

Agent Communication

1. Motivation

1.1 The nature of communication

- **Comunicación humana**
- La comunicación es el intercambio intencional de información provocado por la producción y percepción de signos extraídos de un sistema compartido de signos convencionales (AIMA, Russell & Norvig) -> **Lenguaje**
- La comunicación es vista como **acción (acto comunicativo)** y como **postura intencional**
- La **postura intencional** es un término acuñado para describir el nivel de abstracción en el que un individuo ve el comportamiento de una **entidad** en términos de **propiedades mentales**

Pasos componentes de la comunicación:

- **Orador (hablador)**: intención, generación y síntesis
- **Oyente**: percepción, análisis (Sintaxis / Semántica / Pragmática), desambiguación y incorporación

1.2 Artificial communication

- Lenguaje de bajo nivel vs lenguaje de alto nivel
- Idiomas comunicación directa vs comunicación indirecta
- Comunicación informática:
memoria compartida/paso de mensajes

Comunicación de agente / comunicación MAS

- Comunicación de **bajo nivel**: señales simples, rastros, lenguajes de bajo nivel
- Comunicación de **alto nivel**: agentes cognitivos, en su mayoría vistos como sistemas intencionales
- Comunicación en **MAS** = más que simple comunicación, implica interacción.

El entorno proporciona una infraestructura computacional donde tienen lugar las interacciones entre los agentes. La infraestructura incluye protocolos para que los agentes se comuniquen y protocolos para que los agentes interactúen

Protocolos de comunicación = permite a los agentes intercambiar y comprender mensajes

Protocolos de interacción = permitir que los agentes tengan conversaciones, es decir, intercambios estructurados de mensajes

La **comunicación** permite a los agentes:

- **coordinar** sus acciones y comportamiento, una propiedad de un MAS que realiza alguna actividad en un entorno compartido
- intentar **cambiar el estado** de los otros agentes
- intentar hacer que los otros agentes **realicen algunas acciones**

Communication infrastructure:

- Directorio de servicios
- Tablero (Backboard) o basado en mensajes (message-based)
- Páginas blancas (white pages)
- conectado o sin conexión (connected or connection-less)
- Páginas Amarillas (yellow pages)
- punto a punto, multidifusión, difusión (point-to-point, multicast, broadcast)

Message protocol:

- push or pull
- KQML
- synchronous or asynchronous
- HTTP or HTML
- OLE, CORBA, DSOM

1.3 Blackboard

Blackboard es un área común (memoria compartida) en la que los agentes pueden intercambiar información, datos, conocimientos.

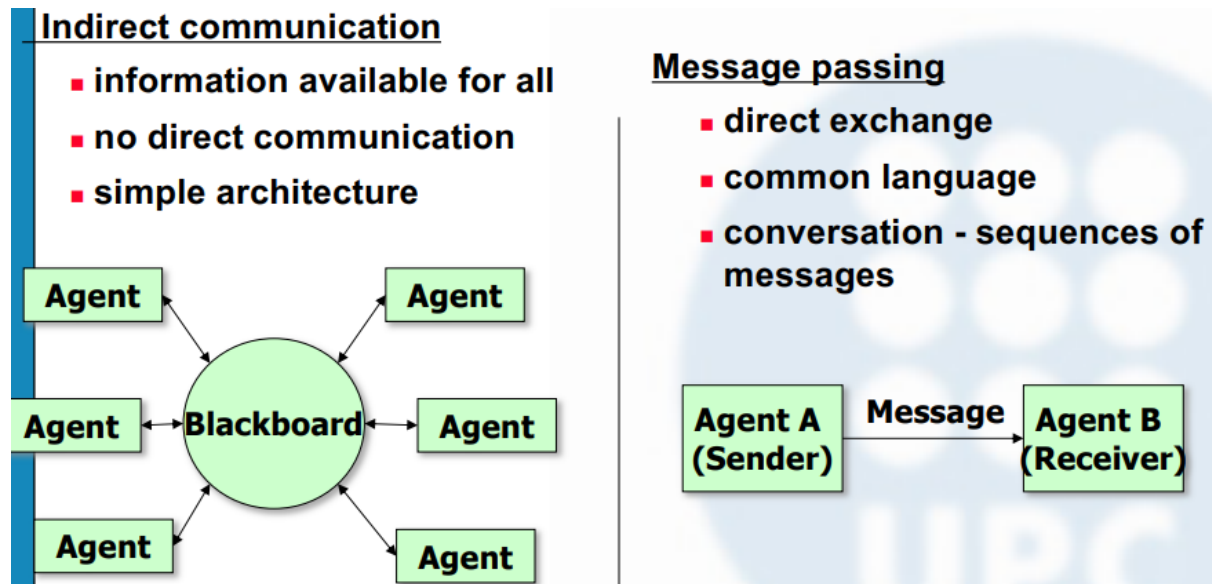
- Los agentes inician la comunicación escribiendo información en la pizarra (blackboard).
- Los agentes están buscando información nueva, pueden filtrarla.
- Los agentes deben registrarse en un sitio central para recibir una autorización de acceso a la pizarra.
- **Blackboard** = un poderoso paradigma de computación de conocimiento distribuido.
- **Agentes** = fuentes de conocimiento (es decir, los agentes tienen una ontología, una experiencia diferente y/o sensores para percibir).

