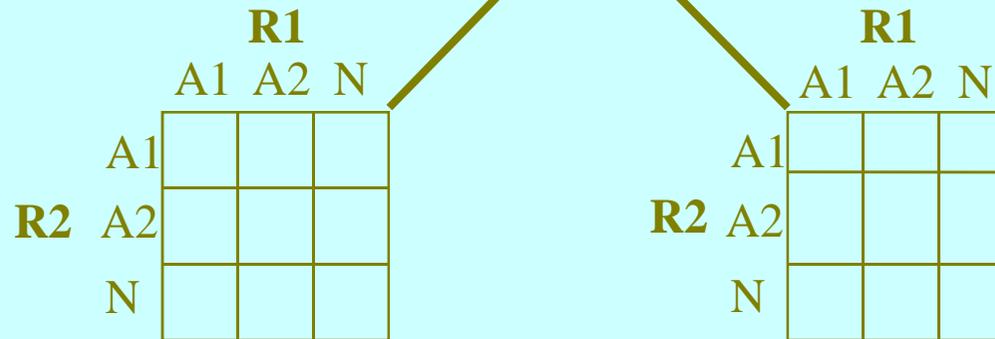
| | | | | |
|-------|---|---|---|--|
| A1 | 1 | 1 | 1 | |
| R1 A2 | 3 | 3 | 3 | |
| N | 0 | 0 | 0 | |

