

Un método de evaluación para sistemas multiagente

Pierpaolo Di Bitonto, María Laterza, Teresa Roselli y Verónica Rossano

Departamento de Informática, Universidad de Bari, Via Orabona 4,
70126 Bari, Italia
{dibitonto,marialaterza,roselli,rossano}@di.uniba.it

Resumen. El creciente uso de Sistemas Multiagente (SAM) en diversos ámbitos de la vida cotidiana ha impulsado la investigación de nuevas herramientas y metodologías para su diseño e implementación. Sin embargo, hasta la fecha, pocos trabajos se han centrado en la evaluación de estos SAM, y ninguno ha considerado características como la racionalidad, la autonomía, la reactividad y la adaptabilidad al entorno de los agentes que los componen. Creemos que estas características afectan al rendimiento general de estos sistemas y están vinculadas a la complejidad del entorno en el que actúan. En este artículo, proponemos un método de evaluación para sistemas multiagente estáticos. El método, basado en el enfoque Objetivo-Pregunta-Métrica, permite la evaluación de estas mismas características de los SAM y combina dos perspectivas de análisis: intraagente e interagente. También informamos sobre el uso del enfoque definido para evaluar el SAM del sistema GeCo_Automotive.

Palabras clave: Sistemas Multiagente, Objetivo-Pregunta-Métrica, evaluación MAS.

1 Introducción

En los últimos años, los Sistemas Multiagente (SAM) se han utilizado en diversos ámbitos, como la logística, las redes, la automatización, la simulación y la robótica. El éxito de los SAM se debe principalmente a su capacidad para resolver problemas computacionalmente complejos (o distribuidos espacialmente) y a su capacidad para desarrollar comportamientos sociales (una de las principales condiciones de la inteligencia de los agentes). Por todo ello, los SAM constituyen hoy en día un campo de investigación consolidado, donde se han presentado numerosos trabajos interesantes sobre herramientas y metodologías de diseño. Sin embargo, aún existen pocos trabajos que aborden la evaluación de SAM. Además, en el proceso de evaluación de SAM se utilizan a menudo métricas definidas para cada agente individual. En este caso, es importante tener en cuenta que un SAM no es solo una agregación de agentes individuales, sino un sistema complejo en el que los agentes interactúan para resolver un problema.

Por lo tanto, la evaluación debe realizarse considerando otras dimensiones, como la estructura organizacional o el tipo de interacción entre los agentes. Un método confiable para la evaluación de MAS permite estimar el éxito de las aplicaciones del paradigma multiagente en diferentes dominios y desarrollar directrices para diseñar soluciones adecuadas para el grado específico de complejidad del entorno. Este artículo presenta la definición de un plan de métricas para la evaluación de sistemas estáticos multiagente utilizando el enfoque Objetivo-Pregunta-Métrica (GQM).

El método definido permite evaluar la complejidad del entorno donde actúa el agente y el nivel, tanto individual como agregado, de racionalidad, autonomía, reactividad y adaptabilidad al entorno que exhiben los agentes en el MAS.

Esto se debe a que la evaluación de las características internas de los agentes MAS impacta en el rendimiento general del sistema y a que no se puede ignorar el entorno en el que actúan. El aspecto innovador del método propuesto reside en que fusiona dos enfoques diferentes para el análisis de sistemas multiagente: intraagente e interagente. El primero analiza al agente MAS como sistema individual, destacando su estructura interna, creencias, objetivos y percepciones relacionadas con su entorno. El segundo considera a cada agente MAS como parte de una sociedad y analiza su interacción con los demás agentes del sistema y su entorno.

El artículo se organiza de la siguiente manera: la sección 2 analiza algunos trabajos relacionados con la evaluación de sistemas multiagente; la sección 3 presenta el plan métrico definido; la sección 4 describe la aplicación del método definido al sistema multiagente GeCo_Automotive y los resultados obtenidos. Finalmente, se describen algunas conclusiones y futuras líneas de investigación.