1.4 Communication and ACLs

Comunicación:

- la base para cualquier interacción
- Envío de mensaje = invocación de método
- efectuado a través de señales

2 tipos de comunicación:



1.5 Agents' interactions

La interacción entre los agentes es **inevitable**:

- Para lograr metas propias,
- Para gestionar las interdependencias

Debe ocurrir en el **nivel de conocimiento**

- ¿Qué objetivos?, ¿Cuándo?, ¿Quién ejecuta qué?

Flexibilidad para iniciar y dar respuestas.

- Sincrónicos, programas, etc.

Esto implica un **cambio radical** en la forma en que los programas suelen interactuar.

“El intercambio de conocimientos entre agentes requiere comunicación”

- El éxito del paradigma basado en agentes se basa en la existencia de entidades de software heterogéneas y distribuidas que se comunican entre sí.
- La diversidad/heterogeneidad de los agentes implica la necesidad de un lenguaje común.

2. Agent Communication

Entendimiento mutuo:

- Traducción entre idiomas de representación
- Compartir el contenido semántico del idioma

Componentes de la comunicación a convenir:

- **Protocolo de interacción** (¿Cómo se estructuran las conversaciones/diálogos?)
- **Lenguaje de comunicación** (¿Qué significa cada mensaje?)
- **Protocolo de transporte:**
 - ¿Cómo envían y reciben los mensajes los agentes?
 - Esto está oculto para los desarrolladores en las plataformas de agentes.
- **Arquitectura de comunicación/middleware:**
 - Esto ha sido arreglado por los Estándares FIPA.

Los agentes pueden ser considerados como **Bases de Conocimiento (virtuales)**

3 capas de representación:

- Un lenguaje/formalismo para representar el conocimiento del dominio: **Ontología**
- Un lenguaje para expresar proposiciones (para intercambiar conocimientos): **Idioma del contenido** (para mensajes)
- Un lenguaje para expresar actitudes hacia esas proposiciones: **Idioma de comunicación del agente** (para idiomas)

La **capacidad de intercambiar información** requiere:

1. **capacidad de intercambiar información físicamente**
2. **entendimiento común:**

intercambiar conocimientos requiere comprensión mutua -> 2 claves

traducción entre idiomas

compartir contenido semántico (cada agente tiene supuestos implícitos sobre su propia semántica)

¡la traducción debe preservar la semántica!

para compartir conocimiento, debemos tener una semántica común

se puede compartir a través de **ontologías comunes**

3. **lenguaje común**

incorpora dos tipos de lenguajes

lenguaje de contenidos

lenguaje de comunicación

4. **estrategias/protocolos de interacción**

3. Levels in Agent Communication

4 niveles de comunicación:

- **Semántica de mensajes**

¿Qué significa cada mensaje?

3 componentes:

- **Tipo de mensaje:** de intencionalidad
- **Contenido del mensaje:** contiene la información
- **Ontología** (a la que se refiere el mensaje)

- **Sintaxis de mensajes**

¿Cómo se expresa cada mensaje?

2 componentes:

- Estructura del mensaje: **Idioma de comunicación del agente**
- Codificación de contenidos: **Lenguaje de contenidos**

- **Protocolo de interacción**

¿Cómo se estructuran las conversaciones/diálogos?

- **Protocolos de agentes**

- **Protocolo de transporte**

- ¿Cómo envían y reciben los mensajes los agentes?

4. Message Semantics

4.1 Speech Acts

La mayoría de los intentos de modelar la comunicación entre agentes se inspiran en la teoría de los actos de habla (**speech act theory**).

Las teorías de los actos de habla son **teorías pragmáticas del lenguaje**, es decir, teorías del uso del lenguaje

- intentan dar cuenta de cómo las personas usan el lenguaje todos los días para lograr sus metas e intenciones

El origen de las Teorías de los Actos de Habla está en el libro **How to Do Things with Words** (1962) de Austin.

Idea: Hay algunas expresiones que son más bien como **acciones físicas** que parecen **cambiar el estado del mundo**.

Por lo general, todo lo que decimos lo hacemos con la intención de satisfacer algún fin o intención

Una teoría que explica **cómo se utilizan las declaraciones para alcanzar un objetivo** es una teoría de los actos de habla

“Este es el sitio de Google”

Esta es una **declaración** (VERDADERO o FALSO)

- Le sugiero que use el sitio de Google.
- Te ordeno que uses el sitio de Google.
- Solicito que utilice el sitio de Google.
- Le pido que me diga si está utilizando el sitio de Google.
- Te informo que estoy utilizando el sitio de Google.

