

Formalización del Mecanismo de Subasta para la Coordinación de Sistemas Multi-Agentes

J. C. Terán¹, J. Aguilar², M. Cerrada³

^{1,2,3}Universidad de Los Andes-CEMISID, Mérida, Venezuela

RESUMEN

El buen desempeño de diversos sistemas computacionales modelados en base a agentes, depende de un alto grado de la buena coherencia y coordinación entre sus actividades. Es por esto, que el estudio de la coordinación es un tópico fundamental entre diseñadores e investigadores en el área de sistemas multi-agentes. Existen diversos mecanismos de coordinación en la literatura actual, entre ellos está la subasta el cual permite asignar recursos a los agentes para el logro de sus objetivos. El presente trabajo tiene como finalidad presentar un modelo formal de la subasta como mecanismo de coordinación entre agentes en base a los protocolos considerados por la FIPA (Fundación para Agentes Físicos Inteligentes, por sus siglas en inglés). Esta formalización consiste en la definición matemática de los diferentes aspectos que caracterizan el mecanismo de subasta. La formalización nos permite definir una estructura genérica de un mecanismo de coordinación tipo subasta que puede ser instanciado por diferentes grupos de agentes para su coordinación según sus necesidades.

Palabras claves: Agentes, mecanismos de coordinación, subasta

ABSTRACT

The good performance of a set of computer systems based on agents depends on the coherence degree and coordination between their activities. This is why the study of coordination is a fundamental topic for designers and researchers in the area of multi-agent systems. There are several mechanisms of coordination in the current literature; among them the auction allows agents to allocate resources to achieve its objectives. This present paper aims to present a formal model of the auction as a coordination mechanism among agents based on the FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) Protocols. This formalization consists on the mathematical definition of the different aspects characterizing the auction mechanism, and it allows to define a generic structure of the auction mechanism that can be instantiated by different groups of agents to coordinate their needs

Keywords: Agents, coordination mechanisms, auction.

1. Introducción

La coordinación es un tema central en los sistemas de software de agentes, y en general en la inteligencia artificial distribuida [NLJ96]. Dentro de la coordinación podemos tratar dos temas muy importantes, la cooperación y la negociación. La cooperación es una clase de coordinación que consiste en que varios agentes no antagonistas (las acciones de uno no perjudican al otro) interactúan entre sí con el objeto de conseguir un fin común. La negociación consiste en poner de acuerdo a los agentes de un sistema, cuando cada uno defiende sus propios intereses, llevándolos a una situación que los beneficie a todos [Fer95].

Particularmente en los escenarios de negociación el logro de acuerdos entre agentes con intereses propios es fundamental. En estos escenarios no existe un objetivo común entre los individuos, y es por esto, que deben usarse mecanismos de negociación para alcanzar sus objetivos. Dentro de estos mecanismos, uno de los más conocidos es la subasta. Algunos recientes trabajos en el uso de mecanismos de subastas en Sistemas Multi-agente

son los siguientes: en [KKT10] presentan una propuesta de un marco para el diseño y análisis de mecanismos de coordinación basado en subastas para la cooperación entre agentes. En [ZK10] estudian la asignación distribuida de tareas en robots en tiempo real, basado en un algoritmo de subasta, denominado subasta secuencial incremental de valores (SIV), cuya idea es asignar la mayor cantidad de tareas a cada robot, siempre y cuando sus costos individuales sean menores a una cota máxima. En [KZT*08] estudian cómo mejorar el rendimiento de un grupo de agentes que usan mecanismos de subastas en tiempo real, basado en la idea de asignar una tarea a los agentes cuya penalización por no hacerlo sea grande. Por otro lado, en [VRV*10] desarrollan un mecanismo basado en estrategias de mercado y comercio para redes inteligentes, específicamente usando subasta doble continua. En [KVM10], proponen un sistema de coordinación multiagente para la gestión descentralizada de energía eléctrica. El SMA se basa en un modelo electrónico de mercado donde los agentes negocian usando estrategias de la teoría de la microeconomía. En [VVR*10] presentan una técnica basada en agentes para

la gestión de medios de almacenamiento; en concreto, elaboran estrategias de almacenamiento basado en un SMA con mecanismos de aprendizaje que se adaptan a las condiciones del mercado de electricidad. Por otro lado, en [PRK11] analizan los diferentes tipos de subastas (unidimensional, multidimensional, de una sola cara, de doble cara, de primer precio, de segundo precio, inglesa, holandesa, japonesa, de puja sellada, etc.) desde una perspectiva de ciencias de la computación. Ellos proporcionan ideas para la creación de las subastas electrónicas.

En general, algunos de los trabajos anteriores formalizan matemáticamente problemas de enrutamiento de robots y de asignación de tareas usando mecanismos de subasta, mientras que otros trabajos evalúan su uso en contextos específicos (tiempo real, subasta electrónica, etc.). Ahora bien, ninguno de ellos plantea modelar todo el proceso de la subasta (protocolos, variables, actores, restricciones, etc.) per se, con la finalidad de formalizarlo matemática e integralmente, lo cual es la idea principal de este artículo. Nuestro modelado del mecanismo de subasta permite caracterizar las diversas formas de subasta existentes a saber: la Inglesa, la Holandesa, de Una Ronda (One Shut), etc.