Modelo de R1 de su propia situación

R2 no sabe de Pi

R2 sabe de Pi

Modelo de R1 sobre las posibles acciones de R2



La 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

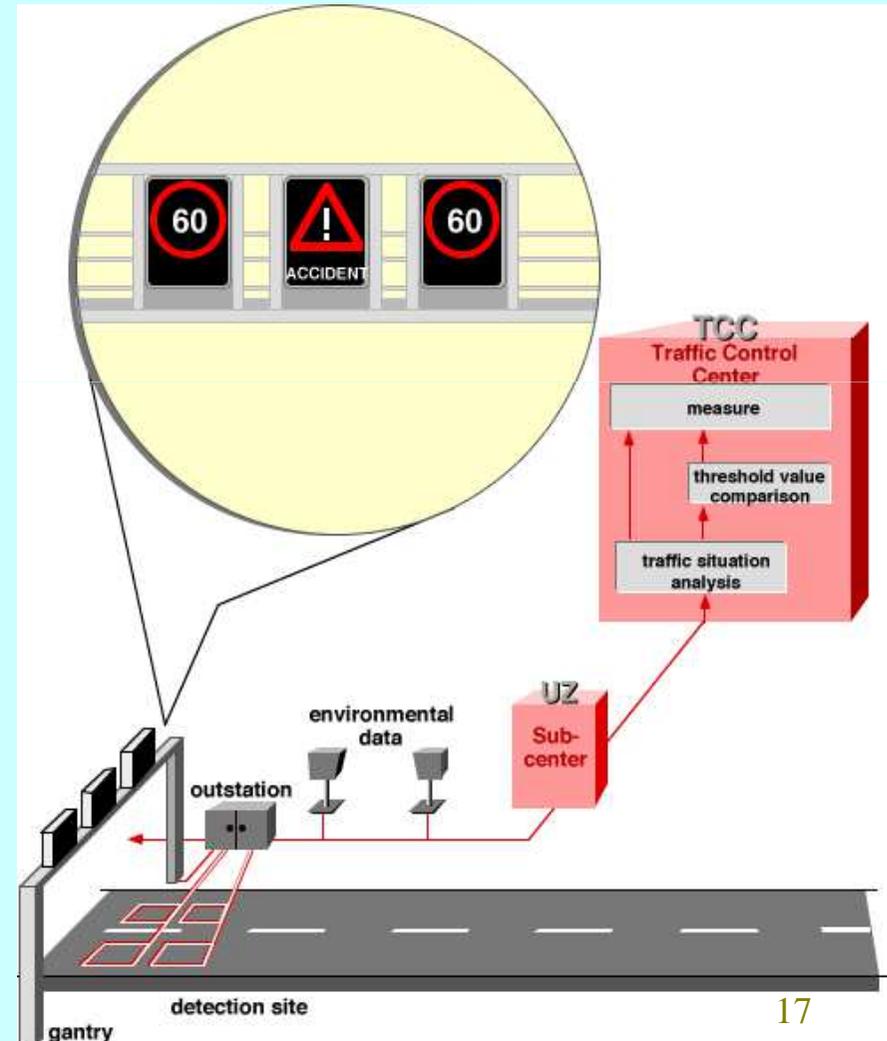
Un diseñador de agentes

- **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

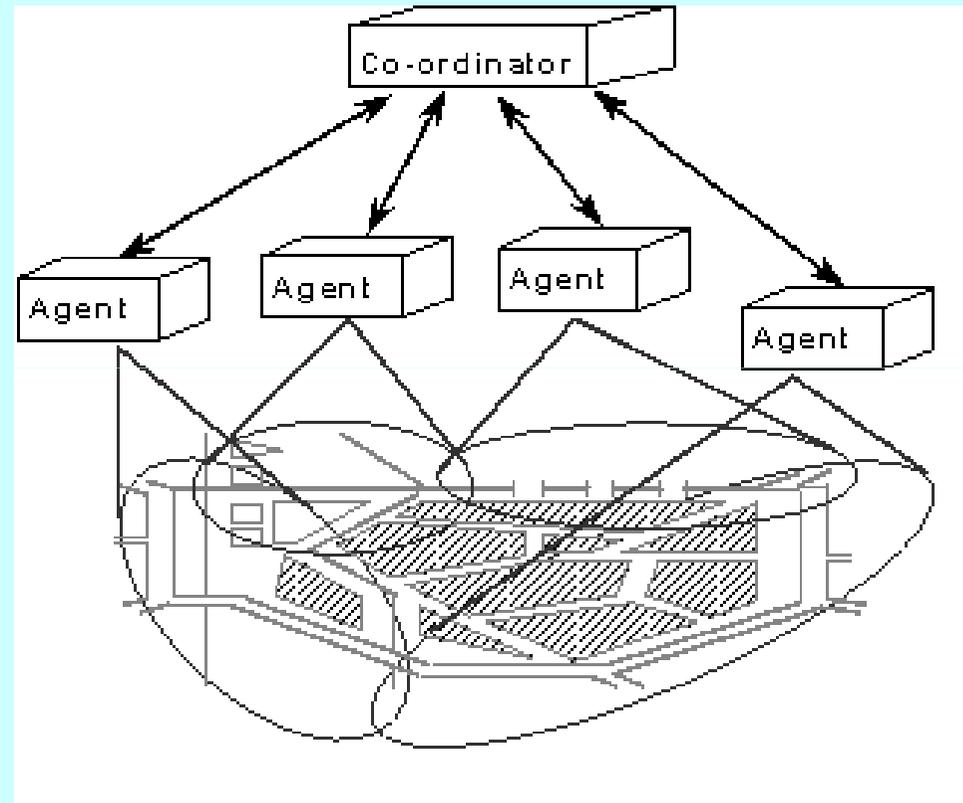
- Ejemplo: Gestión de tráfico
 - Red de rutas en una ciudad
 - Construir un sistema que genere planes de señalización en función del estado del tráfico