Estas no son afirmaciones VERDADERAS/FALSAS, sino que **sugieren acciones**

3 aspectos en un acto de habla (Speech Act):

- **Acto locucionario o locución:** lo que se dice o se escribe (la oración, los sonidos)
Usar el sitio de Expedia
- **Acto ilocucionario o ilocución:** lo que no se dice ni se escribe explícitamente, pero se quiere decir.
¿sugerir? ¿solicitud? ¿comprometerse?
Nota: la fuerza ilocucionaria se aplica a un contenido
- **Acto perlocucionario o perlocución:** el efecto que provoca en aquellos que escuchan una expresión significativa
p.ej. Personas que solicitan vuelos y hoteles a través del sitio de Expedia
La fuerza perlocucionaria siempre está relacionada con las intenciones
p.ej. Para ganar dinero con los pedidos de la gente.

Actos de habla ilocucionarios (Searle, 1975):

- asertivo = actos de habla que comprometen al hablante con la verdad de la proposición expresada
- directivas = actos de habla que deben hacer que el oyente realice una acción particular, p. solicitudes, órdenes y consejos.
- comisivas = actos de habla que comprometen a un hablante a alguna acción futura, p. promesas y juramentos.
- expresivo = actos de habla que expresan las actitudes y emociones del hablante hacia la proposición, p. felicidades, disculpas y gracias
- declaraciones = actos de habla que modifican la realidad de acuerdo con la proposición de la declaración, p. pronunciar a alguien culpable o pronunciar a alguien marido y mujer

Como un resumen:

- Un agente realiza un acto ilocucionario (un acto que conlleva una intención)
- Para lograr un efecto perlocutivo (para realizar alguna acción o un cambio en el estado del mundo)
- Pero los efectos perlocucionarios están fuera de control de este agente (el efecto real puede ser diferente al previsto)

Un acto de habla está compuesto por el **verbo performativo** y el **contenido proposicional**.

Ejemplos:

- performativo = petición
contenido = "la puerta está cerrada"
acto de habla = "por favor cierra la puerta"
- performativo = informar
contenido = "la puerta está cerrada"
acto de habla = "¡la puerta está cerrada!"
- performativo = indagar
contenido = "la puerta está cerrada"
acto de habla = "¿está cerrada la puerta?"

Se ha definido la semántica formal para todos los performativos.

La única tarea que queda es definir cuándo una interacción es exitosa (ya que esto depende del dominio).

Ejemplo: dado un conjunto de ilocuciones,

- (solicitud agente1 agente2)
- (informar agente1 agente2)
- (preguntar agente1 agente2)

Especificar las condiciones de éxito para cada ilocución:

¿Cuáles son las condiciones necesarias y suficientes que deben darse para que el agente1 pueda considerar exitosa su solicitud al agente2?

¿Cómo se define la semántica de los actos de habla? ¿Cuándo se puede decir que alguien ha emitido, por ejemplo, una solicitud o un informe?

Cohen y Perrault (1979) definieron la semántica de los actos de habla utilizando el formalismo de lista de precondition-eliminar-agregar de la investigación de planificación

Tenga en cuenta que un hablante no puede (generalmente) obligar a un oyente a aceptar algún estado mental deseado

En otras palabras, hay una separación entre el acto ilocucionario y el acto perlocucionario

Here is their semantics for *request*:

request(s, h, ϕ)

pre:

- *s* believe *h* can do ϕ
(you don't ask someone to do something unless you think they can do it)
- *s* believe *h* believe *h* can do ϕ
(you don't ask someone unless *they* believe they can do it)
- *s* believe *s* want ϕ
(you don't ask someone unless you want it!)

post:

- *h* believe *s* believe *s* want ϕ
(the effect is to make them aware of your desire)

5. Message Syntax

5.1 Communication Languages

Enfoque procesal (Procedural Approach):

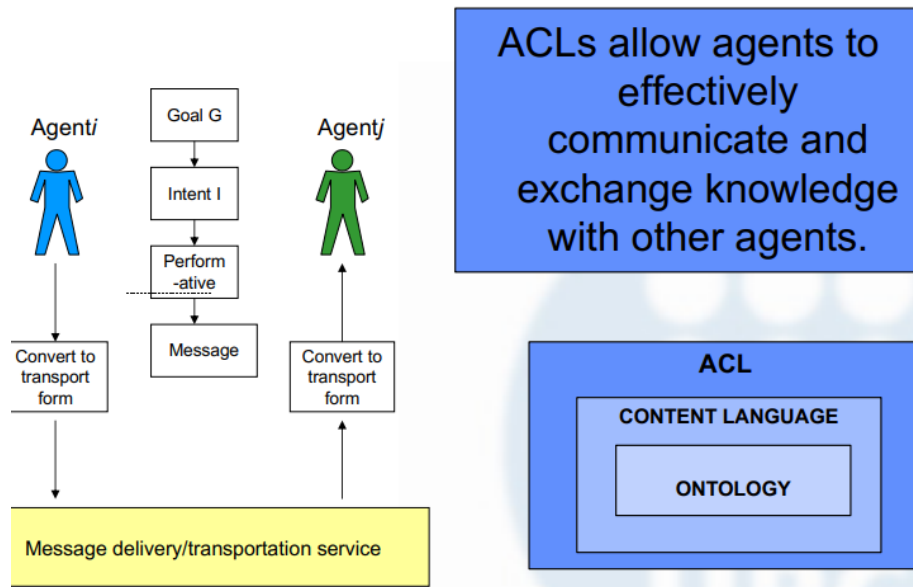
- Intercambio de información procesal
- Son lenguajes simples y eficientes