2 obras relacionadas

El análisis de la literatura sobre la evaluación de MAS ha identificado dos tendencias principales. La primera considera el paradigma basado en agentes como la evolución de la programación orientada a objetos. En este caso, la necesidad de métricas para evaluar MAS ha llevado al uso y la adaptación de métricas orientadas a objetos como el acoplamiento entre clases de objetos, la profundidad del árbol de herencia, etc. [1]. Sin embargo, [2] afirma que estas métricas son de nivel demasiado bajo para ser significativas para el software basado en agentes. La otra tendencia consiste en considerar los MAS principalmente como sistemas distribuidos, por lo tanto, los aspectos más considerados en la evaluación son los arquitectónicos y la comunicación entre los agentes. En [3] se proponen varias métricas como la métrica de costo de conexión que puede, si se aplica a sistemas reales, predecir cuán adecuadas son las diferentes implementaciones de Java RMI para los diferentes entornos y configuraciones de red. En [4] se propone un enfoque para evaluar la comunicación en MAS. Los autores implementan una herramienta de evaluación que captura los mensajes intercambiados entre los agentes MAS y extrae los datos que representan un grafo de comunicación (dirigido) donde los agentes son los nodos y los arcos representan los enlaces de comunicación. El grafo permite calcular el valor de métricas como: nivel de comunicación, número de agentes involucrados, número de conexiones, etc. En [5] se sugiere un conjunto de métricas que sirven para medir la comunicación y detectar las razones de una comunicación desequilibrada. En [6] Lee y Hwang afirman la necesidad de diseñar sistemas basados en agentes para permitir que los agentes interactúen eficientemente. Definen métricas que permiten evaluar la organización (complejidad, extensibilidad y disponibilidad de la organización) y el comportamiento de los agentes MAS (tiempo de procesamiento o coste). En cambio, Lass et al. en [7] analizan varias métricas para MAS como las métricas de entorno/host y las métricas del sistema. La primera describe los aspectos del entorno en el que se prueba el sistema; la segunda evalúa el rendimiento del MAS al realizar una tarea específica. Además, los autores sugieren el uso del enfoque GQM de Basili [8] para evaluar sistemas multiagente, pero no definen ningún plan métrico.

Este artículo presenta un método de evaluación que difiere de otros enfoques citados en la literatura en tres aspectos principales. En primer lugar, propone el uso de métricas de alto nivel para evaluar los SMA y enfatiza la medición de características de los agentes como la racionalidad, la autonomía, la reactividad y la adaptabilidad del entorno. En segundo lugar, el método definido fusiona dos perspectivas de evaluación de SMA: interagente e intraagente. La evaluación interagente considera todos los aspectos del SMA (cooperación y comunicación entre agentes), mientras que la evaluación intraagente considera la estructura interna de cada agente individual (en términos de capacidad de aprendizaje, capacidades de planificación, etc.). En tercer lugar, proporciona un plan de métricas para evaluar un SMA.

3 Definición del Plan Métrico

La evaluación de un MAS de agentes estáticos es un proceso integral que debe definirse independientemente de cualquier campo de implementación específico y contexto de uso. Por esta razón, el plan de métricas se estableció utilizando el enfoque GQM. Se definieron cinco objetivos, relacionados con aspectos fundamentales del diseño de sistemas multiagente: la complejidad del entorno, la racionalidad, la autonomía, la reactividad y la adaptabilidad al entorno. Para cada objetivo, se identificaron preguntas y métricas que permitían, en primer lugar, evaluar a los agentes como entidades individuales y, en segundo lugar, evaluar el MAS completo desde una perspectiva global. Cada característica del MAS examinada se evaluó cuantitativamente para obtener una estimación numérica de su autonomía, reactividad, racionalidad y adaptabilidad. Estas estimaciones se compararon con la complejidad del entorno para determinar la adecuación de las características internas del MAS al entorno en el que actúa. En [9], el entorno se define como el problema que el agente debe resolver; es evidente que sin un análisis preciso del entorno en el que opera, no sería posible evaluar las características del MAS. Uno de los problemas encontrados al definir el plan métrico fueron las diferentes definiciones encontradas en la literatura, no solo del entorno, sino también de las características internas del SAM. Para evitar el riesgo de ambigüedad en la definición del plan métrico, se proporciona una definición de la característica considerada para cada objetivo, así como las mediciones que se deben realizar (o calcular) para estimarla.

