

# Evaluación de Métricas de Calidad Aplicadas a Protocolos Multi-Agente de Negociación Electrónica

Maria Marcela Pastrana David y Demetrio Ovalle Carranza

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, Medellín. Escuela de Sistemas  
{mmpastrana ; dovalle} @unal.edu.co

Recibido para revisión May-2006, aceptado Jun-2006, versión final recibida Jun-2006

**Resumen:** En la teoría de los Sistemas Multi-Agente, enfoque proveniente de la Inteligencia Artificial Distribuida, se manejan mecanismos llamados protocolos de negociación electrónica; éstos representan los patrones o conjunto de reglas que modelan las posibles interacciones presentes en el sistema. El objetivo del trabajo presentado en este artículo consiste en la evaluación de algunas métricas de calidad elaboradas con el fin de comparar protocolos de negociación electrónica en entornos Multi-Agente. Las métricas escogidas están asociadas a los criterios de calidad: Rapidez, Eficiencia, Escalabilidad y Complejidad. Para la evaluación de las métricas se implementaron dos prototipos de negociación electrónica utilizando la plataforma JADE (*Java Agents Development Environment*) y se obtuvieron resultados preliminares de su comportamiento los cuales fueron analizados y se sacaron las conclusiones respectivas.

## 1 INTRODUCCIÓN

Los protocolos de negociación electrónica son mecanismos manejados en la teoría de los Sistemas Multi-Agente [Odell, Van Dyke y Bauer (2001)]. Éstos representan los patrones o conjunto de reglas que modelan las posibles interacciones presentes en el sistema. Lo anterior incluye: Tipos de participantes permitidos, estados de la negociación, eventos que ocasionan la transición de los estados y las acciones válidas de los participantes en los estados particulares [Beer, D'Inverno, Luck, Jennings, Preist y Schroeder (1999)].

## 2 SISTEMAS MULTI-AGENTE E INTELIGENCIA ARTIFICIAL DISTRIBUIDA

Se considera la inteligencia artificial distribuida (IAD) como un sub-campo de la inteligencia artificial que se centra en los comportamientos colectivos que son producto de la cooperación de diversas entidades denominadas agentes.

No existe un acuerdo sobre la definición del término agente, de manera informal se puede decir que un agente de software es un sistema informático situado en un entorno y capaz de realizar acciones autónomas para alcanzar sus objetivos.

Los agentes adquieren una nueva dimensión cuando se les agrupa, formando sistemas completos [Quintero, Rueda y Ucrós (1998)], los cuales reciben el nombre de

Sistemas Multi-Agente (SMA).

Para llevar a cabo los procesos de comunicación y cooperación entre los agentes que integran un SMA se tienen mecanismos llamados Protocolos de Interacción, algunos de los cuales por su semejanza con procesos de negociación similares a los realizados por las personas son denominados "Protocolos de Negociación Multi-Agente", pues su objetivo es simular entre agentes de software procesos de adquisición de productos tal y como se realizaría en un mecanismo de negociación real entre un grupo de personas. El estudio de los protocolos de negociación será el objeto principal de este artículo por lo cual se detallará más su definición en la siguiente sección.

## 3 PROTOCOLOS DE NEGOCIACIÓN ELECTRÓNICA

En la teoría de los sistemas Multi-Agentes se manejan mecanismos llamados protocolos de negociación, estos representan los patrones o conjunto de reglas que modelan las posibles interacciones presentes en el sistema y que involucren la cooperación de un agente con varios de los agentes de su entorno; Un protocolo de negociación incluye: Tipos de participantes permitidos, estados de la negociación, eventos que ocasionan la transición de los estados y las acciones válidas de los participantes en los estados particulares [Beer et al. (1999)].