Enfoque declarativo (Declarative Approach):

- Intercambio de información declarativa
- Problema de expresividad

5.2 Agent Communication Languages (ACL)

- La comunicación entre agentes se basa en la teoría de los actos de habla (Speech Act Theory).
- Los agentes utilizan un conjunto de performativos predefinidos para comunicar sus intenciones.
- La semántica performativa permite que el agente que recibe un mensaje interprete su contenido de manera adecuada
- Hay dos conjuntos performativos predefinidos utilizados en Sistemas Multiagente:
 - KQML Lenguaje de consulta y manipulación de conocimientos.
 - Idioma de comunicación del agente FIPA-ACL.



- Las ACL manejan **proposiciones, reglas y acciones** en lugar de objetos sin semántica asociada.
- Un mensaje de ACL describe un **estado deseado** en un lenguaje declarativo, en lugar de una invocación de procedimiento o método.
- Las ACL se basan principalmente en teorías BDI:
 Los agentes de BDI intentan comunicar sus estados de BDI o
 Intento de alterar el estado BDI del interlocutor.
- Las ACL se basan en la teoría de los actos del habla (**Speech Act Theory**).
- El comportamiento y la estrategia de los agentes impulsan la comunicación y generan conversaciones.

Syntax	1.How the symbols of communication are structured.
Semantics	2. What the symbols denote.
Pragmatics	3. How the symbols are interpreted.

(**Meaning** is a combination of *semantics* and *pragmatics*.)

Semantics -> meaning of the information

Syntax -> format of information being transferred

Communication -> method of interconnection

Requirements for an ACL:

- **Traducción sintáctica** entre idiomas
- **Preservación del contenido semántico** entre aplicaciones:
El concepto debe tener un significado uniforme en todas las aplicaciones.
- **Capacidad para comunicar actitudes complejas sobre su información y conocimiento:**
Los agentes necesitan cuestionar, solicitar, etc.
No se trata de transportar bits y bytes.

Origins of ACLs

Knowledge Sharing Effort (**KSE**), financiado por ARPA

- Concepto central: el intercambio de conocimientos requiere comunicación, que a su vez requiere un lenguaje común. KSE se centró en definir ese lenguaje común.

KQML: Knowledge Query and Manipulation Language

- Idioma tanto para el formato de mensajes como para los protocolos de manejo de mensajes.

KIF: Knowledge Interchange Format

- Lenguaje para expresar el contenido del mensaje.

Message Syntax: KQML

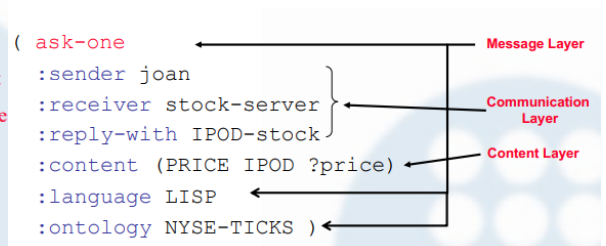
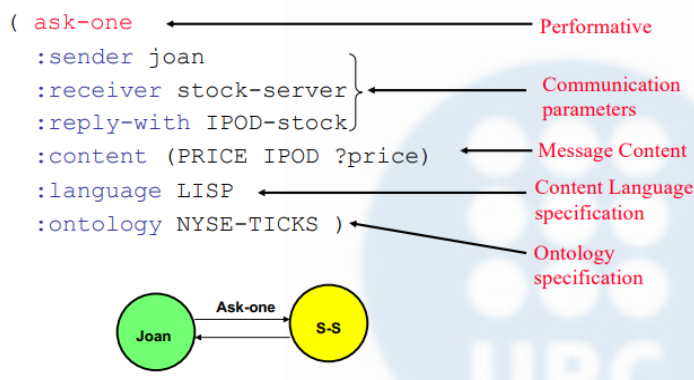
The first widely-spread ACL was KQML, developed by the ARPA knowledge sharing initiative.

KQML is comprised of two parts:

- the knowledge query and manipulation language (KQML)
- the content language (usually KIF).

KQML is an 'outer' language, that defines a quite large set of acceptable 'communicative verbs', or *performatives* for :

- Basic requests (evaluate, ask-one, perform ...)
- Multiagent requests (stream-in, ...)
- Responses (reply, sorry, ...)
- Information (tell, achieve, cancel, ...)
- Coordination (stand-by, ready, next, ...)
- Definition of capabilities (advertise, subscribe, ...)
- Networking (register, forward, broadcast, ...)