Coordinación a nivel macro: Resolución Dist. de Problemas

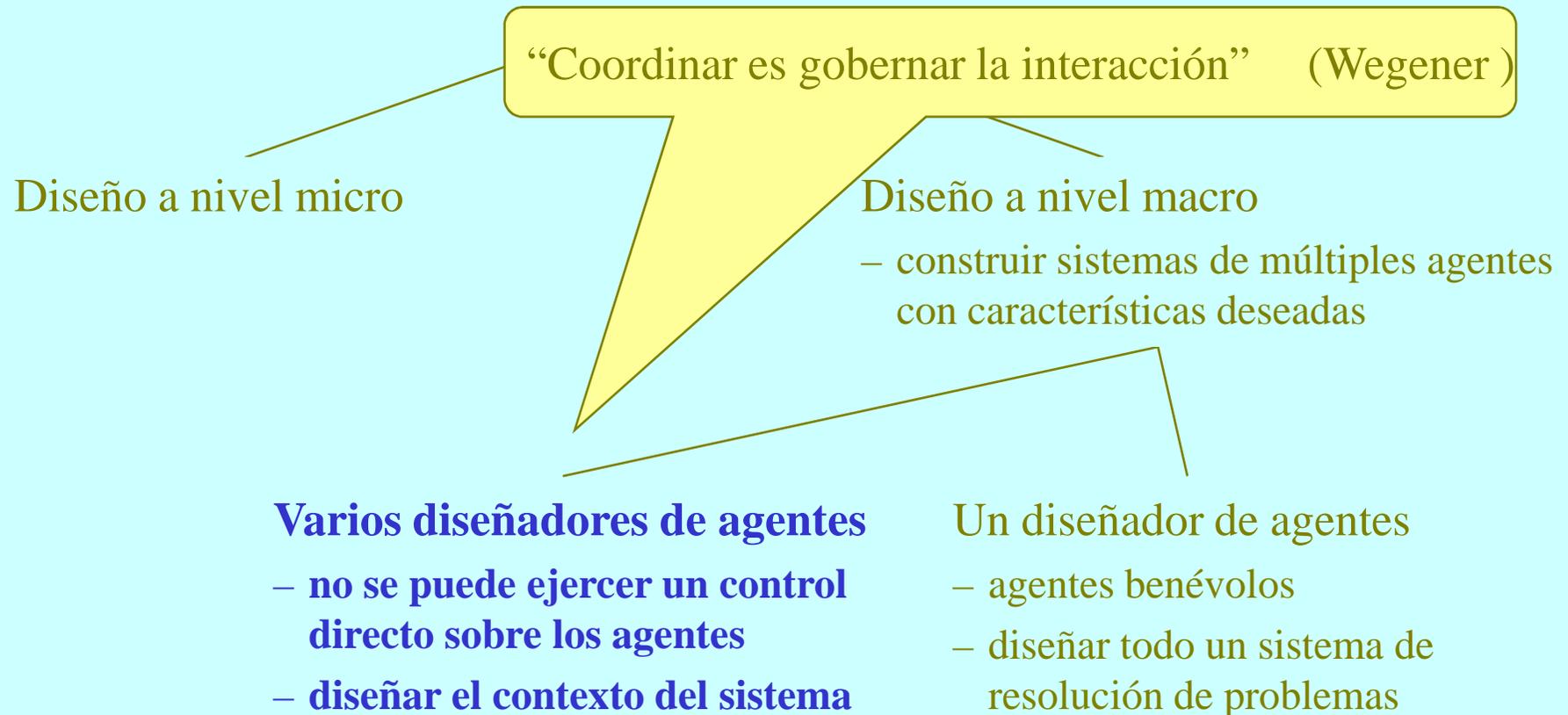
Arquitectura TRYS (*Cuena et al.*):

- 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



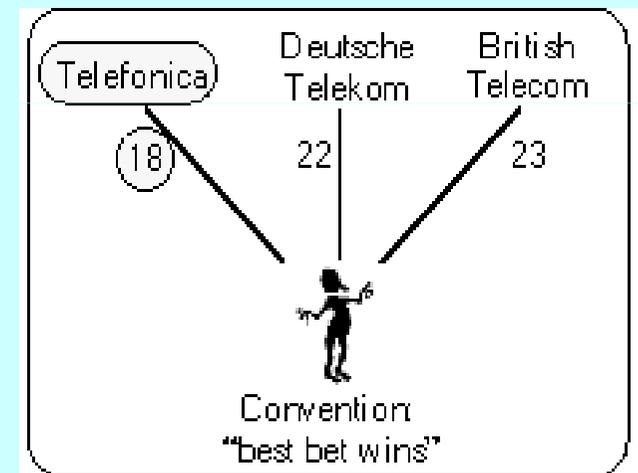
La coordinación en los SMA: perspectivas diferentes