3.1 Objetivo 1: La complejidad del medio ambiente

Según Russell y Norvig [9], un entorno puede clasificarse según diversas líneas: su observabilidad (completa/parcial), el efecto que las acciones del agente tienen sobre el entorno (determinista/estocástico), el tiempo (discreto/continuo), el número de agentes (monoagente/multiagente), el historial de percepciones (episódico/secuencial) y su evolución (estático/dinámico). La cantidad y la subjetividad de estas líneas dificultan la caracterización del entorno. Es fácil identificar cuál es el entorno más complejo, pero si presenta otras combinaciones de estas propiedades, será difícil definir su complejidad.

Además, estas propiedades no siempre son suficientes para caracterizar el entorno y el efecto de las interacciones de los agentes en él. En el método propuesto, la complejidad del entorno se ha evaluado con base en tres características diferentes: la inaccesibilidad del entorno, la inestabilidad y el comportamiento de...

Agentes. Cada uno de estos se ha medido directamente mediante una escala de tres puntos: alta, media y baja. Para evaluar la inaccesibilidad del entorno, se definieron dos preguntas: una que evalúa la inobservabilidad del entorno (EnvUnobs: medida en términos de la incapacidad del agente para acceder al estado completo del entorno en cualquier instante) y la otra, la inaccesibilidad de los recursos (ResInacc: calculada como la tendencia del nivel de inaccesibilidad de cada recurso).

Ambas métricas se expresan en una escala de 3 puntos (alta, media, baja). La inestabilidad del entorno se definió mediante métricas específicas basadas en el tiempo (Tiempo: discreto o continuo), la posibilidad de que el entorno cambie sin la acción directa del agente (Dinámico: estático o dinámico) y el número de efectos de las acciones ejecutadas por los agentes MAS (NumEffeAct: uno o más efectos). Se asigna un valor de 1 si el tiempo es continuo, el entorno dinámico o la acción del agente tiene más de un efecto; en caso contrario, 0. La inestabilidad (TotInstab) es alta si la suma de las tres métricas es mayor que 2, media si es igual a 2 y baja en todos los demás casos.

Para evaluar el comportamiento de los agentes en el entorno, se utilizaron dos métricas: una para medir el grado de competencia (CompGrad) entre los agentes MAS y otra para medir la presencia de modelos de confianza y reputación (Tr&RepMod). Para la primera de estas preguntas, el valor es "alto" en los casos en que los agentes compiten a lo largo del ciclo de vida, "medio" si alternan momentos de competencia con momentos de cooperación y "bajo" si cooperan a lo largo del ciclo de vida. En cambio, en cuanto a la presencia de modelos de confianza y reputación, se realiza una evaluación subjetiva (como baja/media/alta) de la presencia de lógicas del entorno que requieren que un agente evalúe las fuentes de información de las que obtener los datos necesarios para lograr el objetivo. La complejidad del entorno se calcula mediante la fórmula: $\text{EnvCompl} = \alpha H + \beta M + \gamma L$, donde α , β y γ son el número de puntuaciones altas, medias y bajas, respectivamente, y H, M, L los valores 2, 1 y 0. El valor de EnvCompl puede oscilar entre [0-14]. Si EnvCompl [0-4], el valor es bajo; si EnvCompl [5-9], es medio; y si es superior, la complejidad es alta.

3.2 Objetivo 2: Racionalidad

Russell y Norvig en [9] definen la racionalidad de un agente como su capacidad para tomar acciones que puedan maximizar su éxito. Esta capacidad varía según las métricas de rendimiento, la secuencia de percepción, el conocimiento del entorno y las acciones que el agente puede lograr. En el plan de métricas propuesto, el grado de racionalidad de los agentes MAS se evaluó según los siguientes aspectos: modo de elección de las acciones y maximización del éxito. El modo de elección de las acciones se evaluó utilizando las métricas: tipo de agente (simple, estímulo-respuesta, agente basado en objetivos, etc.), capacidad para construir planes de acción, capacidad de aprendizaje y posesión de un modelo interno de las acciones e intenciones de los demás agentes MAS. La métrica tipo de agente (AgType) asigna un valor de 0 si el agente es simplemente reactivo o basado en modelos, 1 si es basado en objetivos o utilidad. La métrica de capacidad para construir planes de acción (PlaConstr) atribuye a cada agente MAS un valor de 1 si es capaz de construir planes, y 0 si no. La misma lógica se emplea para las métricas de capacidad de aprendizaje (LearAb) y la posesión de un modelo interno de las acciones e intenciones de los demás agentes MAS (InsMod). La maximización del éxito se evaluó como la capacidad de maximizar el resultado esperado de las acciones (ActMax). Para calcular esta métrica, para cada agente se calculan n intervalos de observación con una duración de t segun

