

# Sistemas Multiagente

Introducción a la Coordinación.

# Introducción

- Coordinación en MAS
- Tipos de Coordinación
- Estructuras de Coordinación
- Modelos Sociales de Coordinación

# Coordinación

- Definición de Agente
  - Autonomía, Reactividad y Proactividad

# Coordinación

- Definición de Agente
  - Autonomía, Reactividad y Proactividad
- Posteriormente:
  - Comunicación: Habilidades sociales y Coordinación

# Coordinación

- La **Coordinación** es una propiedad deseada en los MAS cuyos agentes tienen que realizar tareas complejas en entornos compartidos.

# Coordinación

- El grado de Coordinación de un MAS depende de:

# Coordinación

- El grado de Coordinación de un MAS depende de:
  - La incapacidad de individuo (agente) a realizar la tarea completa.

# Coordinación

- El grado de Coordinación de un MAS depende de:
  - La incapacidad de individuo (agente) a realizar la tarea completa.
  - La dependencia de unos agentes sobre otros para realizar las tareas.



# Coordinación

- El grado de Coordinación de un MAS depende de:
  - La incapacidad de individuo (agente) a realizar la tarea completa.
  - La dependencia de unos agentes sobre otros para realizar las tareas.
- La necesidad de reducir/optimizar el uso de recursos.

# Coordinación

- El grado de Coordinación de un MAS depende de:
  - La incapacidad de individuo (agente) a realizar la tarea completa.
  - La dependencia de unos agentes sobre otros para realizar las tareas.
  - La necesidad de reducir/optimizar el uso de recursos.
  - La necesidad de evitar fallos del sistema.

# Coordinación

- El grado de Coordinación de un MAS depende de:
  - La incapacidad de individuo (agente) a realizar la tarea completa.
  - La dependencia de unos agentes sobre otros para realizar las tareas.
  - La necesidad de reducir/optimizar el uso de recursos.
  - La necesidad de evitar fallos del sistema.
  - La necesidad de mantener algunas condiciones del sistema.

# Coordinación. Definiciones

- La Coordinación puede ser definida como el proceso de manejo de dependencias entre actividades.
- Mediante ese proceso un agente razona sobre sus acciones locales y las acciones que prevé que realicen otros agentes, con el objetivo de hacer que la comunidad actúe de forma coherente.

# Coordinación. Definiciones

- Una actividad es un conjunto de operaciones potenciales que un actor puede realizar, con un objetivo (o grupo de objetivos).
- Un actor puede ser una agente o grupo de agentes.
- Un conjunto de actividades y un orden entre ellas es un procedimiento.

# Coordinación

- La Coordinación es una funcionalidad que todo MAS debe implementar.
- La Coordinación se vuelve crítica cuando los agentes son heterogéneos y autónomos.
- La Coordinación consiste en un conjunto de mecanismos necesarios para la operación efectiva de un MAS para conseguir una buena división de labores (bien balanceada), reduciendo los acoplamientos y la dependencia de los recursos.