KIF

Motivación: creación de un lenguaje común para expresar propiedades de un dominio.

- Destinado a expresar el contenido de un mensaje; no el mensaje en sí.
- Basado en lógica de primer orden (FOL).

Usando KIF, es posible expresar:

- **Propiedades** de las cosas en un dominio:
p.ej. Michael es vegetariano – Michael tiene la propiedad de ser vegetariano
- **Relaciones** entre cosas en un dominio:
p.ej. Michael y Janine están casados: la relación de matrimonio existe entre Michael y Janine.
- **Propiedades generales** de un dominio:
p.ej. Todo el mundo tiene una madre.
- **Relación entre 2 objetos**:
La temperatura de m1 es 83 Celsius:
(= (temperatura m1) (escalar 83 Celsius))
- **Definición de nuevo concepto**:
Un objeto es soltero si este objeto es un hombre y no está casado:
(defrelation soltero (?x) :=
 (y (hombre ?x)
 (no (casado?x))))
- **Relación entre individuos en el dominio**:
Una persona con la propiedad de ser persona también tiene la propiedad de ser un mamífero:
(defrelation (persona ?x) :=> (mamífero ?X))

5.3 Message layers

Capa de contenido (Content Layer): información de formato

Comunica el contenido expresado en un lenguaje según una ontología. Los lenguajes típicos incluyen KIF, LISP, Prolog, FIPA-SL

Capa de mensaje (Message Layer): escenario de comunicación

Le dice al destinatario del mensaje qué hacer con el mensaje, qué acciones están implícitas

Transporte: información adicional

Contiene información sobre el transporte de datos. Incluye el **remitente (sender)** y el **receptor (receiver)** del mensaje, y referencias a otros mensajes en el diálogo (responder con y en respuesta (**reply-with and in-reply-to**)).

5.4 FIPA-ACL

More recently, the Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA) started work on a program of agent standards — the centrepiece is an ACL

Basic structure is quite similar to KQML:

- *Type of communicative act: performative*
22 performatives in FIPA (reduction from KQML)
- *communication actors*
e.g., sender, receiver.
- *content*
the actual content of the message
- *Content description*
e.g., language, encoding, ontology
- *Conversation control*
e.g., protocol, conversation-id, reply-with, in-reply-to, reply-by

Example:

```
(inform
  :sender    agent1
  :receiver  agent5
  :content   (price good200 150)
  :language  sl
  :ontology  hpl-auction
)
```

performatives

performative	passing info	requesting info	negotiation	performing actions	error handling
accept-proposal			x		
agree				x	
cancel		x		x	
cfp			x		
confirm	x				
disconfirm	x				
failure					x
inform	x				
inform-if	x				
inform-ref	x				
not-understood					x
propose			x		
query-if		x			
query-ref		x			
refuse				x	
reject-proposal			x		
request				x	
request-when				x	
request-whenever				x	
subscribe		x			

Casi cualquier idioma de contenido se puede utilizar con FIPA-ACL. Los más utilizados son **KIF** (ANSI-KIF, ISO-KIF), **RDF**, **DAML**, **OWL** y **FIPA-SL**

Se pueden utilizar otros como **PROLOG**, **SQL**,...

FIPA-SL (Lenguaje Semántico):

- Permite la representación de afirmaciones en modal
- Está diseñado para agentes con arquitectura BDI (Creencias, Deseos, Intenciones)
- Define 3 tipos de contenido:

Proposiciones: expresiones que se pueden asociar con un valor de verdad

Acciones: expresiones que definen una acción que se puede realizar

Expresiones de referencia: fórmulas cuantificadas que se refieren a objetos de dominio que cumplen con esas fórmulas

5.5 FIPA-SL

Elements

- Expressions in FIPA-SL are in prefix notation (such as in KIF)
- It includes connectives from First Order Logic
 - not, and, or, implies, <=>, forall exist
- BDI Operators
 - (B <agent> <exp>) Agent believes the expression
 - (U <agent> <exp>) Agent has some uncertainty about the expression
 - (I <agent> <exp>) Agent has as an intention the one in the expression
 - (PG <agent> <exp>) Agent has as an objective the one in the expression
- Temporal Logic operators
 - (feasible <action> <exp>): Action can be performed when expression holds
 - (done <action> <exp>): Action was performed before the expression held.
- Relational and list operators
 - (=, >, <, member, contains)
- Reference expressions (evaluated through a Knowledge Base)
 - (iota <terms> <exp>): refers to the unique object which, instantiating the terms, makes the expressions true
 - (any <terms> <exp>): refers to a/some objects which, instantiating the terms, make the expressions true
 - (all <terms> <exp>): refers to all objects which, instantiating the terms, make the expressions true

Elements

Functional Terms (predicates): expressions which refer to an object through its functional relation with other objects (e.g., $3 = (+ 2 1)$). There are two alternative expressions:

- (`<predicate> <value1> ... <valuen>`),
e.g. (person "Juan" 23)
- (`<predicate> <prop1> <value1> ... <propn> <valuen>`)
e.g., (person :name "Juan" :age 23)

FIPASL has some pre-defined functional terms (arithmetic operators, set operators, list operators...)