Así, el objetivo de este artículo es presentar un modelo genérico formal que describa el mecanismo de subasta. Para esto, se definen las variables implícitas en un proceso de subasta como precio inicial, propuestas, precio final, etc. Además, se consideran todos los procesos y las diferentes restricciones que caracterizan una variedad de escenarios del mecanismo de subasta. De esta manera, se busca presentar un modelo global que caracterice los diferentes protocolos de subasta considerados por la FIPA (Inglesa, Holandesa, etc.) [Fip01]. Formalizar el mecanismo de subasta y más adelante a otros mecanismos de coordinación de agentes, nos permitirá manipularlos usando algoritmos culturales en el marco de un modelo de optimización, que determine el esquema de coordinación adecuado para un sistema multi-agente dado. El artículo está organizado como sigue, la sección 2 trata el tema de la coordinación y por qué es vital no sólo para los sistemas basados en agentes sino también en sistemas distribuidos. En la sección 3 se aborda la teoría del mecanismo de subasta y sus protocolos. La sección 4 presenta el modelo formal propuesto para la subasta. La sección 5 presenta un caso de estudio con un ejemplo de subasta inglesa. Finalmente, se muestran las conclusiones finales.

2. Coordinación en sistemas multi-agentes

Un agente puede ser una entidad virtual o física capaz de actuar, percibir su entorno y comunicarse con otros, es autónomo y posee habilidades para alcanzar metas y tendencias [Fer99]. Una colección de agentes compone un sistema multiagente (SMA), el cual es caracterizado por las relaciones entre sus entidades (agentes), y las operaciones que pueden ser ejecutadas por ellas. Así, los SMAs, se caracterizan por la interacción de varios agentes en un mismo entorno, ya sea éste físico o virtual.

Un concepto principal de los SMAs es la coordinación entre agentes, que no se limita al envío de mensajes entre éstos, sino a la forma cómo un agente se relaciona con otros agentes. En los SMAs la coordinación puede ser vista como un proceso en el cual los agentes participan para asegurar que sus actos comunitarios se realicen de

manera coherente, entendiendo por coherencia a qué tan bueno es el comportamiento de un SMA como unidad. Existen diferentes razones por la cual múltiples agentes necesitan coordinarse [NLJ96].

- Prevención de anarquía o caos: debido a la descentralización en sistemas basados en agentes, la anarquía puede presentarse fácilmente. Ningún agente posee una visión global del entorno al cual pertenece. Consecuentemente, los agentes sólo poseen visión local, metas y conocimientos que puedan tener conflictos con otros. A través de la coordinación pueden lograr todo tipo de arreglo entre ellos, y así evitar conflictos.
- Limitaciones globales: existen restricciones o limitaciones individuales que los agentes pueden superar al agruparse, si quieren alcanzar satisfactoriamente sus objetivos. Para ello, deben coordinar su comportamiento.
- Experiencia, recursos o información distribuida: los agentes pueden tener diferentes capacidades y conocimientos especializados. Alternativamente, pueden tener diferentes fuentes de información, recursos, niveles de fiabilidad, responsabilidades, limitaciones, etc. Los agentes, necesariamente, deben estar coordinados para compartir sus capacidades y habilidades en su debido momento.
- Eficiencia: incluso cuando los individuos pueden funcionar independientemente, obviando así la necesidad de coordinación, la información descubierta por un agente puede ser tan útil para otro agente que ambos pudieran quizás solventar el problema dos veces más rápido.

3. El mecanismo de subasta

Los mecanismos de subastas (auctions) han sido utilizados en muchas aplicaciones prácticas de ciencias de la computación que involucran la asignación de bienes, tareas y recursos. Una de las razones por las cuales la subasta se ha tornado tan popular es que es un escenario de interacción extremadamente simple, y por consiguiente fácil de automatizar; esto la hace una buena primera opción a considerar como vía para que agentes alcancen acuerdos entre si [Woo02].

Un mecanismo de subastas clásico está compuesto por un grupo de agentes, donde uno de los agentes cumple el rol de subastador (martillero o rematador) y los agentes restantes son los ofertantes (licitadores o postores) [Woo02].

El escenario de subasta clásico asume que el subastador desea vender un ítem al precio más alto posible, mientras que los ofertantes desean comprarlo al precio más bajo posible. Los mecanismos de subasta han utilizado distintos protocolos de subasta que varían de acuerdo a alguna de las siguientes dimensiones [Woo02]:

i. Determinación del ganador:

- Primer precio (first price): Gana el que ofreció más.
- Segundo precio (second price): Igual que el anterior pero sólo paga la cantidad correspondiente a la segunda oferta más alta.

ii. Visibilidad de las ofertas:

- A viva voz (open cry): Cada agente puede ver la oferta que realizan los otros agentes.

- A sobre cerrado (sealed-bid): Los agentes no son capaces de determinar las ofertas realizadas por los otros agentes.
- iii. Presentación de ofertas:
- Ronda única (One-Shot): Existe una sola ronda de ofertas, después de la cual el subastador asigna el bien al ganador.
 - Ascendente: El precio comienza bajo y las ofertas se realizan en cantidades incrementales.
 - Descendente: Se comienza con un valor alto, y el precio desciende en las rondas sucesivas.
- iv. Valor del ítem subastado (valoración):
- Subastas de valor privado: el valor del bien depende solamente de las propias preferencias del agente. El ofertante ganador no revenderá el bien ni hará alarde frente a los otros (de otra manera el valor dependería de las valoraciones de los otros agentes). Ejemplo: subastar una torta que el ganador comerá.
 - Subastas de valor común: el valor que un agente da a un ítem depende completamente del valor que los otros agentes dan al mismo, los cuales son iguales a los del agente por simetría. Ejemplo: el valor de los bonos del tesoro depende completamente de sus posibilidades de reventa.
 - Subastas de valor correlacionado: El valor que asigna un agente depende parcialmente de sus propias preferencias y parcialmente de las valoraciones de los otros agentes. Ejemplo: un agente compra una pintura (o un auto) que le gusta pero mantiene abierta la posibilidad de volver a venderla en el futuro. Variando las distintas dimensiones se da lugar a distintos protocolos de subastas, algunos ejemplos son:

3.1 Subasta Inglesa:

Es el tipo de subasta más conocida [Woo02]. Es de primer precio, a viva voz, y ascendente:

- El subastador inicia la subasta con un precio de reserva inicial por el bien (el cual puede ser cero), si ningún agente está dispuesto a ofertar más del precio de reserva, entonces el recurso es asignado al subastador en ese momento.
- Las ofertas son hechas por los agentes ofertantes, quienes deben ofertar más de la oferta anterior. Todos los agentes pueden ver las ofertas que se han hecho, y son capaces de participar en el proceso de oferta hasta que ellos lo consideren.
- Cuando ningún agente está dispuesto a elevar la actual oferta (la más alta hasta el momento), la subasta se da por terminada y el agente debe pagar el último precio ofertado.

3.2 Subasta Holandesa:

Estas son ejemplo de subastas a viva voz y descendentes [Woo02]:

- El subastador inicia ofreciendo un precio inicial ligeramente por encima de su valor esperado.
- El subastador comienza a bajar el precio continuamente, hasta que algún agente oferte por el bien, el cual será el precio final a pagar por ese agente.

3.3 Subastas de primer precio y a sobre cerrado:

Son ejemplos de subasta de una sola ronda (One Shut), y son quizás las más simples de todos los tipos o protocolos de subastas. En ellas se da una sola ronda, en el cual los ofertantes envían al subastador sus ofertas, sin hacerlas de conocimiento público a los demás agentes, es decir, privada; no existen rondas subsecuentes y el bien es asignado al agente que oferte el mayor valor.

3.4 Subastas Vickrey

Este tipo de subasta es la más inusual de todas. Las subastas Vickrey son de segundo precio y a sobre cerrado. Existe una sola ronda de negociación, durante el cual cada ofertante envía su propuesta a sobre sellado (privada). El bien es asignado al agente que oferte el mayor valor, pagando el segundo valor más alto, es decir, la oferta anterior.

4. Modelo formal del mecanismo de subastas

Supongamos un grupo de agentes $A = (a_s, A_i)$, donde a_s es el agente subastador y A_i es el conjunto de agentes ofertantes definido por $A_i = \{A_1, A_2, A_3, \dots, A_n\}$.

Se define una subasta mediante la tupla:

$(C_0, Of_i^j, \vec{\varepsilon}_i, \alpha_i^j, C_p, C)$, donde:

- C_0 es el precio inicial de la subasta, $C_0 \in \mathbb{R}^+$
- Of_i^j es una matriz de ofertas $\in \mathbb{R}^{(n+1) \times m}$ conformada por el de número de agentes $i = \{1, \dots, n\}$ más un vector fila A_G adicional donde se muestra al ganador, y el número de rondas $j = \{1, \dots, m\}$.
- $\vec{\varepsilon}_i$ es un vector, donde cada elemento representa la cantidad máxima que puede ofertar cada agente i ofertante $\vec{\varepsilon}_i = \{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n\}$.
- α_i^j especifica una propuesta dada, siendo α el valor propuesto en la ronda j , e i el agente ofertante.
- C_p es la condición de parada de la subasta y puede ser de diferentes tipos:

$$C_p = \begin{cases} t \text{ (tiempo)}, & \text{si la subasta se rige por tiempo} \\ j \text{ (número de rondas)}, & \text{si se rige por rondas} \\ \alpha_i^j = 0 \forall i = 1, \dots, n & \text{cuando no hay más ofertas} \\ & \text{a partir de una ronda } j \text{ dada} \\ x_r \text{ (umbral)}, & \text{cuando se alcanza un precio mínimo} \\ & \text{umbral del subastador (para el caso de subasta} \\ & \text{Holandesa)} \end{cases}$$
- C es el precio final del recurso, este puede ser el valor máximo o mínimo del vector fila A_G , (para el caso de la subasta Holandesa es el mínimo), $C = A_G^j$, $C \in \mathbb{R}^+$ y el ganador A_G puede ser cualquier elemento del conjunto A_i , i. e., $\exists A_i : A_i = A_G$.

Por otro lado, la matriz de ofertas (Of_i^j), almacena las diferentes propuestas de los agentes participantes y la mayor oferta (oferta ganadora) hecha en una ronda dada j por un agente i (ganador). Cada celda de la matriz contiene:

$$Of_i^j = C_0^j + \alpha_i^j$$

donde, $C_0^j = C_0$ si $j = 1$ y A_G^{j-1} si $j > 1$

Es decir, en la primera ronda cada celda representa el valor del precio inicial más la propuesta hecha por el agente; mientras que en las siguientes rondas ese valor será el valor ganador Of_i^j para una ronda j dada, el cual es A_G^j , más la propuesta hecha por cada agente.

Al final de la matriz se define el vector fila A_G , el cual identifica el ganador en cada ronda.