# Coordinación: Teoría

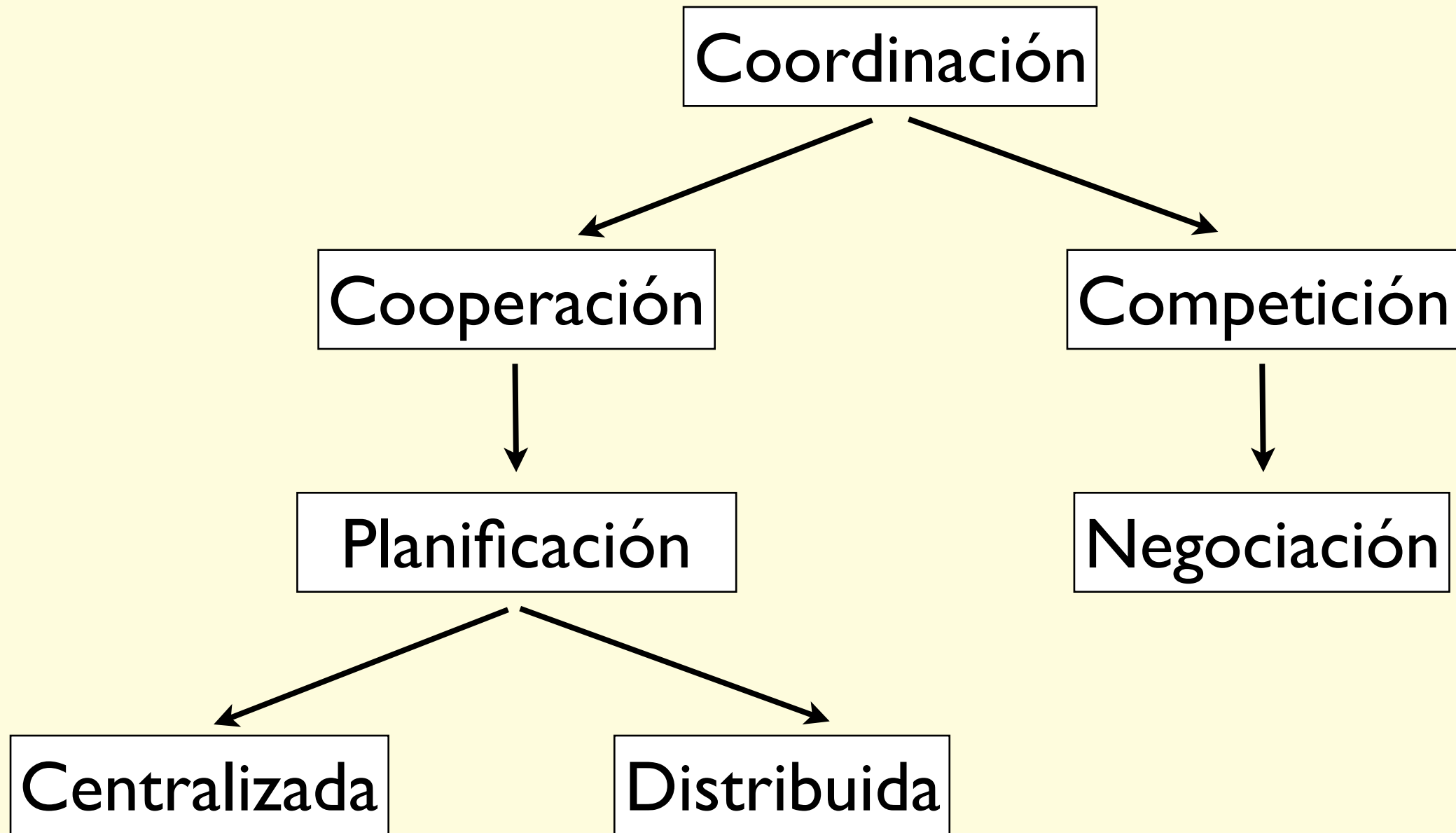
- Hay muchos trabajos teóricos y empíricos sobre coordinación, no sólo para dominios específicos sino, también para visiones más genéricas e independientes de dominio.
- Estos trabajos han estado encaminados a la realización de teorías de coordinación.

# Coordinación: Teoría

- Una Teoría de Coordinación puede ser definida como un conjunto de axiomas y técnicas analíticas usadas para crear un modelo de gestión de dependencias.
- Ejemplos de coordinación son:
  - intenciones conjuntas.
  - planes compartidos.
  - modelos de equipos de trabajo independientes de dominio.



# Coordinación: Teoría



# Cooperación y Planificación

- **Cooperación** es un tipo de coordinación entre agentes que, en principio, no son antagonistas.
- El grado de éxito en una cooperación puede ser medido por:
  - La capacidad de los agentes por mantener **sus propios objetivos**
  - La capacidad de **permitir a otros** agentes a alcanzar sus metas

# Cooperación y Planificación

- **Planificación** es uno de las formas más fuertes de cooperación
- Hay **objetivos y planes compartidos**
- Los agentes **se asignan tareas** para seguir los planes.

# Competición y Negociación

- La **Competición** es un tipo de Coordinación entre agentes antagonistas los cuales competirán con todos los otros o que son **egoistas**.