Predicates over actions and results

- (`action <agent> <exp>`): we request the agent to perform the action expressed in the expression
- (`result <action> <exp>`): informs about the result of a given action

FIPA-SL define 3 subconjuntos del lenguaje con diferente expresividad, por razones computacionales:

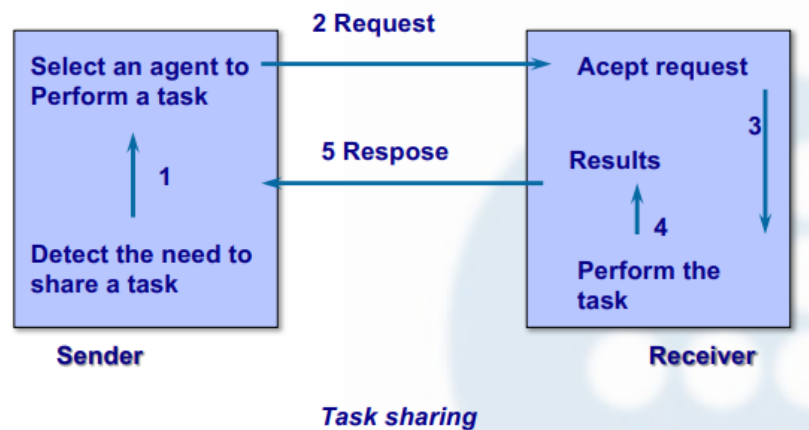
- **FIPA-SL0:** Permite predicados acción, resultado, hecho, proposiciones simples, conjuntos y secuencias.
- **FIPA-SL1:** agrega conectores booleanos en expresiones.
- **FIPA-SL2:** agrega expresiones referenciales y los operadores modales/temporales, pero con algunas restricciones para garantizar que las demostraciones sean decidibles.

6. Interaction Protocol

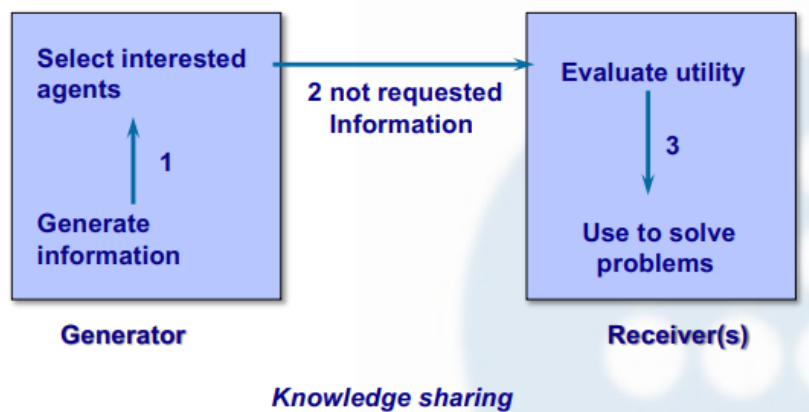
Tipos de diálogos entre agentes:

- **Mínimo:**
Un agente envía y recibe información (pasivo)
Además de enviar y recibir información, es capaz de solicitar información
De forma activa
De manera deliberativa
- **Generales:**
Gestión/asignación de recursos, intercambio de información, generación de planes, cooperación y negociación

Task sharing:



Knowledge sharing:



When to communicate?

- If** exists a new task **t** to be done **and**
an instance of **t** is still running **and**
the conditions for execution are the same
then do not start a new task.
- If** an $Agent_i$ has a task **t** to be done **and**
it cannot do it locally
then search for help from another $Agent_j$
- If** an $Agent_k$ has generated a piece of information **and**
it believes **k** might be useful for $Agent_n$
then send **k** to $Agent_n$

What are (agent) communication protocols?

Los performativos no pueden funcionar solos, sino que aparecen como parte de una **especificación de protocolo**.

Un **protocolo** es una conversación entre agentes que sigue unas reglas que definen **qué performativos usar y cuándo** para lograr un objetivo determinado.

Cada protocolo define la secuencia de mensajes en un diálogo dado como un diagrama de estado finito.

- Ventaja: los agentes pueden mantener fácilmente el estado actual de un diálogo y saber qué declaraciones siguen para cumplir con el protocolo.
- Cada protocolo está diseñado para un tipo específico de diálogo -> Se debe elegir cuidadosamente qué protocolo usar para cada situación.