definido. Para cada intervalo, se deriva la secuencia de percepción del agente, así como el conocimiento del entorno que posee. Las posibles acciones del agente se definen como una función del estado en el que se encuentra y los resultados esperados sobre el entorno en el intervalo de observación. Estos resultados deben expresarse en términos numéricos. Después de establecer la métrica esperada, se observa el resultado sobre el entorno causado por la acción del agente. El resultado esperado se compara con el resultado obtenido utilizando la siguiente expresión: $(|val.expect-val.obtain.|)/base$ donde base es un valor numérico que puede normalizar el valor en una escala de 0 a 1. El resultado de esta expresión se define como la brecha entre el resultado esperado y el resultado obtenido. Es importante elegir como valor esperado una estimación óptima pero realista del rendimiento del agente. El valor base depende de la elección del rango de resultados esperados y obtenidos.

Tras calcular la brecha, se calcula la brecha media de cada agente a partir del número de intervalos considerados. La capacidad del MAS para maximizar el resultado esperado es el complemento a uno de la media de los valores de MeanGap calculados para todos los agentes del MAS. El valor de racionalidad de cada agente (AgRatio) es la media de los valores de todas las métricas definidas. La media de los valores de racionalidad de todos los agentes del MAS proporciona el valor de racionalidad para todo el MAS (MASRatio).

3.3 Objetivo 3: Autonomía

Según Wooldridge [10], la autonomía es la propiedad que caracteriza al agente.

Consiste en su capacidad de actuar sin necesidad de intervención humana ni de acciones de otros agentes. Un elemento clave de la autonomía es la proactividad; es decir, la capacidad de tomar la iniciativa en lugar de simplemente actuar en respuesta al entorno.

La proactividad incluye la capacidad de los agentes para exhibir un comportamiento dirigido tanto a satisfacer sus metas como a anticipar situaciones futuras, haciendo predicciones. Creemos que en el caso de los agentes MAS la evaluación de la autonomía también debe tener en cuenta el rol del agente en la organización MAS. Por esta razón, el grado de autonomía de cada agente se evaluó sobre la base de su proactividad y el rol que tiene en la estructura organizacional. Para evaluar la proactividad, se realizaron varias preguntas (y métricas relativas) que indagaban la capacidad del agente para aprender nuevos conocimientos (LearAb), la capacidad para diagnosticar errores y/o problemas (DiaErPrAb) durante la ejecución de las tareas, y la capacidad para emprender y conducir de forma autónoma una comunicación (ComAutAb) con los otros agentes MAS. Se asignó un valor de 1 si esta capacidad estaba presente, 0 en caso contrario. La evaluación del rol del agente en la estructura organizacional considera para cada agente: su posición en la estructura MAS (PosStr) que es 0 si el agente ocupa una posición subordinada, y 1 en caso contrario; La capacidad de asumir varios roles (MoreRol: con un valor de 1 para más de un rol, 0 en caso contrario); la capacidad de negociar con otros agentes (NegAg: valor 1 si está presente, 0 en caso contrario); y compartir tareas o recursos (SharTask&Res). Dado que compartir reduce la autonomía del agente, se le asigna un valor de 0 si puede compartir, 1 en caso contrario. El nivel de autonomía de cada agente (AgAuto) es la media de los valores de las métricas de proactividad y el rol desempeñado en la estructura organizativa. El nivel de autonomía exhibido por el MAS (MASAuto) es igual a la media de los niveles de autonomía de sus agentes.