# Competición y Negociación

- Nosotros estaremos más interesados en **Negociación**
  - ... que es una competición que involucra un nivel de **inteligencia** algo más alto.
- El grado de éxito en una negociación (para cada agente) puede ser medido por:
  - La capacidad de este agente de **maximizar su propio beneficio**.
  - La capacidad de no tener en cuenta el beneficio de los otros agentes o, incluso, tratar de **minimizar el beneficio de los demás**.

# Coordinación Centralizada

- Una forma de rebajar la complejidad en los MAS es **crear un controlador** centralizado, esto es, un agente específico que asegura la coordinación.
- Los coordinadores son agentes los cuales tienen **algún tipo de control sobre los objetivos de los otros agentes** o, al menos, en parte del trabajo asignado a un agente, acorde al conocimiento sobre las capacidades de cada agente que está a las órdenes del agente coordinador.

# Coordinación Centralizada

- Desde el punto de vista del programador, esta aproximación reduce la complejidad en la construcción de MAS:
- El **objetivo final** del sistema está asegurado por los **objetivos del coordinador**, el cuál reemplaza los objetivos de cualquier agente en el sistema.

# Coordinación Centralizada

- Aunque este tipo de arquitectura es más fácil de construir, las principales **desventajas** son:



# Coordinación Centralizada

- Aunque este tipo de arquitectura es más fácil de construir, las principales **desventajas** son:
  - El agente coordinador llega a ser una **pieza crítica** del sistema, el cual depende de la **fiabilidad** de solo un agente y las líneas de comunicación que lo conectan.

# Coordinación Centralizada

- Aunque este tipo de arquitectura es más fácil de construir, las principales **desventajas** son:
  - El agente coordinador llega a ser una **pieza crítica** del sistema, el cual depende de la **fiabilidad** de solo un agente y las líneas de comunicación que lo conectan.
  - En el peor de los casos, si el agente colapsa, el sistema puede también **colapsar**.

# Coordinación Centralizada

- Aunque este tipo de arquitectura es más fácil de construir, las principales **desventajas** son:
  - El agente coordinador llega a ser una **pieza crítica** del sistema, el cual depende de la **fiabilidad** de solo un agente y las líneas de comunicación que lo conectan.
  - En el peor de los casos, si el agente colapsa, el sistema puede también **colapsar**.
  - Los otros agentes tienen una severa pérdida de autonomía. El comportamiento adecuado del sistema depende de la **sumisión** de los agentes aceptando órdenes del coordinador.

# Coordinación Distribuida

- Una **alternativa** es **distribuir** no solamente la carga de trabajo sino el control entre todos los agentes del sistema.
- Eso significa interiorizar el control **en cada agente**, el cual tiene que ser provisto con razonamiento y habilidades sociales, para hacer posible razonar sobre intenciones y conocimiento de otros agentes... más el objetivo global de la sociedad, encaminado a una coordinación exitosa con otros agentes y resolver todos los conflictos que se planteen.

# Coordinación Distribuida

- Sin embargo, en dominios donde el coste de un conflicto es bajo o la resolución del conflicto es difícil, el obtener comportamientos completamente independientes llega a ser irrazonable.
- Por tanto, algunas estructuras estarían definidas para coordinación en un escenario de control distribuido.

# Modelos sociales

- Una fuente de inspiración para solucionar los problemas de coordinación son las **sociedades humanas**.
- La Sociología es la rama de las ciencias que estudia la interrelación entre los **individuos y la sociedad**.
- La Teoría de la **Organización** es un área entre la Sociología y la Economía que estudia como las relaciones pueden ser estructuradas en organizaciones humanas.

# Modelos sociales

- Hay diferentes abstracciones que pueden hacerse:
  - Confianza y Reputación
  - Estructuras sociales y roles
  - Organizaciones Electrónicas. Organizaciones virtuales.
  - Instituciones Electrónicas.