Interés del diseñador en la coordinación



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



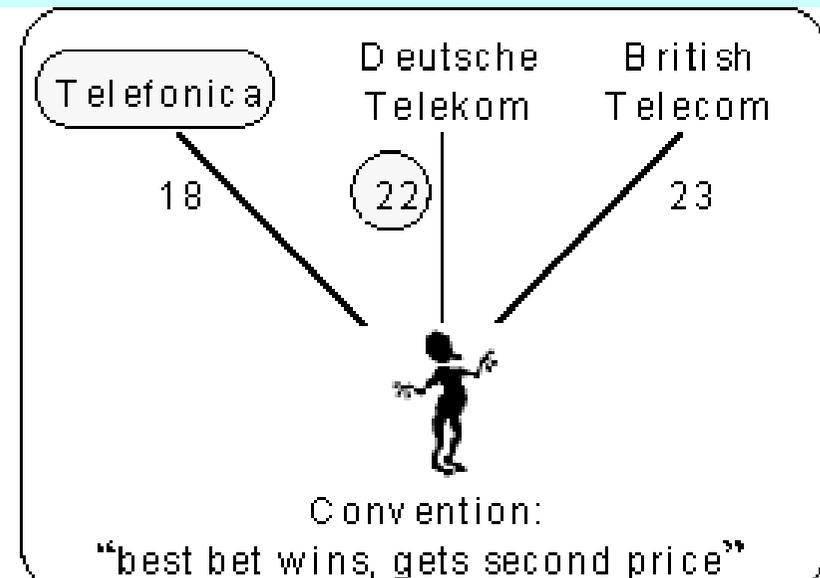
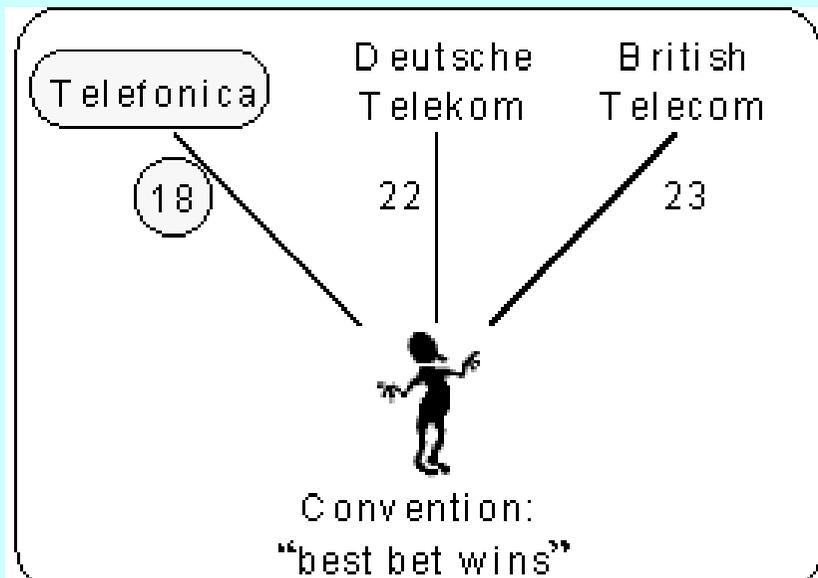
Coordinación a nivel macro: Sociedades de Agentes