3.4 Objetivo 4: Reactividad

La mayoría de las propuestas para clasificar agentes presentes en la literatura [11] consideran a un agente reactivo como un agente carente de estados internos, programado para hacer que la acción a realizar corresponda a una secuencia de percepción. En el plan métrico que definimos, la reactividad se considera como la capacidad de percibir el entorno y responder de manera oportuna a los cambios en este. Esta cualidad se evalúa teniendo en cuenta la eficiencia de la adquisición de percepciones del entorno y la rapidez de cumplimiento de sus tareas u objetivos. El plan métrico evalúa la capacidad de cada agente para percibir el entorno mediante una pregunta y una métrica relativa con tres valores. Esta métrica (EnvPercEff) verifica si el sistema sensorial del agente le permite procesar las percepciones de manera satisfactoria, eligiendo las percepciones más significativas o agregando grandes secuencias de percepción (valor 1); o puede procesar percepciones pero no siempre adecuadamente para los objetivos del agente (valor 0,5); o bien no puede procesar la secuencia de percepción en absoluto (valor 0). En su lugar, la rapidez del agente para lograr sus tareas u objetivos (RapReachGoals) se evalúa mediante diversas preguntas y definiendo las siguientes métricas: comportamiento predefinido del agente, posesión de un modelo del entorno, número de roles en el MAS y minimización de la comunicación al realizar las tareas dadas. La métrica comportamiento predefinido (DefBeh) determina si las reacciones del agente fueron preestablecidas por el diseñador (valor 1 en caso afirmativo, 0 en caso contrario). La métrica posesión de un modelo del entorno (EnvMod) examina si el agente basa la elección de acciones a ejecutar en un modelo del entorno; si no hay modelo, las acciones serán más rápidas (1 si no posee un modelo, 0 en caso contrario). La métrica número de roles (NumRol) ve si el agente tiene uno o más roles. Debido a que desempeñar más de un rol implica menos reactividad, se asigna un valor de 1 si el agente tiene un solo rol en el MAS, 0 en caso contrario. Finalmente, la métrica de minimización de la comunicación (ComMin) evalúa la capacidad del agente MAS para llevar a cabo sus tareas u objetivos con una comunicación mínima con otros agentes, ya que esto aumenta los tiempos de respuesta. Para ello, se definen n intervalos de tiempo, cada uno con una duración de tiempo t , y el número gr de objetivos alcanzados en ese intervalo. A continuación, se calcula la media de mensajes intercambiados para alcanzar el objetivo. Si este valor es igual o menor que el valor esperado previamente definido, ComMin tiene un valor de 1; en caso contrario, es 0. El nivel de reactividad de cada agente (AgReact) es la media de los valores de las métricas individuales, mientras que el valor de reactividad global del MAS (MASReact) es la media de los niveles de reactividad de todos sus agentes.

3.5 Objetivo 5: Adaptabilidad al medio ambiente

Dado que las condiciones ambientales pueden cambiar rápidamente, el agente debe ser capaz de adaptarse a ellas. Esto implica ser capaz de modificar el plan de acciones a emprender para alcanzar el objetivo y, en algunos casos, también la posibilidad de cambiar el objetivo a corto plazo si perseguirlo conllevara al fracaso en el logro del objetivo principal. En un MAS, el entorno al que cada agente debe adaptarse incluye a otros agentes, por lo que es necesario considerar la adaptabilidad de todo el sistema. En este trabajo, la capacidad de adaptación al entorno del MAS (EnvAdapt) se tomó como la capacidad media de adaptación al entorno de cada agente. Para ello, se evaluó la capacidad del agente para responder a nuevos estímulos externos, así como su capacidad para gestionar diferentes situaciones. La capacidad de

responder a nuevos estímulos externos se evaluó teniendo en cuenta la capacidad del agente para elegir las acciones a ejecutar según los objetivos a alcanzar (ChoAct); la capacidad para asumir más de un rol (DifRol) y la capacidad para compartir tareas o recursos con otros agentes MAS (SharTask&Res). A la métrica ChoAct se le asignó un valor de 1 si el agente está basado en objetivos, 0 si tiene reflejos simples; la métrica DifRol se puntuó 1 si el agente puede tener varios roles diferentes, 0 en caso contrario; la métrica SharTask&Res se puntuó 1 si el agente comparte tareas con otros agentes, 0 en caso contrario. La capacidad para gestionar diferentes situaciones se evaluó en términos de la capacidad de aprender (LearAb), la eficiencia en encontrar heurísticas para alcanzar sus objetivos (EurFinAb) y la eficiencia en el manejo de excepciones (ExcManAb). A la métrica LearAb se le asignó el valor 1 si el agente es capaz de aprender, 0 en caso contrario. La métrica EurFinAb se calculó comparando la media del número de mensajes enviados por el agente para obtener información útil (vmr) y la cantidad de mensajes que el agente envió en el entorno esperado por el evaluador (va). Si $vmr > va$, la métrica EurFinAb tiene un valor de 0; de lo contrario, será 1. La métrica ExcManAb se calcula comparando la cantidad de excepciones gestionadas por el código de cada agente individual (nem) y la cantidad de excepciones que se espera que gestione el agente (ea). Si $nem \geq ea$, ExcManAb tiene un valor de 1; de lo contrario, 0. La adaptabilidad de cada agente al entorno (AgAdapt) es la media de los valores de las métricas anteriores. La adaptabilidad del entorno MAS es la media de los valores de adaptabilidad de los agentes individuales.