# Otra Clasificación

- La Coordinación puede ser también dividida en otra dimensión:
- **Coordinación Explícita:**  
Los agentes se comunican objetivos, planes, acciones, estado del mundo con el objetivo explícito de actuar coherentemente.
- **Coordinación Implícita:**  
Sin comunicación. El entorno actúa como mecanismo de interacción



# Coordinación Explícita

# Coordinación Explícita

- Resolución cooperativa. (Cooperative Solving Problem)
- Intenciones conjuntas
- Teamwork
- Planificación
- Negociación
- Actos del habla, Algoritmos, Herramientas de Coordinación

# Coordinación con Mensajería

- Desarrollada por Cohen and Levesque, Wooldridge and Jennings.
- Los agentes se comunican con otros para compartir:
  - Tareas
  - Asignaciones
  - Información del estado del mundo
  - Motivaciones
  - etc...

# Coordinación con Mensajería

- Estas comunicaciones son las bases de los acuerdos conjuntos sobre qué hacer.
- Esto es la base del “**Cooperative Problem Solving Process**”

# Cooperative Problem Solving Process

- 4 Pasos fundamentales en la cooperación: (Wooldridge and Jennings):

# Cooperative Problem Solving Process

- 4 Pasos fundamentales en la cooperación: (Wooldridge and Jennings):
  - **Identificación** del problema: el proceso comienza cuando uno o mas agentes identifican un problema para el cual se necesita cooperación.

# Cooperative Problem Solving Process

- 4 Pasos fundamentales en la cooperación: (Wooldridge and Jennings):
  - **Identificación** del problema: el proceso comienza cuando uno o mas agentes identifican un problema para el cual se necesita cooperación.
  - Formación **Equipo**: El agente(s) que reconocen el problema solicita asistencia y busca otros agentes para que le ayuden. Si tiene éxito ha formado un grupo con un objetivo común.

# Cooperative Problem Solving Process

- 4 Pasos fundamentales en la cooperación: (Wooldridge and Jennings):
  - **Identificación** del problema: el proceso comienza cuando uno o mas agentes identifican un problema para el cual se necesita cooperación.
  - Formación **Equipo**: El agente(s) que reconocen el problema solicita asistencia y busca otros agentes para que le ayuden. Si tiene éxito ha formado un grupo con un objetivo común.
  - Formación del **Plan**: El equipo de agentes construyen un plan de acción la cual usa las habilidades individuales en el equipo. El resultado es un conjunto de objetivos individuales e interdependientes para realizar



# Cooperative Problem Solving Process

- 4 Pasos fundamentales en la cooperación: (Wooldridge and Jennings):
  - **Identificación** del problema: el proceso comienza cuando uno o mas agentes identifican un problema para el cual se necesita cooperación.
  - Formación **Equipo**: El agente(s) que reconocen el problema solicita asistencia y busca otros agentes para que le ayuden. Si tiene éxito ha formado un grupo con un objetivo común.
  - Formación del **Plan**: El equipo de agentes construyen un plan de acción la cual usa las habilidades individuales en el equipo. El resultado es un conjunto de objetivos individuales e interdependientes para realizar
  - **Acción** de Equipo: Los agentes realizan las acciones asignadas.

# Intenciones Conjuntas

- Descrita inicialmente por Cohen y Levesque.
- Características comunes:
  - **Realista:** El agente debe de creer que los objetivos son alcanzables.
  - **Temporalmente Estable:** Las intenciones deben de ser persistentes, en algún sentido, aunque no completamente inflexible

# Intenciones Conjuntas

- Jennings también introduce la “Responsabilidad Conjunta” como:
  - Un objetivo común
  - A una receta (plan) para lograr ese objetivo
- Esto se basa en las intenciones conjuntas para vincular la meta de acciones concretas desde:
  - Si tenemos la misma meta no significa que estemos necesariamente de acuerdo en las acciones para lograrlo.
  - Además, cuando empiezo a actuar entonces tengo que estar seguro de que se han comprometido a "hacer su parte".