Dos de los protocolos de negociación más cono-

cidos y que han sido definidos por la Fundación de Agentes Físicos Inteligentes FIPA (*Foundation for Intelligent Physical Agents*) son [FIPA (2005)]:

- **Fipa English-Auction (Subasta Inglesa):** Implementa el mecanismo de subasta inglesa. Es un método de subasta a la alza. En una subasta inglesa los oferentes (eventuales compradores) anuncian cuánto están dispuestos a pagar por un bien objeto de la negociación, enviando cada vez una oferta de precio más atractiva, hasta llegar a un precio máximo que se tiene establecido desde el comienzo y que sólo él agente conoce. Una vez finaliza el periodo de exposición de la subasta, el bien es asignado a quien ofertó el mayor valor.
- **Fipa Dutch-Auction (Subasta Holandesa):** Implementa el mecanismo de subasta holandesa. Es un método de subasta a la baja. En una subasta holandesa el subastador (el que origina la subasta), inicia con un precio de apertura alto y con un precio mínimo para el producto pero que es conocido sólo por él, seguidamente se va disminuyendo progresivamente hasta que un comprador lo acepta, en ese mismo momento se termina la negociación.

#### 4 MÉTRICAS DE CALIDAD EN PROTOCOLOS DE NEGOCIACIÓN ELECTRÓNICA

Se analizaron distintos criterios de calidad que pudieran permitir la comparación de los 2 protocolos de negociación mencionados en la sección anterior. De ellos se lograron destacar 4 criterios para la definición de la métrica de calidad objeto de este trabajo, los criterios escogidos son:

- Rapidez [Reaidya, Massottea y Diep (2003)]
- Completitud [Zhang, Wang, Mailler y Lesser (2003)]
- Escalabilidad [Zhang et al. (2003)]
- Eficiencia [Ben-Amieur, Chaib-Draa y Kropf (2002), Jaiswal, Kim y Gini (2004)]

##### 4.1 Rapidez

Se define la rapidez, con respecto a un proceso de negociación, como el tiempo que tarda cierto protocolo en alcanzar el fin de la negociación.

Para llegar a plantear una fórmula de la rapidez de un protocolo se deben tener ciertas condiciones constantes, en el caso particular de este trabajo se tomaran como constantes para la medición todo lo relativo a la plataforma y el número de agentes.

Bajo estas condiciones se define la Rapidez, denotada por la sigla  $Ra$ , de un protocolo como:

$$Ra = \#c$$

donde,  $\#c$  es el número de conversaciones realizadas durante el proceso de negociación llevado a cabo por los agentes del SMA.

Los valores arrojados deben ser normalizados para obtener resultados comprensibles y claros sobre la rapidez del protocolo, para este proceso de normalización se toman en cuenta 2 factores:

- $R_{max}$  = La rapidez ideal esperada para alcanzar la negociación. Este valor estará dado con respecto a la experimentación realizada y será el menor número de conversaciones obtenido en una corrida exitosa.
- $R_{min}$  = La rapidez más baja, es decir, se toma el mayor número de conversaciones que se presentaron en alguno de los prototipos.

De la cual se llega a la ecuación final para denotar la rapidez normalizada  $\hat{Ra}$ , que equivale a lo siguiente:

$$\hat{Ra} = 1 + \frac{Ra - R_{min}}{R_{min} - R_{max}}$$

**Rango:** La rapidez está en el rango  $[0,1]$ . Representa de manera aproximada el número de conversaciones que se llevaron a cabo en un segundo dentro del proceso de negociación.

##### 4.2 Eficiencia

En este artículo, se define la eficiencia de un protocolo de negociación Multi-Agente, como el número comprendido entre  $[0,1]$ , el cual indica el valor de la eficiencia de las utilidades obtenidas por los agentes durante el proceso de negociación, donde 0 es el menor valor de utilidad o ganancia y 1 el máximo valor. La eficiencia de un protocolo estará denotada por las siglas  $Ef$ .

Las formulas para representar la Ef son:

Para vendedores	Para compradores
$Ef_v = \frac{P_n - Pr_v}{MAX(P_{rc}) - Pr_v}$	$Ef_c = \frac{Pr_c - P_n}{Pr_c - P_i}$

Donde:

- $P_n$ : Es el precio de negociación real en el cual se logró vender el bien involucrado en la negociación.
- $Pr$ : es el precio de reserva o tope fijado por un agente para el bien objeto de la negociación. En el caso de un vendedor  $Pr_v$  será el precio tope mínimo para la venta del bien y en el caso de un comprador  $Pr_c$  será el precio tope máximo ofertable para la compra del bien objeto de la negociación.