3.6 Interpretación de los valores de las métricas

El plan métrico propuesto indica los métodos para medir la complejidad del entorno y las características del MAS, pero no permite la evaluación de su adecuación al entorno donde opera. Es necesario comparar la evaluación del entorno con la del MAS. Para simplificar, la complejidad del entorno se ha evaluado como baja, media o alta. Estos valores dependen de diferentes combinaciones de las siete métricas que caracterizan el entorno. Para realizar una evaluación precisa del plan métrico, se deben considerar todas las combinaciones posibles. Por brevedad, solo se describen los casos de baja y alta complejidad, porque son los que mejor se adaptan a las consideraciones generales. Se presentará un análisis exhaustivo del plan métrico en una publicación posterior. Si la complejidad del entorno es alta, esto significa que los agentes tienen una percepción pobre del entorno y dificultad para acceder a los recursos disponibles; el entorno evoluciona rápidamente y existen modelos complejos de interacción entre los agentes. Para que un MAS actúe adecuadamente en un entorno complejo, necesita un buen nivel de racionalidad (0,6 a 1) para que la capacidad de los agentes para planificar, aprender y considerar las acciones e intenciones de los demás agentes pueda afrontar la escasa accesibilidad y observabilidad del entorno. Además, un entorno complejo evoluciona muy rápidamente, por lo que los agentes del MAS deben ser proactivos y capaces de gestionar tareas y recursos para afrontar situaciones continuamente nuevas (nivel de autonomía de 0,5 a 1). Considerando que cuanto más rápida sea la respuesta de los agentes, menor será su racionalidad, en entornos complejos es preferible tener un nivel de reactividad suficiente para obtener una percepción significativa del entorno (de 0 a 0,3). De lo contrario, la adaptabilidad de los agentes debe ser alta (de 0,6 a 1) para poder gestionar las diferentes situaciones que puedan presentarse, teniendo en cuenta el dinamismo y la escasa observabilidad de

El entorno. Si el entorno presenta baja complejidad, basta con un nivel de racionalidad entre 0,2 y 0,3, ya que en este caso la capacidad de maximizar el éxito es más importante que la de realizar razonamientos complejos. Si la racionalidad es baja, el nivel de reactividad debe ser alto; de lo contrario, el MAS desperdiciará recursos computacionales. El nivel de autonomía puede ser bajo, siempre que se combine con la capacidad de diagnosticar errores y problemas (de 0 a 0,2). Finalmente, basta con que los agentes del MAS tengan la capacidad de compartir tareas y recursos, por lo que un nivel de adaptabilidad entre 0,2 es suficiente.

4 Una aplicación del método de evaluación

El método de evaluación presentado se utilizó para estimar el MAS integrado en GeCo_Automotive [12], un sistema TIC diseñado para promover la gestión y capitalización del conocimiento en pequeñas y medianas empresas del sector automotriz.