# TeamWork

- Nombre relacionado a un aspecto particular de “Cooperative Problem Solving” que enfatiza en el **modelo del equipo** (y **actitudes hacia el equipo**) mejor que en las actitudes mentales individuales.
- Énfasis:
  - Detectar interacciones: entre subplanes.
  - Monitorizar el progreso y el plan del equipo: Se han alcanzado los objetivos? pueden los miembros alcanzarlos?... etc...
  - Planificación y resolución de conflictos con el equipo: aplicación de mecanismos para resolver conflictos (ContractNet)

# Planificación

- Planificación Clásica:
  - Centrada en planificar la próxima acción
  - Normalmente asume que el agente es el único Actor del mundo
  - No es “trivial” su generalización al caso de multiagentes.
- Existen 3 variaciones importantes:
  - Planificar cuando existen varios agentes amigos que se suponen que trabajan juntos (Quién, Qué y Cuándo?). Aunque los agentes son los únicos actores.
  - Planificar cuando existen otros agentes (neutrales) presentes.
  - Planificar cuando hay agentes hostiles presentes.

# Planificación Parcial Global

- Incluso en el caso de “agentes amigos” es complejo y requiere:
  - Saber las capacidades de otros agentes
  - Compartir trozos de un plan
  - Coordinar las acciones individuales
- “Partial Global Planning” es una posible solución:
  - Los agentes crean trozos del plan
  - Los comparten usando un protocolo del tipo “Call-for-proposal”
  - El agente modifica su comportamiento con respecto a lo que cree que otros están haciendo.

# Resolución de Conflictos

- **Negociación** es el acto de “Resolver puntos de vista diferentes para llegar a alcanzar un acuerdo” (Lassri)
- La Negociación puede ser sobre muchas cosas:
  - **Coste:** Cuanto pagar por un servicio, generalmente usando mecanismos económicos y evaluación de preferencias.
  - **Verdad:** Decidir si algo es cierto o no - generalmente usando argumentación
  - **Acción:** qué acciones debe de realizar el grupo de agentes (gen. argumentación)

# Negociación

- La **Negociación** es en sí un proceso de **coordinación**:
  - Los agentes **acuerdan** un conjunto predefinido de posibles acciones y reglas para el proceso de negociación.
  - Tienen el objetivo compartido de alcanzar un **acuerdo**.
  - La información intercambiada a menudo contiene detalles de las acciones que tienen que tomarse.
- A veces los agentes no comparten exactamente el mismo “objetivo” en la negociación:
  - Compradores buscan el precio más bajo.
  - Vendedores buscan el precio más alto.