En la matriz se presentan las siguientes condiciones:

- El valor pagado por una agente i debe ser menor o igual a la cantidad máxima que puede ofertar el agente, i. e., $\forall A_i \max Of_i^j \leq \varepsilon_i$.
- Para las filas se cumple que el valor propuesto por un agente debe ser mayor a su propuesta anterior, $\alpha_i^j < \alpha_i^{j+1} \quad \forall i = 1, \dots, n$ y $\forall j = 1, \dots, m$ (caso Inglesa, One Shut, etc.), o menor (Caso Holandesa)
- Para cualquier agente en la siguiente ronda su propuesta debe mejorar al valor de la oferta ganadora en la ronda anterior, i. e., $A_G^j < \min(Of_i^{j+1})$ para el caso de la subasta Inglesa, etc. En el caso de la subasta Holandesa ocurre lo contrario ($A_G^j > \max(Of_i^{j+1})$), es decir, el valor debe siempre ser inferior al anterior, $\forall i = 1, \dots, n$ y $\forall j = 1, \dots, m$
- En una ronda dada, cada propuesta de un agente debe mejorar a la propuesta anterior de otro agente. Para ello debemos definir otra matriz, llamada matriz de orden Or , tal que si $Or_i^j < Or_k^j \Rightarrow Of_i^j < Of_k^j$, para el caso de la subasta Inglesa, etc. En el caso de la subasta Holandesa se tiene que si $Or_i^j < Or_k^j \Rightarrow Of_i^j > Of_k^j \quad \forall i, k = 1, \dots, n$ e $i \neq k$. Esta matriz Or_i^j , es una matriz dinámica que indica el orden en que los participantes proponen sus ofertas en una ronda dada. La dimensión de esta matriz es $i = \{1, \dots, n\}$ agentes por $j = \{1, \dots, m\}$ rondas.

Las condiciones para esta matriz son:

- No pueden haber ofertas simultáneas, i. e., $\forall i, k = 1, \dots, n$ y $\forall j = 1, \dots, m \quad Or_i^j \neq Or_k^j$
- Cualquier número de posición de orden en una ronda dada j debe ser menor o igual al número de ofertantes en la subasta, i. e., $Or_i^j \leq n$

A continuación se muestra una tabla en donde se resumen las variables de cada protocolo de subasta que estudiaremos en este artículo: subasta Inglesa, subasta Holandesa y subasta de Una Ronda (One Shut) (este último protocolo, a pesar de que no posee un modelo estándar FIPA, puede ser emulado por el protocolo de red de contrato de la FIPA [FIP02]).

Tabla 1. Matriz resumen de variables de subastas

Subasta/ Variables	C_0	Of_i^j	ε_i	α_i^j	C_p	C
Subasta Inglesa	x	$x + \alpha_i^j$	$f(i)$	(+)	j, t	max
Subasta Holandesa	x	$x - \alpha_i^j$	-	(-)	t, x_r	min
Subasta De Una Ronda	x	α_i^j	$f(i)$	(+)	$j=1$	max

En la Tabla 1 podemos observar que:

C_0 en los protocolos Inglesa y Holandesa cuando éstas superan una ronda, pasa a ser el valor ganador de A_G de cada ronda.

Of_i^j en la subasta Inglesa muestra un incremento continuo, mientras que para la subasta Holandesa muestran un decremento continuo. Para la subasta de una ronda es una sola propuesta por cada agente.

ε_i es sólo utilizada en los casos de la subasta Inglesa y de Una Ronda. Para la subasta Holandesa, este valor máximo no presenta riesgo de ser superado siempre y cuando sea menor al valor inicial, ya que éste se va reduciendo hasta un valor umbral mínimo (x_r).

α_i^j para la subasta Inglesa y de Una Ronda es ascendente, y para la subasta Holandesa es descendente.

C_p en la subasta Inglesa, aparte del número de rondas j y tiempo t , puede ser cuando no existan más ofertas ($\alpha_i^j = 0$). Para la subasta Holandesa puede darse en función del tiempo t , cuando no existan más ofertas o/y cuando se llegue al valor umbral mínimo x_r . Para el caso de la subasta de Una Ronda es sencillamente en base a una sola ronda.

C (el precio final a pagar) para la subasta Inglesa y la de Una Ronda es un valor máximo. Para la subasta Holandesa es el valor más pequeño (mínimo) de las ofertas.

5. Caso de estudio: Sistema Manejador de Fallas basado en un Sistema Multi-Agentes

El Sistema para el Manejo de Fallas (SMF) está compuesto por dos módulos, el primero realiza tareas de monitoreo y análisis de la Falla, y el segundo realiza tareas de apoyo para la gestión del mantenimiento del sistema [CAC*07]. El SMF interactúa con la Gerencia de Ingeniería para todo lo que tiene que ver con los índices de productividad del proceso, manejo de recursos, etc., y con el Proceso Controlado Tolerante a Fallas. El Módulo de Monitoreo y Análisis de la Falla, comprende las siguientes tareas [CAC*07]: Detección y Diagnóstico de las fallas, El módulo de Apoyo a las Tareas de mantenimiento, comprende las tareas de: Predicción de la ocurrencia de una falla funcional, Planificación de las tareas de mantenimiento preventivo y Ejecución de Mantenimiento.