La aplicación del método de evaluación descrito nos permitió evaluar la adecuación de este MAS al entorno para recomendar recursos didácticos y documentales, así como observar las debilidades específicas de los agentes individuales, en cuanto a su baja racionalidad, autonomía, reactividad y adaptabilidad al entorno. Los resultados de nuestra evaluación pueden proporcionar una base útil para reflexionar sobre las posibles soluciones que se pueden adoptar para mejorar el sistema multiagente, cuyo rendimiento influye significativamente en el rendimiento general del sistema TIC. El MAS de GeCo_Automotive consta de dos agentes estáticos que clasifican y recuperan recursos didácticos y documentales. Con ellos, el MAS puede sugerir los recursos que mejor se adaptan a las necesidades específicas del usuario. El agente clasificador cataloga los recursos basándose en sus descripciones y en taxonomías previamente definidas. El agente de búsqueda selecciona, del conjunto de recursos disponibles, los que mejor se adaptan a las necesidades específicas del usuario. Para ello, se basa en su conocimiento del usuario, de la organización de los recursos y en su percepción de la consulta del usuario, procesando su sintaxis. En la siguiente sección se informan los resultados de la aplicación de los métodos de evaluación.

4.1 Complejidad del entorno

El entorno donde opera el MAS está compuesto por el sistema TIC en el que está integrado y el conjunto de empleados de la empresa que lo utilizan. La inobservabilidad del entorno se define como la imposibilidad de los agentes de tener acceso completo en cualquier momento a los componentes del sistema y al conocimiento de los empleados de la empresa. La inaccesibilidad de los recursos se evaluó en función de la incompletitud de los metadatos que los describen. El tiempo fue continuo y el entorno dinámico, ya que los usuarios pueden modificar continuamente su conocimiento independientemente del uso que hagan del sistema. Los efectos de las acciones de los agentes pueden ser múltiples, ya que, según el perfil del usuario, el agente de búsqueda selecciona diferentes tipos de recursos. En general, existe un alto nivel de inestabilidad. Además, los dos agentes colaboran a lo largo de su ciclo de vida y no emplean modelos de confianza y reputación. Por lo tanto, la complejidad del entorno es baja: el entorno carece de observabilidad completa y evoluciona muy rápidamente, pero sus recursos son fácilmente accesibles.

4.2 Evaluación de las características de los agentes MAS

La aplicación del plan métrico mostró un nivel mínimo de racionalidad tanto para el agente clasificador como para el agente de búsqueda. Ambos agentes poseen reflejos simples, no construyen planes de acción para alcanzar sus objetivos, son incapaces de aprender y carecen de un modelo interno de las acciones e intenciones del otro agente. La capacidad de maximizar el resultado esperado se midió para el agente clasificador como el porcentaje de recursos correctamente clasificados en el intervalo de tiempo considerado, y para el agente de búsqueda como el porcentaje de recursos propuestos que satisfacen las necesidades del usuario. Los agentes del MAS muestran el mismo nivel de autonomía. No son capaces de aprender, ni de diagnosticar errores o problemas que ocurren durante el desempeño de sus tareas, ni de establecer o mantener comunicación de forma autónoma. Tienen roles fijos en el MAS, definidos a priori por el diseñador, y carecen de capacidad de negociación. Los únicos valores a favor de la autonomía son los relativos a su posición no subordinada en la estructura del MAS y la falta de compartición de tareas o recursos. La evaluación de la reactividad del MAS demostró un nivel de reactividad muy alto. Los dos agentes no realizan ningún procesamiento de las percepciones, ejecutan acciones definidas durante la fase de diseño, no tienen un modelo interno del entorno y juegan un único rol en el mismo. Además, no se comunican entre sí durante sus actividades. Esto se traduce en una máxima rapidez de reacción. Los agentes de catalogación y búsqueda MAS del sistema GeCo_Automotive presentan una baja adaptabilidad al entorno. Para ambos agentes, la única ventaja de la adaptabilidad reside en la gestión de excepciones.

4.3 Interpretación de los valores de las métricas en GeCo_Automotive

La evaluación del MAS mediante el plan de métricas definido ha puesto de manifiesto que el entorno considerado presenta un bajo nivel de complejidad. El nivel de racionalidad del MAS es adecuado, ya que depende de su capacidad para maximizar su éxito. La autonomía del agente, en cambio, no es adecuada al entorno, ya que se relaciona con la independencia del agente durante la ejecución de sus tareas y no depende de su capacidad para diagnosticar errores o problemas. El nivel de reactividad y la adaptabilidad del entorno son aceptables. El valor estimado de la adaptabilidad al entorno es superior al esperado, lo cual es importante para afrontar la rápida evolución del entorno. Por lo tanto, el MAS considerado es adecuado a su entorno, aunque el nivel de autonomía del agente deba mejorarse mediante el aumento de la proactividad.