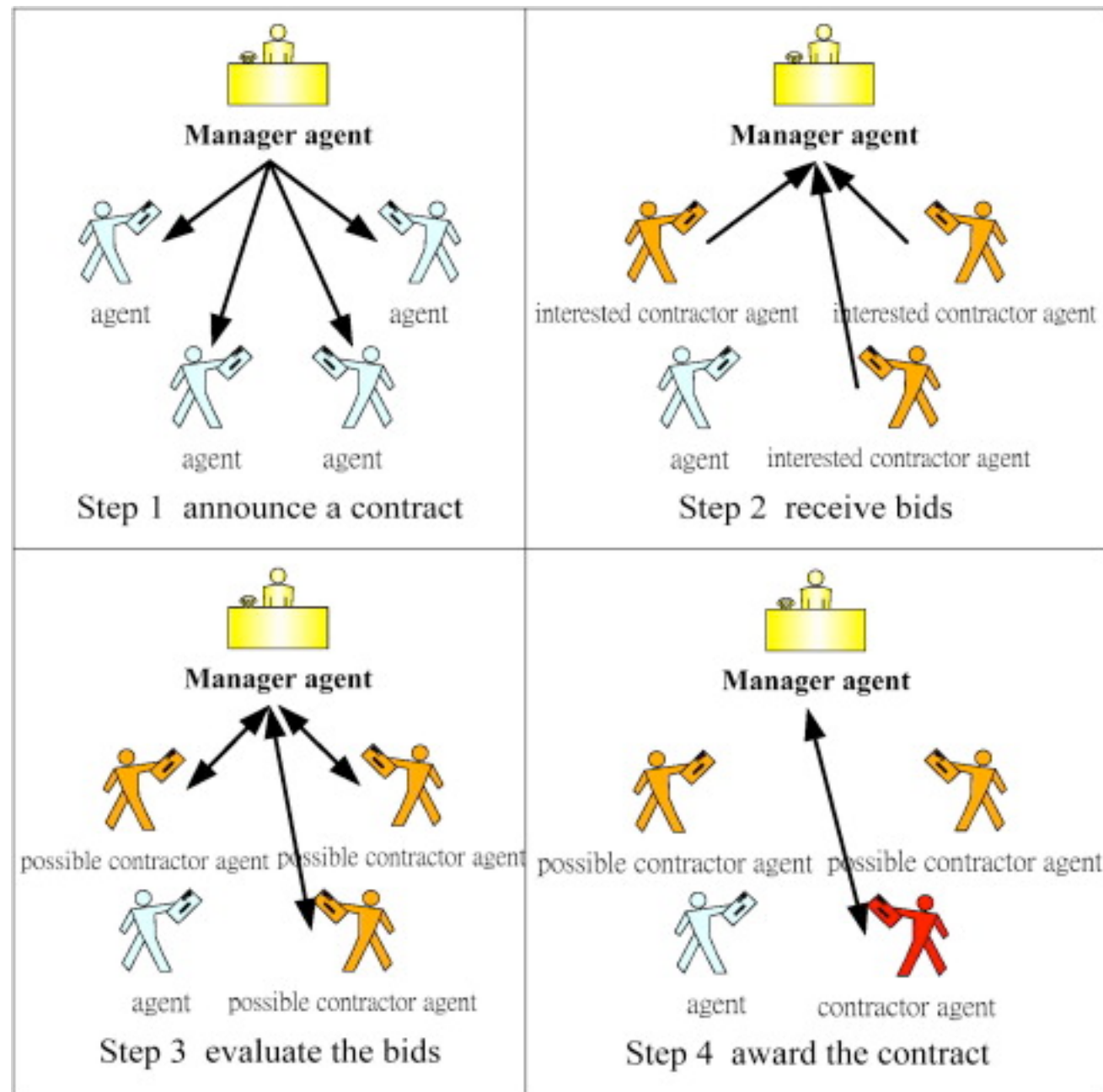
# Métodos de Negociación

- Las técnicas comunes incluyen:
  - (Iterative)Contract Net (Simon and Davies)
    - Usa un “call-for-offers” y un mecanismo de respuesta.
  - Teoría de Juegos (Levy, Zlotkin, Roschein):
    - compartir funciones de utilidad o buscando la convergencia del dilema del prisionero (iterativo) <https://www.youtube.com/watch?v=krewT6cILJY>
  - Métodos de convergencia multi-ronda.
- Basados en argumentación:
  - usando mecanismos lógicos y juegos de diálogos para llegar a obtener un consenso.

# Contract Net

- Uno de los protocolos más conocidos para la asignación y compartición de tareas es: **ContractNet**
- Fases:
  - (Reconocimiento)
  - Anuncio
  - Pujas
  - Concurso
  - Asignación

# The Contract Net



# Reconocimiento

- En esta fase, un agente reconoce que tiene un problema y que necesita ayuda.
- Un agente tiene un objetivo y ...
  - se da cuenta que no es capaz de alcanzarlo por sí sólo - No tiene la capacidad
  - o que prefiere no alcanzar el objetivo él sólo (cuestiones de calidad, tiempos, etc...)

# Anuncio

- El agente encargado de la tarea envía un anuncio de la tarea, lo cual incluye una especificación de la tarea a resolver.
- La especificación debe de incluir:
  - Descripción de la tarea en sí.
  - Restricciones (p.ej. tiempos, calidad, restricciones, etc...)
  - Meta-información (p.ej. “las pujas deben ser emitidas mediante...”
- Por último, el anuncio se envía en modo broadcast.