Modelo Basado en Sistemas Multi-Agentes: el SMF es un subsistema del nivel de supervisión de un sistema automatizado. Así, el SMF puede verse como un sistema compuesto por agentes inteligentes, capaces de cooperar para la solución de problemas relacionados con el manejo de las fallas en el sistema. Por otro lado, algunas actividades realizadas por el SMF deben ajustarse a un modelo computacional distribuido, como por ejemplo, las realizadas para la detección de la falla en equipos o en procesos, la estimación de índices de funcionamiento, entre otras. Para la especificación del Sistema Multi-agente se usó la metodología MASINA, la cual prevé varios modelos, para nuestro trabajo sólo mostraremos los que son de nuestro interés: modelo de agentes, modelo de tareas y modelo de coordinación; para una presentación más detallada de los mismos ver [CAC*07].

Modelo de Agentes: la identificación de los agentes se hace en base a los actores definidos en la fase de

conceptualización. Tenemos que el SMF provee las siguientes funcionalidades: monitorear, detectar, localizar, analizar, predecir la ocurrencia de una falla, y corregirla en el sistema de control. Estas funciones representan los roles de los actores definidos en la fase de conceptualización quienes permanecen como agentes en el sistema, aunque algunos de ellos fueron divididos en varios agentes.

Este modelo de agentes (Figura1), está basado en el modelo SCDIA, el cual es un modelo de referencia de Sistemas Multi-agente que ha sido diseñado para sistemas de control, El SCDIA ha sido adaptado al problema de manejo de fallas, visualizando dicho problema como un problema genérico de control en lazo cerrado. Así pues, se definieron ocho agentes denominados [CAC*07]: Agente Especializado Detector, localizador, diagnosticador, predictor, Agente Coordinador, Agente Controlador, Agente Actuador, Agente Observador. Los Agentes Especializados y el Agente Coordinador se encuentran en el nivel Supervisor, y en el nivel de Proceso se encuentran los Agentes Controlador, Observador y Actuador. La especificación detallada de estos agentes se encuentra en [CAC*07].

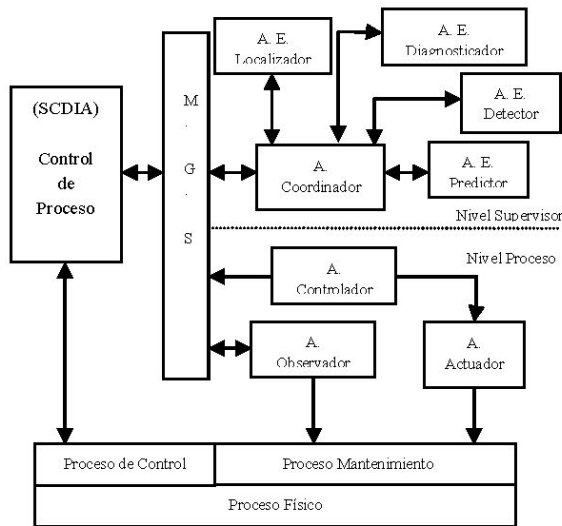


Figura 1. Modelo de Agentes

Además, el SMF interactúa con el SCDIA de control de proceso a través del Medio de Gestión de Servicios (MGS), compuesto a su vez por una serie de agentes: Agente Base de Datos, Agente Administrador de Agentes, entre otros.

Modelo de tareas: las tareas identificadas del SMF son las siguientes:

Tabla 2. Modelo de Tareas

Tareas de Observación	(i) Identificar fallas funcionales abruptas, (ii) Calcular índices de funcionamiento, (iii) Determinar el estado del mantenimiento.
Tareas de Detección	(i) Llevar estadísticas sobre la ocurrencia de fallas, (ii) Seleccionar técnica de detección, (iii) Incorporar nuevos métodos de detección
Tareas de Localización	(i) Ubicar falla

Tareas de Diagnóstico	(i) Llevar estadística de los modos de falla, (ii) Llevar estadística sobre las causas de las fallas, (iii) Realizar análisis sobre las consecuencias de las fallas en el sistema, (iv) Reajustar modelos de diagnóstico, (v) Incorporar nuevos modelos de diagnósticos, (vi) Incorporar nuevos modos de fallas, (vii) Incorporar nuevas causas de fallas, (viii) Identificar modos de fallas y sus causas.
Tareas de Predicción	(i) Calcular curvas de confiabilidad en equipos, (ii) Generar índices de confiabilidad del proceso, (iii) Incorporar nuevos modelos de predicción
Tareas de Control	(i) Proponer plan de mantenimiento, (ii) Procesar plan de mantenimiento
Tareas de Coordinación	(i) Proponer macro plan de mantenimiento, (ii) Evaluar recursos, (iii) Ordenar realización de tarea de detección, localización, diagnóstico y predicción (DLDP), (iv) Ordenar mantenimiento correctivo, (v) Replanificar el mantenimiento preventivo
Tareas de Actuador	(i) Ejecuta las tareas de mantenimiento, (ii) Ejecuta planes de contingencia

Modelo de coordinación: a través de este modelo se describen las conversaciones y se presentan sus objetivos y participantes [CAC*07].