5 Conclusión

El artículo propone un método para evaluar MAS, basado en el enfoque QGM.

A diferencia de otros enfoques de evaluación presentados en la literatura, este artículo propone, en primer lugar, el uso de métricas de alto nivel que resaltan características como la autonomía, la reactividad y la adaptabilidad al entorno, lo que permite distinguir a los agentes de los objetos (del paradigma OO). Además, integra la evaluación de las características interagentes e intraagentes, proporcionando un QGM listo para usar. Considerando el alto nivel de abstracción del enfoque, es necesario contextualizar las métricas según el MAS específico a evaluar. Además, el trabajo presenta un primer...

Aplicación del plan métrico al sistema GeCo_Automotive, que sugiere actividades de aprendizaje y buenas prácticas a empleados de empresas del sector automotriz. Esta aplicación nos ha permitido extraer algunas observaciones sobre la adecuación de los agentes a la complejidad del entorno.

Actualmente, estamos diseñando un experimento para probar y evaluar el plan métrico. Uno de los principales desarrollos futuros de este trabajo será la definición de directrices para diseñar sistemas de monitoreo de la calidad (SMA) eficaces para el entorno en el que operan.

Referencias

1. Jang, KS, Nam, TE, Wadhwa, B.: Sobre la medición de objetos y agentes, <http://www.comp.nus.edu.sg/~bimlesh/ametrics/index.htm> 2. Klügl, F.: Medición de la complejidad de simulaciones de múltiples agentes: un intento de utilizar métricas. En: Dastani, M., El Fallah Seghrouchni, A., Leite, J., Torroni, P. (eds.) LADS 2007. LNCS (LNAI), vol. 5118, págs. 123-138. Springer, Heidelberg (2008)
3. Król, D., Zelmozer, M.: Evaluación del rendimiento estructural de sistemas multiagente. J. of Ciencias de la Computación Universal 14, 1154–1178 (2008)
4. Hmida, FB, Chaari, WL, Tagina, M.: Evaluación del rendimiento de sistemas multiagente: Criterio de comunicación. En: Carbonell, JG, Siekmann, J. (eds.) KES-AMSTA 2008. LNCS (LNAI), vol. 4953, págs. 773–782. Springer, Heidelberg (2008)
5. Gutiérrez, C., García-Magarino, I., Gómez-Sanz, JJ: Evaluación de la comunicación del sistema multiagente en INGENIEROS. En: Cabestany, J., Sandoval, F., Prieto, A., Corchado, JM (eds.) IWANN 2009. LNCS, vol. 5517, págs. 101-1 619–626. Springer, Heidelberg (2009)
6. Lee, SK, Hwang, CS: Modelado y evaluación de arquitectura para el diseño de sistemas basados en agentes. J. de Sistemas y Software 72, 195–208 (2004)
7. Lass, RN, Sultani, EA, Regli, WC: Métricas para sistemas multiagente. En: Madhavan, R., Tunstel, E., Messina, E. (eds.). Evaluación del rendimiento y benchmarking de sistemas inteligentes. LNCS, págs. 1-19. Springer, EE. UU. (2009).
8. Basili, V., Caldiera, G., Rombach, H.: El enfoque métrico de la pregunta objetivo. En: Marciniak, JJ (ed.) Encyclopedia of Soft. Eng., vol. 2, págs. 528-532. John Wiley & Sons, Inc., Chichester (1994)
9. Russell, S., Norvig, P.: Inteligencia artificial: Un enfoque moderno. Prentice-Hall, Acatilados de Englewood (1995)
10. Wooldridge, M., Jennings, NR: Agentes inteligentes: Teoría y práctica. The Knowledge Engineering Review 10, 115–152 (1995)
11. Nwana, HS: Agentes de software: Una visión general. The Knowledge Engineering Review 11, 205–244 (1996)
12. Di Bitonto, P., Plantamura, V.L., Roselli, T., Rossano, V.: Una taxonomía para catalogar OA utilizando metadatos educativos del IEEE. En: 7.ª Conferencia Internacional del IEEE sobre Tecnologías Avanzadas de Aprendizaje, págs. 139-141. IEEE Press, Los Alamitos (2007)