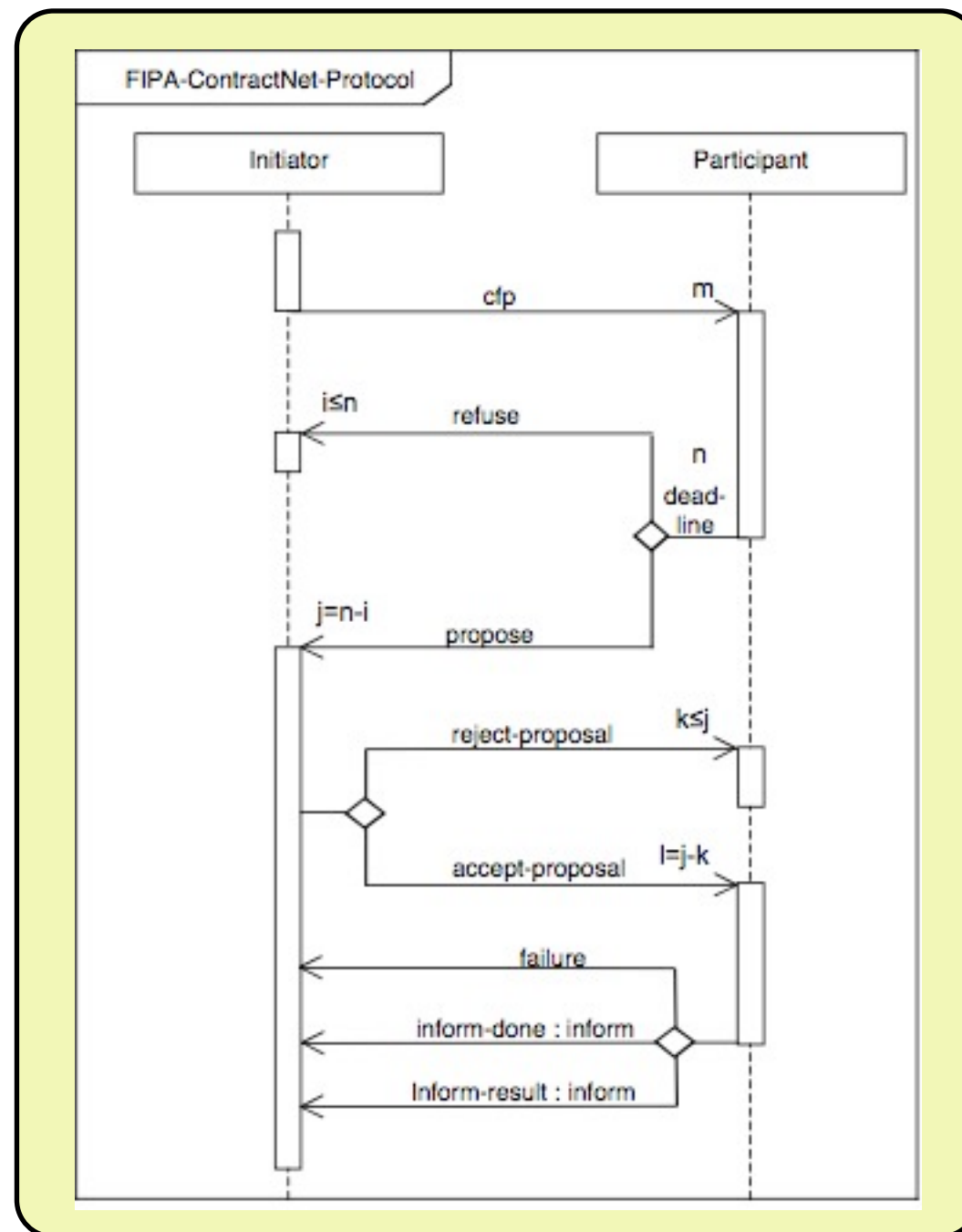
# Pujas

- Los agentes que reciben el anuncio deciden por sí sólos que desean pujar por la tarea
- Factores:
  - Los agentes deben decidir si son capaces de realizar la tarea.
  - Los agentes deben determinar las restricciones, calidad y precio (si es relevante)
- Si decide pujar, entonces envía una oferta

# Concurso y Adjudicación

- El agente que envía el anuncio debe elegir entre las pujas y decidir quien “gana” el contrato.
- El resultado del proceso se le comunica a todos los agentes involucrados
- Al “ganador” se le asigna la tarea
- Esto puede generar mas acciones de negociación.
  - El ganador puede “subcontratar” la tarea o partes de ella.