Tabla 3. Modelo de Coordinación

<p>Conversación: Mantenimiento por Condición</p> <p>Objetivo: Realizar mantenimiento por condición en el sistema.</p> <p>Agentes: Coordinador, Controlador, Base de Datos, Detector, Localizador, Predictor, Diagnosticador y Humano.</p> <p>Descripción: Mediante esta conversación, el agente controlador envía la información al agente coordinador, para que éste construya el plan de mantenimiento, basado en tareas DLDP.</p>
<p>Conversación: Tareas de Mantenimiento</p> <p>Objetivo: Realizar tareas de mantenimiento en el sistema.</p> <p>Agentes: Controlador, Base de Datos, Actuador y Observador.</p> <p>Descripción: Mediante esta conversación, el agente controlador envía la información al agente actuador, para que éste realice las tareas de mantenimiento en el</p>

<p>sistema, y a partir de la realización o no del mantenimiento, el agente observador reporta las tareas que no pudieron ser realizadas.</p>
<p>Conversación: Tareas Urgentes</p> <p>Objetivo: Realizar tareas urgentes en el sistema.</p> <p>Agentes: Coordinador, Controlador, Base de Datos, Actuador, Observador y Humano.</p> <p>Descripción: Mediante esta conversación, el agente coordinador envía la información al agente controlador, para que éste ordene el mantenimiento, y si no se pudo realizar esta tarea urgente, se da una alarma.</p>
<p>Conversación: Replanificación de Tareas</p> <p>Objetivo: Replanificar tareas que no se efectuaron en el sistema.</p> <p>Agentes: Coordinador, Base de Datos y Humano.</p> <p>Descripción: Mediante esta conversación, el agente coordinador busca la información proveniente del agente base de datos para replanificar las tareas de mantenimiento pendientes en el sistema, y realizar un nuevo plan de mantenimiento. Si la tarea es urgente y no se puede replanificar se da una alarma.</p>
<p>Conversación: Estado de Mantenimiento</p> <p>Objetivo: Realizar tareas urgentes en el sistema</p> <p>Agentes: Observador, Base de Datos y actuador.</p> <p>Descripción: Mediante esta conversación, el agente observador busca la información proveniente del agente base de datos y del agente actuador, para almacenar las tareas de mantenimiento pendientes en el sistema.</p>
<p>Conversación: Identificar Falla Funcional</p> <p>Objetivo: Realizar tareas urgentes en el sistema</p> <p>Agentes: Observador, Base de Datos, Coordinador y Controlador.</p> <p>Descripción: Mediante esta conversación, el agente observador busca la información proveniente del agente base de datos, para reportar la presencia de una falla funcional abrupta en el sistema, el agente coordinador busca este reporte y ordena urgentemente la realización de una tarea de mantenimiento en el sistema.</p>

5.1 Ejemplo de una subasta inglesa, para la conversación de Tareas Urgentes del modelo de coordinación.

Se escoge la conversación de tareas urgentes [CAC*07] para modelar el mecanismo de subasta Inglesa anteriormente expuesto, ya que en ella existen agentes y requerimientos que pueden ser asociados con los escenarios de subasta. Para esto, se detalla a continuación su diagrama de interacción (Figura 2), sus esquemas de coordinación, etc.

Conversación: Tareas Urgentes

- Agentes participantes: Coordinador (ACoo), Controlador (ACon), Base de Datos (ABD), Actuador (AA), Observador (AO) y Humano (AH).
- Iniciador: Coordinador
- Actos de habla: órdenes urgentes, orden de mantenimiento, reporte de tareas de mantenimiento, tareas pendientes, buscar tareas pendientes, y alarma.
- Precondición: tener que realizar tareas urgentes en el sistema.

- Condición de terminación: si no se pudo realizar la tarea urgente se da una alarma.

Para el resto de de esa conversación ver Tabla 3.

Esquema de Coordinación

- Objetivo a seguir: Planificar las interacciones entre los agentes Coordinador, Base de Datos, Controlador, Actuador, Observador y Humano.
- Tipo: predefinido
- Coordinación por Defecto: Centralizada, a través de mecanismos de pases de mensajes para relacionar los agentes que participan en la conversación [CAC*07].

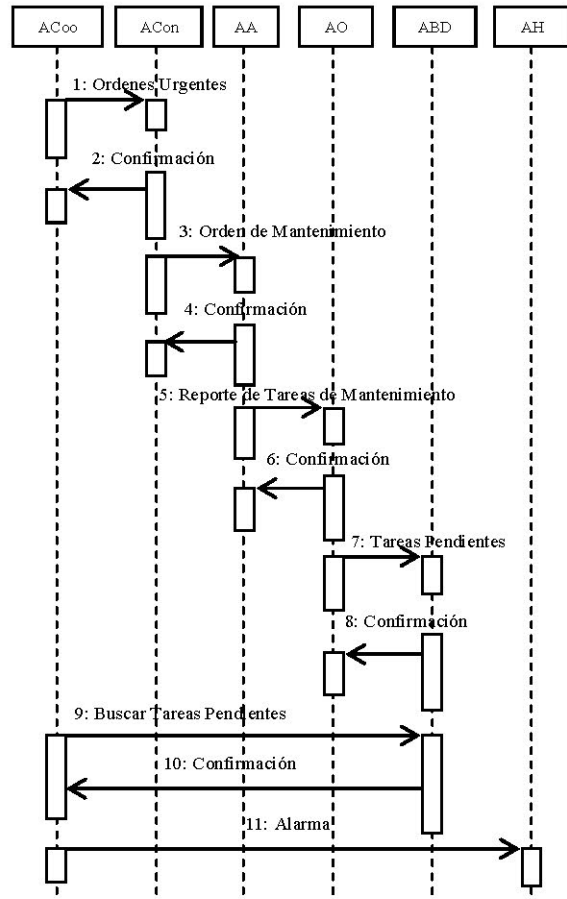


Figura 2. Diagrama de Interacción de la Conversación Tareas Urgentes

Planificación

- Tipo: Predefinido
- Técnica: Existen protocolos, consulta, requerimientos y contratación entre el agente Base de Datos y los agentes Coordinador y Observador. Los agentes Observador, Controlador con el agente actuador. Finalmente el agente Coordinador con el agente Humano.