- $P_i$ : es el precio base ofertable inicial, por parte de un comprador. Cabe señalar que dependiendo del protocolo de negociación utilizado este precio inicial varía, así para una subasta inglesa este precio es bajo mientras que en la subasta holandesa este precio es muy alto. Recordemos que en esta última el vendedor empieza con un precio de venta alto y lo va decrementando hasta que uno de los compradores está dispuesto a negociar.

**Rango:** Está en el rango [0, 1].

#### 4.3 Completitud

La completitud de un protocolo, denotada por la sigla  $C_o$ , es la capacidad de encontrar una solución a la negociación, es decir, si se llegó a una negociación entre compradores y vendedores.

Para la verificación de la completitud de un protocolo, entonces se debe verificar si se obtuvo el bien que se deseaba en la negociación o se vendió la mercancía esperada luego de finalizada la transacción.

Para la medida de este factor se debe fijar un tiempo máximo de la subasta y se debe verificar si la negociación se completó o no.

**Rango:** Toma tan sólo 2 valores: "1" si se realizó el proceso de negociación completo dentro del tiempo máximo para la subasta, o "0" si no se realizó el proceso de negociación en el tiempo fijado.

#### 4.4 Escalabilidad

Determina cómo cambian las propiedades del sistema cuando su tamaño en cuanto a número de agentes se incrementa.

La medición de este criterio se hace en cada uno de los protocolos, incrementando el número de agentes dentro del sistema. Y tomando en cuenta en cada caso, la completitud, la rapidez y la efectividad, si estos valores se degradan desproporcionadamente a medida que el tamaño del sistema aumenta, entonces, se puede decir que se tiene una escalabilidad deficiente en el protocolo.

**Rango:** El rango de la escalabilidad estará comprendido en el intervalo [0, 1]. Se manejarán 4 valores lingüísticos para identificar la escalabilidad de un protocolo (deficiente, regular, buena, excelente)

### 5 ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

Se desarrollaron dos prototipos de SMA. Uno simulando un proceso de Subasta Inglesa y otro simulando un proceso de Subasta Holandesa. La plataforma sobre la cual fueron desarrollados los prototipos es JADE ya que implementa de forma muy completa la comunicación de los

agentes permitiendo más agilidad a la hora del desarrollo de un prototipo de SMA.

#### 5.1 Identificación y descripción de Actores

Los actores identificados para este prototipo se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1: Actores del Sistema

Nombre	Descripción
Vendedor	Es un agente que tiene un producto para la venta y hace un llamado para iniciar un proceso de subasta con el fin de negociar el producto y obtener las mayores ganancias posibles de la venta.
Comprador	Es un agente que se encuentra interesado en la adquisición de un producto y el cual posee recursos para la obtención de dicho producto en un proceso de subasta, siempre y cuando se llegue a un acuerdo en la negociación que no supere su precio tope máximo para la compra del bien objeto de negociación.
Pizarra	Es el intermediario que contiene todos los agentes involucrados en el proceso de negociación y el cual permite que se pongan en contacto el vendedor y los distintos compradores que estén participando en la subasta. Además sirve de control para verificar los mensajes relacionados al protocolo particular que se está corriendo.

#### 5.2 Identificación y descripción de Casos de Uso

Existen 3 casos de uso que conforman el proceso de subasta de un producto dentro del problema que se modeló en los prototipos implementados (Ver Figura 1).