# Detalles de implementación





# Detalles de implementación

- ¿ Cómo...
  - ...especificar las tareas?
  - ...especificar la calidad de servicio?
  - ...elegir entre distintas ofertas?
  - ...

# Otros métodos

# Compartir resultados con suscripción / Notificaciones

- Patrón común de diseño en sistemas OO: Suscripción/Notificación
  - Un objeto se suscribe a otro diciendo: “Avísame cuando el evento “e” ocurra”.
  - Cuando el evento “e” ocurre, se le notifica al objeto original
- Se comparte información “proactivamente”.
- Los objetos necesitan saber de los intereses de otros objetos.

# La Pizarra. (Blackboard)

- El primer esquema para la resolución cooperativa fue: La pizarra o Blackboard system.
- Se comparten los resultados vía estructuras de datos compartidas
- Los agentes pueden leer y escribir en la pizarra
- Los agentes escriben soluciones parciales en la pizarra.
- La pizarra puede estar estructurada jerárquicamente
- Se requiere exclusión mutua
- No permite la concurrencia.

# Modelo abstracto

- La arquitectura de la pizarra es un sistema de producción paralelo. (reglas  $P \rightarrow A$ )
- Las precondiciones (P) se satisfacen en el estado actual de la pizarra (dinámica) y disparan las acciones asociadas (A)
- Las acciones, generalmente, modifican la estructura de datos de la pizarra.
- Los procesos paran cuando no se satisfacen ninguna precondición o cuando la operación “stop” (o “fallo” o “solución”) se invoca.

# The Blackboard

- Centralized multi-dimensional data structure
- Fundamental data element is called a node (nodes contain data fields)
- Readable and writable by any precondition or KS (production action)
- Preconditions are procedurally oriented and may specify arbitrarily complex tests

# Modularity

- The “KS’s are assumed to be independently developed” and don’t know about the explicit existence of other KS’s — communication must be indirect
- Motivation: the KS’s have been developed by many people working in parallel; it is also useful to check how the system performs using different subsets of KS’s

# The Blackboard (continued)

- Preconditions have “pre-preconditions” that sense primitive conditions on the blackboard, and schedule the real (possibly complex) precondition test
- KS processes are also procedurally oriented, generally hypothesize new data (added to data base) or verify or modify data already in the data base



# The Blackboard (continued)

- Hypothesize-and-test paradigm — hypotheses representing partial problem solutions are generated and then tested for validity
- Neither precondition procedures nor action procedures are assumed to be “indivisible”; activity is occurring concurrently (multiple KS’s, multiple precondition tests...)

# KS Communication

- Takes two forms:
  - Database monitoring to collect data event information for future use (local contexts and precondition activation)
  - Database monitoring to detect data events that violate prior data assumptions (tags and messages)

# Local Contexts

- Each precondition and KS process that needs to remember the history of database changes has its own local database (local context) that keeps track of the global database changes that are relevant to that process
- When a change (data event) occurs on the blackboard, the change is broadcast to all interested local contexts (data node name and field name, with old value of field)
- The blackboard holds only the most current information; local contexts hold the history of changes

# Data Integrity

- Because of the concurrency in blackboard access by preconditions and KS's (and the fact that they are not indivisible), there is a need to maintain data integrity:
  - Syntactic (system) integrity: e.g., each element in a list must point to another valid list element
  - Semantic (user) integrity: e.g., values associated with adjacent list elements must be always less than 100 apart

# Locks

- Locks allow several ways for a process to acquire exclusive or read-only data access:
  - Node locking (specific node)
  - Region locking (a collection of nodes specified by their characteristics, e.g., information level and time period)
  - Node examining (read-only access to other processes)
  - Region examining (read-only)
  - Super lock (arbitrary group of nodes and regions can be locked)

# Tagging

- Locking can obviously cut down on system parallelism, so the blackboard architecture allows data-tagging:
  - Data assumptions placed into the database (defining a critical data set); other processes are free to continue reading and writing that area, but if the assumptions are invalidated, warning messages are sent to relevant processes
  - Precondition data can be tagged by the precondition process on behalf of its KS, so that the KS will know if the precondition data has changed before action is taken