Mecanismo de Comunicación

- Tipo: Directa
- Técnica empleada: Pase de mensajes
- Metalenguaje: KQML

Cómo se expuso en párrafos anteriores, en este SMF los agentes deben cumplir con diversas tareas de mantenimiento, para mantener en un nivel óptimo de monitoreo el sistema. En algunas circunstancias, bien sea por falta de presupuesto o falta de material, muchas de

estas tareas no se llevan a cabo, quedando pendientes en los agentes bases de datos del sistema (como se dijo antes, estos agentes forman parte del Medio de Gestión de Servicios (MGS)).

Uno de los mecanismos que sirve para gestionar la realización de estas tareas puede ser visto a través de una subasta, cuyo iniciador o subastador sería un agente coordinador del sistema, y los participantes serían los agentes bases de datos que poseen tareas de mantenimiento pendientes por realizar (ver sección 5.2). FIPA ha representado el mecanismo de subasta Inglesa de manera formal, mostrando las conversaciones involucradas en el proceso, según el siguiente diagrama de interacción:

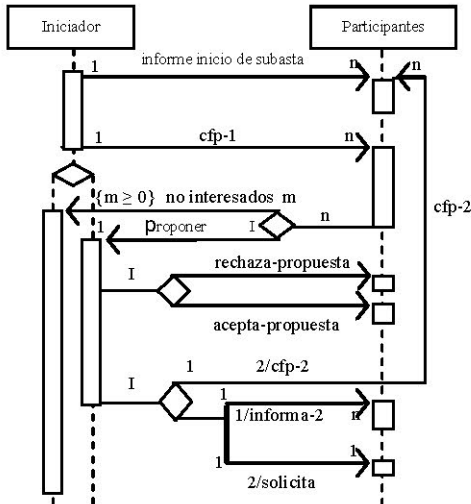


Figura 3. Protocolo de Interacción de Subasta Inglesa

5.2 Instanciación de una subasta Inglesa para la conversación de Tareas Urgentes

Se plantea el siguiente caso: existen cuatro (4) plantas agrupadas en una unidad de producción, gestionadas por un único agente Coordinador de la unidad de producción. Además, cada planta que integra esta unidad posee un agente Base de Datos que almacena las tareas de mantenimiento pendientes de cada planta. Por otro lado existe limitación de recursos para ejecutar las tareas de mantenimiento, por lo que los agentes Base de Datos deben “competir” entre ellos por un lugar de preferencia en la lista de ejecución de tareas urgentes del Coordinador, el cual tendría un buffer finito de tareas para ejecutar en un lapso de tiempo. Este proceso de competencia puede ser visto como una subasta, donde el agente Coordinador es el agente subastador, los agentes Base de Datos serían los ofertantes y el ítem ofertado es un lugar de preferencia para la ejecución de sus tareas urgentes. Las variables de nuestro modelo formal tendrán los siguientes valores:

- Agente iniciador (a_c): agente Coordinador
- Agentes participantes $A_i = \{A_1, A_2, A_3, A_4\}$, 4 agentes Bases de Datos.
- Precio inicial: $C_0 = x$, así cada celda es

$$Of_i^j = \begin{cases} x + \alpha_i^j & \text{para } j = 1 \\ \max A_G^{j-1} & \text{para } j > 1 \end{cases}$$

$$\forall i = 1, \dots, n \quad \forall j = 1, \dots, m.$$

- $\vec{\varepsilon}_i = \{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4\}$. Para este caso en particular llamaremos a ε necesidad de cada agente.
- Condición de parada, $C_p = j > 1$ y $Of_i^j = 0$, es decir, ocurre después de la primera ronda y cuando no hayan más ofertas
- Subasta ascendente
- Un ejemplo de la matriz Of sería:

Tabla 4. Ejemplo matriz de la Ofertas

Agentes/ Rondas	1 ^{ra}	2 ^{da}
A_1	Of_1^1	$\max A_3^1 + \alpha_1^2$
A_2	Of_2^1	$\max A_3^1 + \alpha_2^2$
A_3	Of_3^1	$\max A_3^1 + \alpha_3^2$
A_4	Of_4^1	-
A_G	$\max = A_3^1$	$\max = A_3^2$

- Un ejemplo de la matriz de Or sería:

Tabla 5. Ejemplo de la matriz de Orden

Agentes\Rondas	1 ^{ra}	2 ^{da}
A_1	3	2
A_2	4	1
A_3	2	3
A_4	1	-

Las tablas 4 y 5 muestran que:

- En la primera ronda el agente tres (3) ofertó de segundo (Tabla 5), y propuso el mayor valor (Tabla 4).
- El agente cuatro (4), no ofertó en la segunda ronda.
- El último elemento del vector fila A_G muestra que el agente ganador es el agente Base de Datos tres (3).
- El precio que debe pagar el agente Base de Datos 3 es $C = \max A_3^2$ y tiene la preferencia del agente Coordinador para realizar sus tareas urgentes.