Figura 1: Casos de uso del prototipo implementado

### 5.3 Implementación del Prototipo

El prototipo implementado en este proyecto fue desarrollado con la plataforma JADE (*Java Agent Development Framework*), la cual es un middleware que proporciona tanto un entorno de desarrollo como un entorno de ejecución para la realización y mantenimiento de SMA. El entorno de desarrollo está formado por una serie de librerías en Java que permiten la implementación de agentes de manera limpia e independiente de la plataforma sobre la que se va a ejecutar. El entorno de ejecución permite a los agentes ser activados y facilitar la comunicación entre ellos. Está realizado enteramente en JAVA y proporciona una serie de herramientas que permiten al desarrollador controlar y depurar a los agentes en tiempo real. Además, JADE cumple con las especificaciones de FIPA para la interoperabilidad de plataformas de SMA, y lo cumple a dos niveles: a nivel de arquitectura y a nivel de Mensajes (FIPA ACL).

La Figura 2, presenta la interfaz del agente Sniffer, suministrado por JADE y el cual muestra en forma visual las conversaciones que se han llevado a cabo en el SMA durante el proceso de negociación electrónica.



Figura 2: Diagrama de secuencia de las conversaciones de los agentes suministrado por el agente Sniffer proporcionado por la Plataforma JADE

## 6 EVALUACIÓN DE MÉTRICAS DE CALIDAD

Con los prototipos implementados se hicieron las mediciones respectivas para las 4 métricas mencionadas en la sección 4, algunos de los resultados se muestran a continuación.

Para medir la escalabilidad se va aumentando progresivamente el número de agentes para mirar el comportamiento del sistema en cuanto a Rapidez y Eficiencia. En la Tabla 2 se muestra un ejemplo de algunos resultados arrojados durante la experimentación.

Dado los resultados obtenidos se sacan los consolidados tomando como base la corrida del SMA con menos número de agentes, en este caso 3 agentes y sobre ese se mide la máxima disminución de la rapidez, eficiencia del comprador y del vendedor, para luego tomar un valor numérico para la escalabilidad de los 2 protocolos con lo

cual hacer una interpretación lingüística de los resultados obtenidos.

Tabla 2: Resultados arrojados de la medición de los parámetros Rapidez y Eficiencia dado un incremento en los agentes del SMA

# Agentes	Tipo protocolo	Rapidez	Eficiencia comp.	Eficiencia ven.
3	Inglesa	0,995	0,320	0,754
4	Inglesa	0,991	0	1
5	Inglesa	0,905	0,066	0,945
6	Inglesa	0,901	0,011	0,990
3	Holandesa	0,803	0,218	0,949
4	Holandesa	0,787	0,053	0,950
5	Holandesa	0,835	0,090	0,985
6	Holandesa	0,803	0,613	0,8185

A partir de los resultados obtenidos se sacan los consolidados tomando como base la corrida del SMA con menos número de agentes, en este caso 3 agentes y sobre éste se mide la máxima disminución de las métricas de rapidez y eficiencia (del comprador y del vendedor), que servirán para determinar el valor numérico de la escalabilidad de los 2 protocolos estudiados. La interpretación lingüística de los resultados obtenidos se hace posteriormente utilizando la Tabla 2.

En la Tabla 3 se observan los resultados resumidos de la escalabilidad para los 2 protocolos implementados luego de hacer el análisis de los datos mostrados en la Tabla 2.

Tabla 3: Análisis de los resultados de la escalabilidad

Tipo protocolo	Evaluación subjetiva de la escalabilidad	Valor lingüístico obtenido.
Subasta Inglesa	0.8	Buena
Subasta Holandesa	0.6	Regular

En los prototipos simples con los que se hicieron las pruebas siempre se llevaron a cabo todos los procesos de negociación de forma completa, es decir, el valor arrojado para los dos prototipos fue 1.

## 7 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

- Cuatro de los criterios de calidad más representativos en la medición de protocolos de negociación Multi-Agente son: Rapidez, Eficiencia, Escalabilidad y Completitud.
- Se encuentra que para la definición de la métrica

de Eficiencia, es necesario separar la medida bajo 2 puntos de vista en un proceso de subasta, el enfoque del vendedor y el de los compradores.