Protocols defined by FIPA

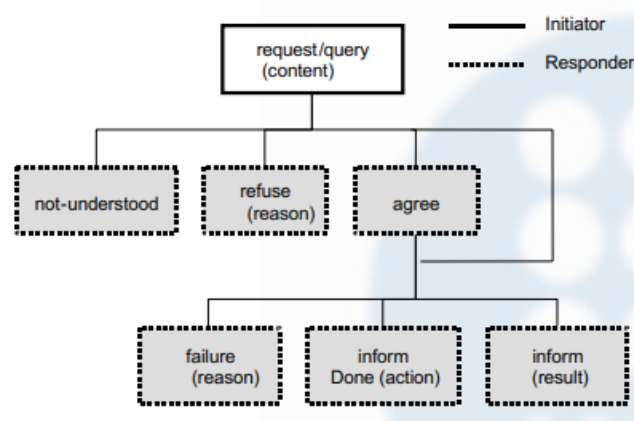
Tienen dos lados: **iniciador** y **respondedor**.

Protocolos FIPA: Solicitud (Request), Consulta (Query), Red de contratos (Contract Net), Red de contratos iterados (Iterated Contract Net), Intermediación (Brokering), Reclutamiento (Recruiting), Suscripción (Subscribe), Propuesta (Propose)

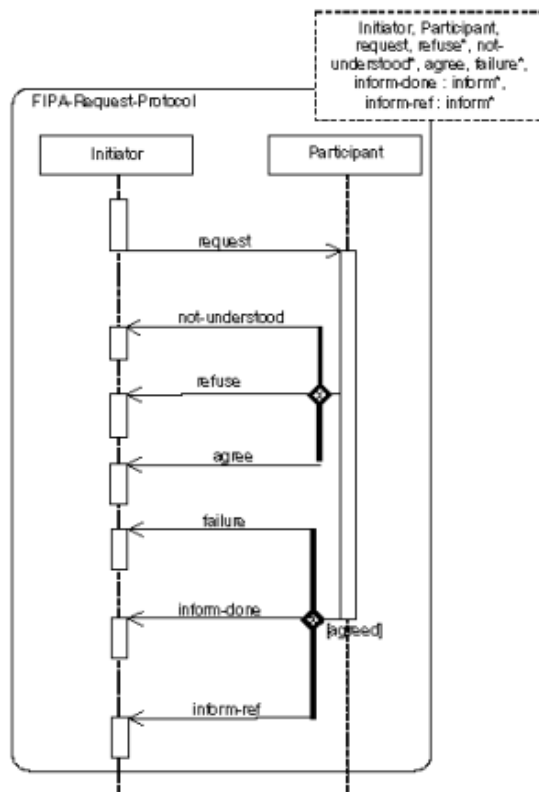
Los más utilizados son:

- Solicitud (Request): diálogo para solicitar a un agente que realice una acción. El agente de respuesta devuelve el resultado, si es posible.
- Request-When: diálogo para pedirle a un agente que realice una acción siempre que se cumplan algunas condiciones.
- Consulta (Query): diálogo para preguntar a un agente si una determinada expresión es verdadera. El agente de respuesta responde, si es posible.
- Proponer (Propose): diálogo para proponer a otro agente que realice una determinada acción en determinadas condiciones. El agente respondedor acepta o rechaza la propuesta.
- Contract Net: diálogo para solicitar a un grupo de agentes que envíen propuestas de acción para resolver una tarea determinada. El agente iniciador selecciona las mejores propuestas.

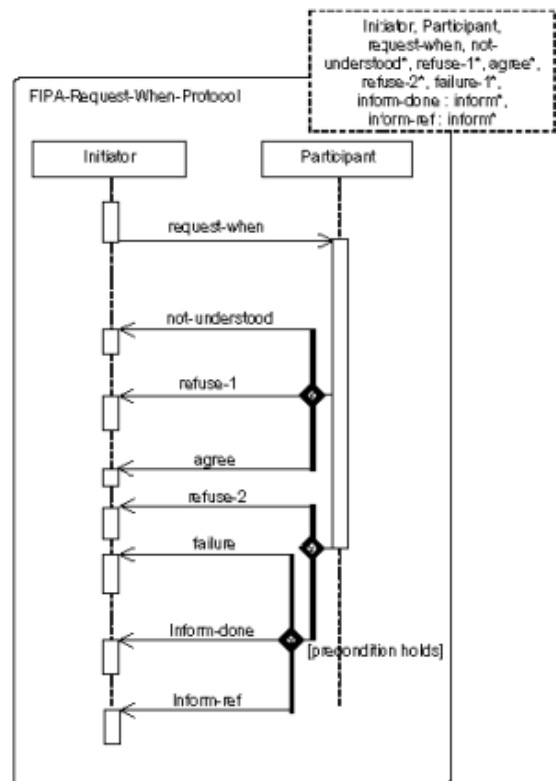
FIPA specification for FIPA-Query and FIPA-Request