- **Criterio 1:**

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

- **Criterio 2:**

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



La 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

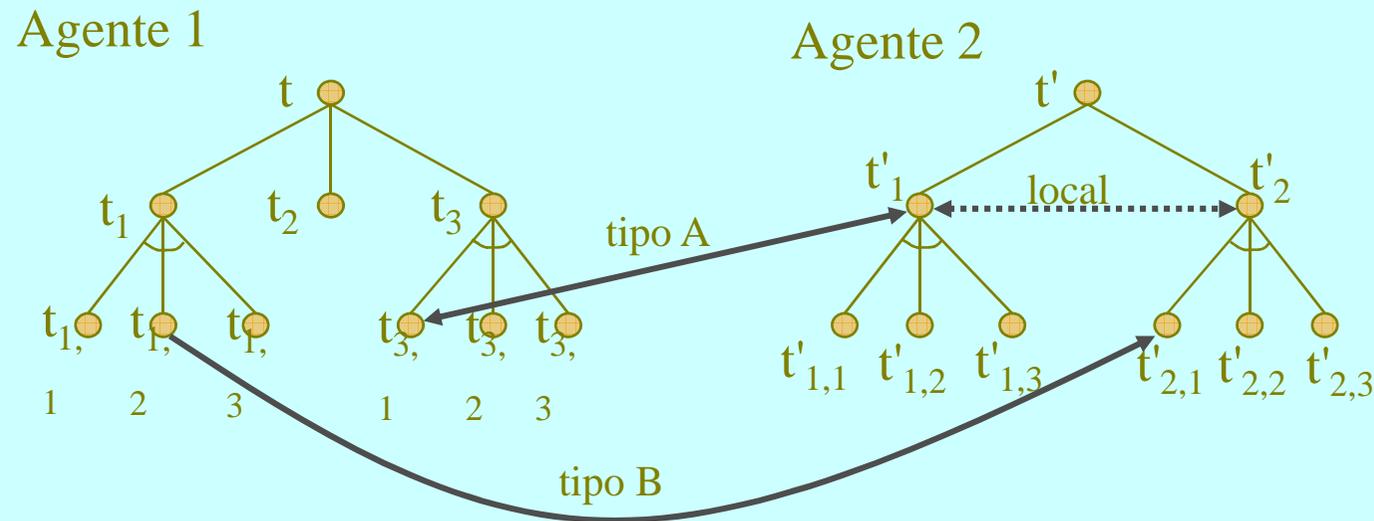
Un diseñador de agentes

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

Diseño de protocolos

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, \:

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

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

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*).
- **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 parecidos 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

$$- U_1(D,D) = -5 \quad U_1(D,C) = 0 \quad U_1(C,D) = -10 \quad U_1(C,C) = -1$$

$$- U_2(D,D) = -5 \quad U_2(D,C) = -10 \quad U_2(C,D) = 0 \quad U_2(C,C) = -1$$

Matriz del juego:

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

Preferencias

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

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

Equilibrio de Nash

Definición:

- Una “solución” para juegos con dos o más jugadores,³ 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.

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.
- Formalmente, si σ^* es un equilibrio de Nash entonces

$$\forall i \in I \forall \sigma_i \in S_i. \quad U_i(\sigma_1^*, \dots, \sigma_i, \dots, \sigma_n^*) \leq U_i(\sigma_1^*, \dots, \sigma_i^*, \dots, \sigma_n^*)$$

- Dependiendo del juego puede haber uno, varios, o ningún equilibrio de Nash

Soluciones al Dilema del Prisionero

Dilema del Prisionero:

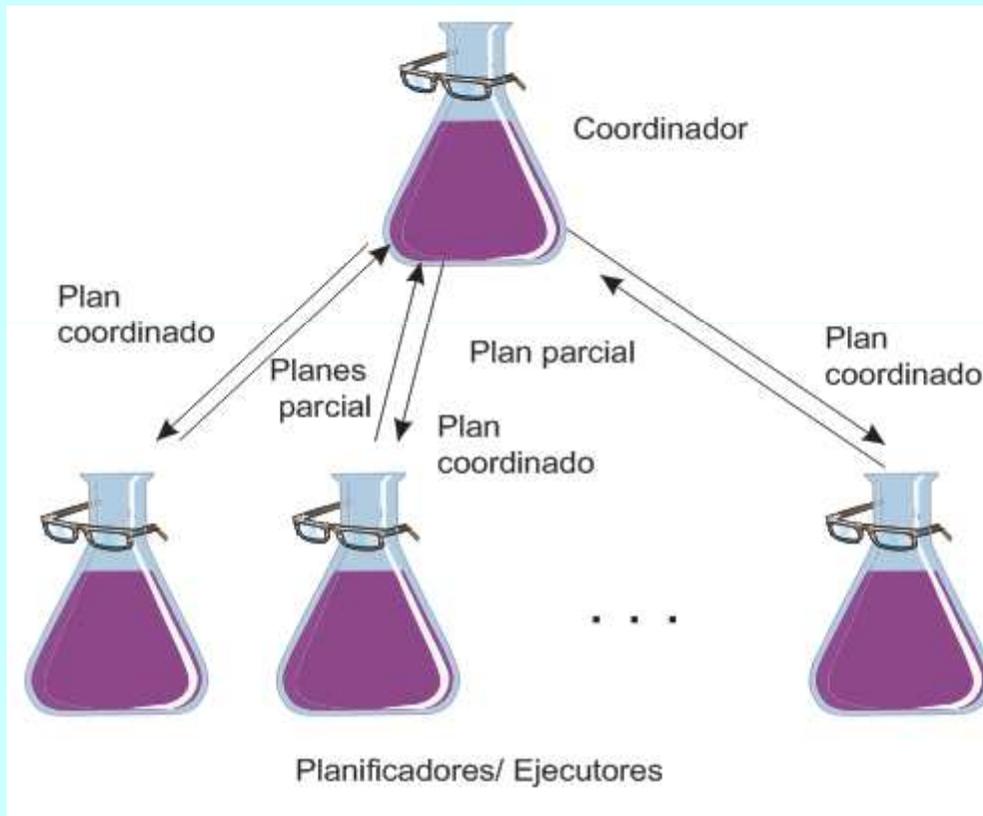
- El único equilibrio de Nash es (D,D) , por lo que ambos acusados acabarán por 5 años en la cárcel
- Pero la opción (D,D) **no** es (Pareto-)eficiente ...
 - (C,C) domina a (D,D)
 - Cada agente podría estar mejor sin que el otro estuviera peor

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”

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.

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

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

η_{rs} : inverso de la distancia
 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).

Negociación

Conflictos

- Los conflictos surgen cuando al resolver un problema se da una o varias de las siguientes circunstancias:
 - El conocimiento local es incompleto.
 - Coexisten metas diferentes y divergentes en algún momento.
 - Hay diferentes criterios de evaluación de soluciones.
 - Los recursos son limitados.
- Aspecto positivo:
 - se intercambia información
 - mejora la robustez e integración
 - se llega a soluciones globalmente óptimas.
- Los conflictos se resuelven o evitan mediante mecanismos de:
 - prevención y evitación (clásicos en S.O.),
 - sistemas de pizarra (sincronización),
 - negociación.

Negociación

Consiste en llegar a un acuerdo a través de ofertas, contraofertas, argumentación, etc.

Negociación

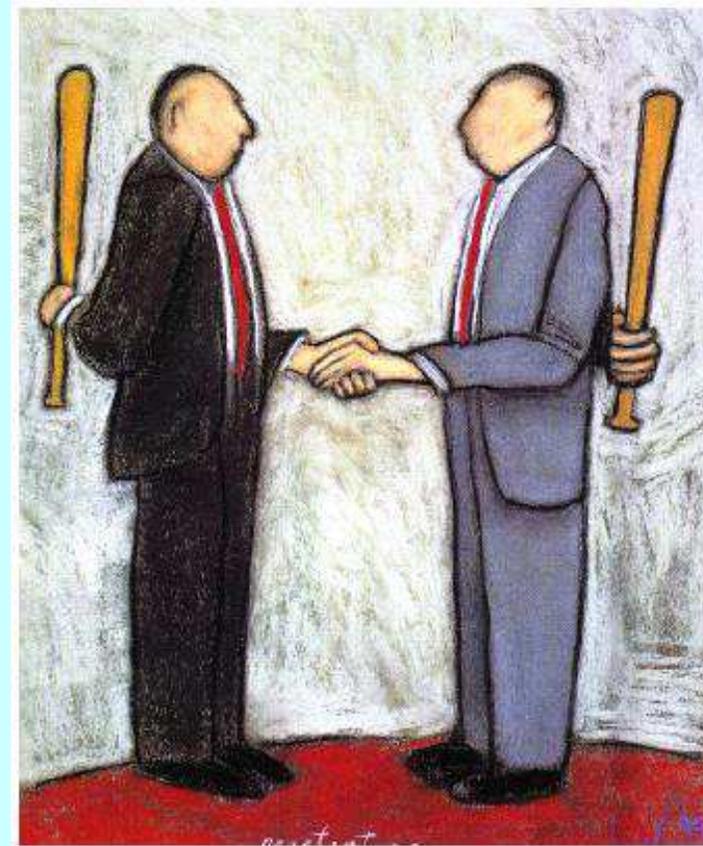
Forma de interacción en la cual un grupo de agentes, con intereses conflictivos y un deseo de cooperar, intentan alcanzar un acuerdo mutuamente aceptable en la división de recursos escasos (Rahwan et al., 2003a)