- El proceso de evaluación de la Rapidez sobre los prototipos implementados arrojó evidencias que el protocolo de Subasta Inglesa y Holandesa tiene un alto grado de Rapidez, siendo la inglesa un poco más veloz que la Holandesa. Como trabajo futuro se plantea reforzar más estos prototipos e implementar algunas otras Subastas para complementar estos resultados y verificar que las conclusiones de esta prueba son veraces.
- La subasta holandesa es, en general, más beneficiosa para los vendedores que la inglesa porque registra las mayores utilidades para ellos. Lo anterior pues el protocolo inicia con un precio alto y decide rápidamente a quien le otorga el producto.
- La subasta inglesa es, en general, más beneficiosa para los compradores que para los vendedores debido a que el protocolo inicia con un precio bajo y se va subiendo lentamente de acuerdo a las ofertas de los compradores, lo que les permite "controlar" el proceso de negociación para obtener mejores utilidades.
- La escalabilidad de la subasta holandesa es valorada como "regular" porque hay más intercambio de mensajes entre los agentes compradores y el agente pizarra (DF:Directorio Facilitador). Adicionalmente hay más permanencia de agentes compradores en el proceso de negociación y hay más "demora" de los compradores para obtener el precio de venta, al querer sacar la mayor utilidad.
- Si se comparan las subastas inglesa y holandesa se puede concluir que la escalabilidad de la inglesa es mejor que la holandesa debido a que al aumentar el número de agentes y a medida que se va incrementando el precio hay menos permanencia de agentes y por lo tanto menos intercambio de mensajes, lo que implica mayor rapidez en el proceso. La holandesa se degrada mucho ya que todos los agentes permanecen activos en la negociación hasta que se finaliza el proceso, lo cual no ocurre en la inglesa, en donde los agentes se van retirando al no poder ofertar un precio superior al tope establecido para ellos. Se pretende en un trabajo futuro hacer variaciones

más significantes en el número de agentes para mirar nuevamente el comportamiento de los parámetros relevantes con el fin de corroborar si efectivamente estos protocolos tienen una buena escalabilidad.

- En los resultados obtenidos se pudo observar que los dos protocolos implementados en los prototipos llevan a cabo el proceso de negociación de Subasta de forma completa.

Como trabajo futuro se tiene programado implementar otros prototipos de negociación electrónica validando las métricas para diferentes configuraciones de SMA, es decir variando el número de agentes. También se tiene previsto definir más formalmente un método que permita la comparación de protocolos de negociación electrónica en entornos multi-agente.

#### REFERENCIAS

- Beer, M., D'Inverno, M., Luck, M., Jennings, N., Preist, C. y Schroeder, M. (1999), *Negotiation in multi-agents systems*.
- Ben-Ameur, H., Chailb-Draa, B. y Kropf, P. (2002), 'Multi-item auctions for automatic negotiation. Cirrno', *Scientific Series* 68.
- FIPA (2005), 'Foundation intelligent physical agents', En línea: [www.fipa.org](http://www.fipa.org) - C12/05.
- Jaiswal, A., Kim, Y. y Gini, M. (2004), 'Design and implementation of a secure multi-agent marketplace'. *Electronic Commerce Research and Applications* 3, 355-368.
- Odell, J., Van Dyke, P. y Bauer, B. (2001), *Agent-Oriented Software Engineering*, Springer, Berlin, chapter Representing Agent Interaction Protocols in UML, pp. 121-151.
- Quintero, A., Rueda, S. y Ucrós, M. (1998), *Agentes y sistemas multiagente: Integración de conceptos básicos*. Universidad de los Andes, Santa fé de Bogotá.
- Reaidya, J., Massotter, P. y Diep, D. (2003), 'Comparison of negotiation protocols in dynamic agent-based manufacturing systems', *International journal of production economics*.
- Zhang, W., Wang, G., Mailler, R. y Lesser, V. (2003), *Distributed Sensor Networks: A multiagent perspective*, Kluwer Academic Publishers, chapter Analysis of Negotiation Protocols by Distributed Search, pp. 339-361.