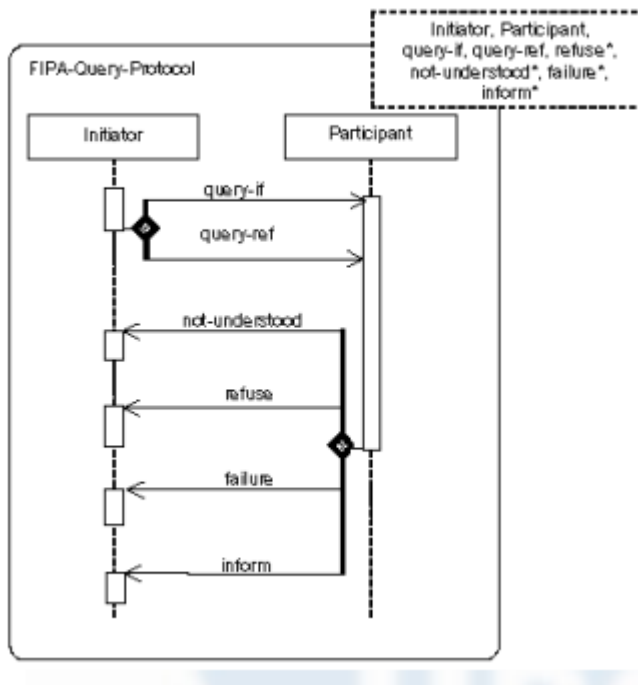
FIPA-Request



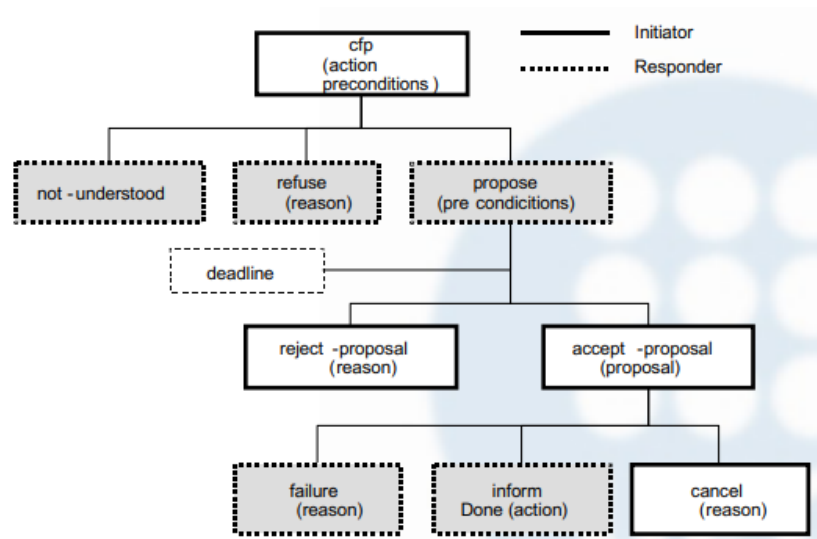
FIPA-Request-When



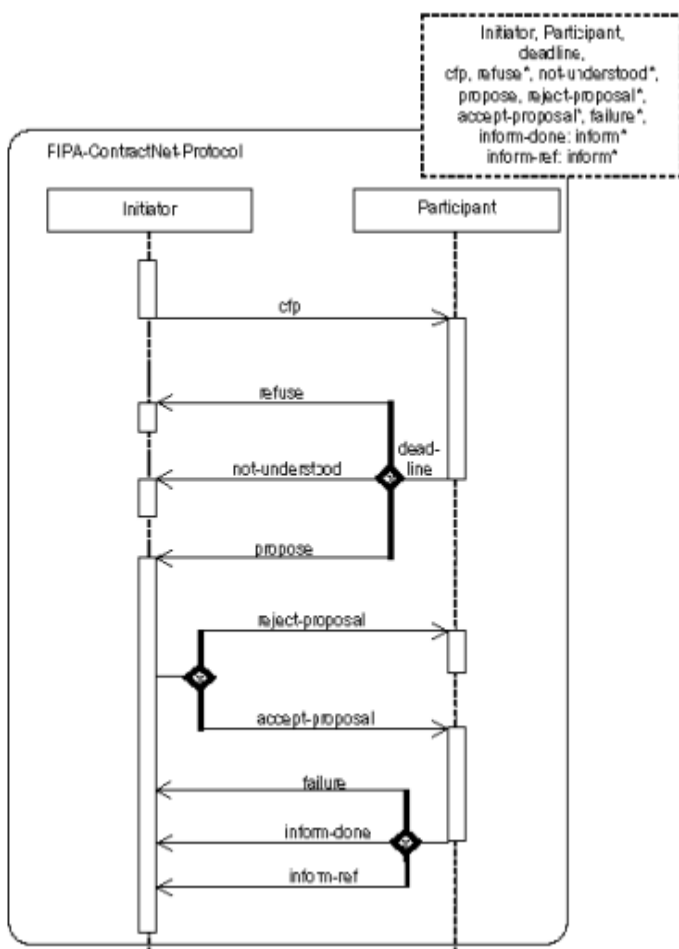
FIPA-Query



FIPA specification for Contract Net



FIPA-Contract-Net



FIPA-Propose