La negociación se resuelve con un plan común

- Negociación estricta:
 - negociación de un plan común;
 - ejecución estricta del plan.
- Otros aspectos de la Negociación:
 - Existen esquemas conocidos de negociación y relajación de metas
 - Existen mecanismos de arbitraje bien conocidos

Negociación

- **Objetivo:**
 - determinar (las condiciones de) un acuerdo entre, al menos, dos agentes
- **Tipos de negociación:**
 - **Subastas**
 - Adjudicar productos y tareas a través de un “mercado”
 - n participantes, transacción entre 2
 - **Regateo**
 - Llegar a un acuerdo entre *todos* los participantes
 - **Argumentación**
 - Resolver (supuestos) conflictos a través del debate



Negociación

la negociación viene definida por tres aspectos importantes:

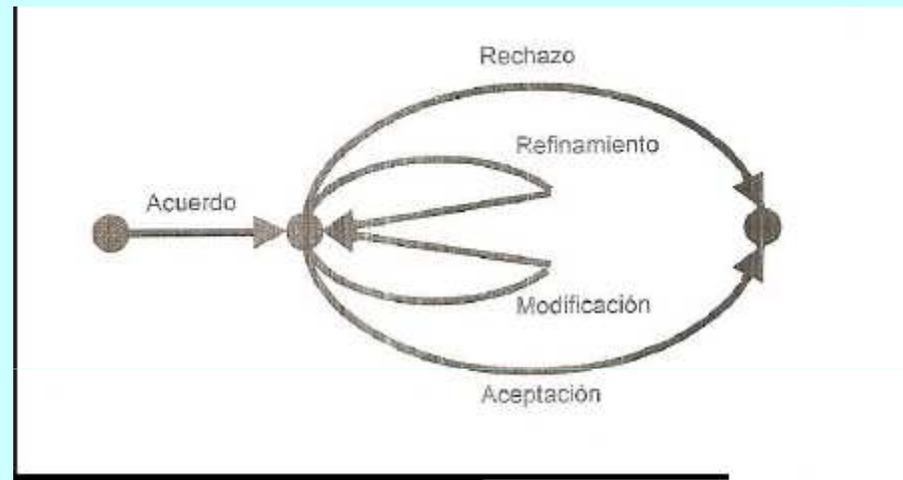
- El flujo de información entre agentes es bidireccional
- Cada negociador evalúa la información desde su propia perspectiva
- La decisión final se toma de mutuo acuerdo

Elementos principales: la comunicación y la toma de decisiones.

- Lenguaje de negociación. Define las primitivas de comunicación que permiten la negociación, su semántica y su uso.
- Toma de decisiones: se lleva a cabo mediante algoritmos o funciones de decisión que permiten comparar las distintas opciones que se barajan durante la negociación: funciones de utilidad, representación y estructura de preferencias
- Proceso de negociación: define modelos generales del proceso de negociación y el comportamiento general de los agentes que negocian

Negociación

Protocolo de Negociación



Toma de decisiones durante la negociación

- Funciones de utilidad
- Funciones de comparación
- Preferencias: $V(\text{Hoy}(\text{Sábado})\text{ir}(\text{cine}))$

Negociación

Estrategias de negociación

1. Acuerdo unilateral
2. Comienzo competitivo mantenido una postura firme y utilizando técnicas de presión
3. Comienzo cooperativo: buscando soluciones a base de acuerdos.
4. Impasible
5. Ruptura

Los comportamientos cooperativos y competitivos son los extremos del espectro de posibilidades que ofrece la negociación.