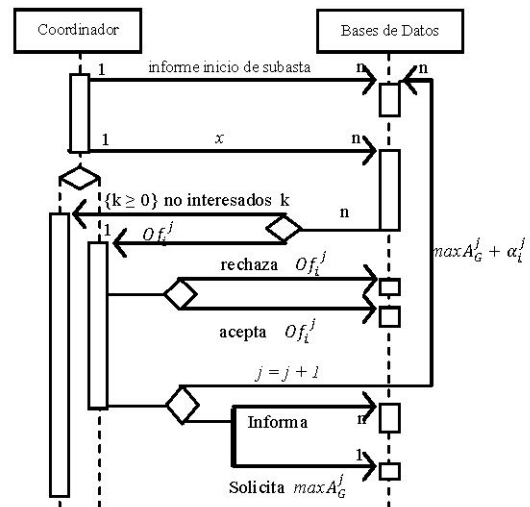


Figura 4. Diagrama de interacción para una subasta Inglesa y Tareas Urgentes

6. Conclusiones

Los mecanismos de subastas han sido utilizados en muchas aplicaciones de ciencias de la computación que involucran la asignación de bienes, tareas y recursos. Formalizar el mecanismo de subasta permite determinar diferentes variables y procesos presentes en él mediante definiciones matemáticas, posibilitando la representación de los diferentes protocolos de este mecanismo (Inglesa, Holandesa, entre otros). Esto resulta importante ya que permiten generalizar la descripción de estos protocolos, algo útil a la hora de querer optimizar el uso de éstos en un contexto dado.

El caso de estudio nos permitió validar el modelo formal propuesto. Las variables se ajustan ampliamente al caso particular estudiado, lo que nos dice que a través de ellas, se pueden representar de manera sencilla diferentes protocolos de subasta, adaptándose a su vez a escenarios con requerimientos de asignación de recursos, de tareas, etc.

Este artículo es fundamental para trabajos futuros, los cuales consisten en proponer un modelo de optimización de esquemas de coordinación para comunidades de agentes usando algoritmos culturales. Este modelo de optimización es una forma de aprendizaje multi-agentes. En específico, para que los mecanismos de coordinación puedan ser manipulados por el proceso evolutivo de los algoritmos culturales, estos deben ser formalizados de manera como ha sido propuesto en este trabajo. Así, al formalizar a los otros mecanismos de coordinación de sistemas multi-agentes (e. g., licitación, planificación, etc.) como viene de hacerse con el mecanismo de subasta, el modelo de optimización podrá determinar los esquemas de coordinación adecuados en las conversaciones de una comunidad de agentes dada.

7. Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado financieramente por los proyectos I-1237-10-02-AA del CDCHT de la Universidad de los Andes y 2994: “Desarrollo de herramientas computacionales basadas en técnicas inteligentes para la gestión de bases de datos sobre las actividades nacionales en salud y petróleo, para realizar tareas de minería de datos” del Programa de Estimulo a la Investigación.

Referencias

- [CAC*07] CERRADA M., AGUILAR J., CARDILLO J., FANEITE R., Agents-based design for fault management systems in industrial processes, *Journal Computers in Industry*, 2007, Vol. 58, N. 4, pp. 313-328
- [Fer95] FERBER J., “LES SYSTÈMES MULTI-AGENTS. Vers une intelligence collective.” InterEditions, 1995.
- [Fer99] FERBER J., “Multi-Agent System: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence”. Harlow: Addison Wesley Longman. 1999.
- [Fip01] FIPA English Auction Interaction Protocol Specification, Document number: XC00031F. Approved for Experimental: 2001/01/29
- [Fip02] FIPA Contract Net Interaction Protocol Specification, Document number: SC00029H. Approved for Standard 2002/12/03
- [KKT10] KOENIG S., KESKINOCAK P., TOVEY C. “Progress on Agent Coordination with Cooperative Auctions”. Proceedings of the Twenty-Fourth AAAI Conference on Artificial Intelligence, Atlanta, Georgia, USA, July 11-15, 2010.
- [KVM10] KOK K., VENEKAMP G., AND MACDOUGALL P. Market-based control in decentralized electrical power systems. In *2010 Aamas Workshop On Agent Technologies For Energy Systems (Atees@Aamas 2010)*, 2010.
- [KZT*08] KOENIG S., ZHENG X., TOVEY C., BORIE R., KILBY P., MARKAKIS V., and KESKINOCAK P. Agent Coordination with Regret Clearing. In *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI)*, 101-107, 2008
- [NLJ96] NWANA H., LEE L., JENNINGS N., Co-ordination in software agent systems. *BT Technol J*, Vol. 14, N. 4, October 1996.
- [PRK11] PARSONS S., RODRIGUEZ J., KLEIN M. Auctions and Bidding: A guide for computer scientists. *ACM Computing Surveys*, (January 2011), Vol. 43, No. 2..
- [VRV*10] VYTELINGUM P., RAMCHUM S., VOICE T., ROGERS A., and JENNINGS N. Trading agents for the smart electricity grid. In *The Ninth International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2010)*, pages 897–904, May 2010.
- [VVR*10] VYTELINGUM P., VOICE T., RAMCHURN S., ROGERS A., and JENNINGS N. (2010) Agent-Based Micro-Storage Management for the Smart Grid. In: *The Ninth International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2010)*
- [Woo02] WOOLDRIDGE M., “An Introduction to MultiAgent Systems”, *Department of Computer Science, University of Liverpool, UK*, JOHN WILEY & SON, LTD. Copyright 2002
- [ZK10] ZHENG X., AND KOENIG S. Sequential Incremental-Value Auctions. In *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI)*, 2010