

RESUMEN DE LA TESIS DOCTORAL

Modelización de la concurrencia en sistemas distribuidos multiagente: autómatas cooperativos

Autor: Carlos Herrero Cucó

Director: Javier Oliver Villarroya

El objetivo principal de esta Tesis Doctoral es el desarrollo completo de un formalismo destinado a la representación de sistemas distribuidos y que está basado en la Teoría de Autómatas y en las redes de Petri: los Autómatas Cooperativos y, una extensión, los Autómatas Cooperativos Extendidos.

Para ello, en la tesis se presentan previamente diversos formalismos basados en la Teoría de Autómatas y en las redes de Petri. Algunas de las propuestas existentes se describen más en profundidad: los autómatas *Team* que presentan un entorno multiagente para la modelización de sistemas *groupware*, los Autómatas Finitos Paralelos que dan una notación específica para expresar la concurrencia y el paralelismo en sistemas distribuidos y las Redes de Referencias y su simulador, la herramienta *Renew*. Tanto unos como otros son comparados, imitados o transformados con los Autómatas Cooperativos Extendidos. Nuestro formalismo permite mostrar de una forma gráfica y sencilla la problemática de representación de sistemas de este tipo aunando características de la Teoría de Autómatas y de las redes de Petri haciendo explícito el mecanismo de concurrencia en la forma de reglas de transacción.

Como resumen del funcionamiento del modelo, un sistema de Autómatas Cooperativos Extendidos consta de dos partes fundamentales. En primer lugar, de los autómatas en sí que, a su vez, además de estados y acciones tienen una porción de memoria privada y, en segundo lugar, de unas reglas de transacción con vectores de sincronización de acciones, guardas y actualizaciones.

La memoria privada de los autómatas contiene hasta dos tipos de atributos. Estos atributos son: los atributos de tarea o identificadores y los atributos numéricos. Como su propio nombre indica, los atributos de tarea se utilizan para sincronizar autómatas en tareas y subtareas, mientras tanto, los atributos numéricos difieren de los anteriores en que su rango de valores es finito y corresponde a un subconjunto de los naturales representando una extensión del conjunto de estados del autómata.

El modelo original (los Autómatas Cooperativos) es muy similar exceptuando todo cuanto hace referencia a los atributos numéricos. La inclusión de los mismos así como de los mecanismos de consulta y actualización en las guardas y actualizaciones de las reglas de transacción son una de las aportaciones principales de esta tesis doctoral. La extensión presentada, si bien no añade grandes cambios en cuanto a la definición, sí que supone un cambio en el concepto del sistema sin modificar la base operacional del mismo, trasladando parte de la información de

los estados y acciones de los autómatas a los atributos numéricos y a las restricciones y actualizaciones de las reglas. Con esto, se faculta al modelo de una forma mucho más precisa, sencilla y natural de representar sistemas cuya solución sólo podría darse con una explosión de estados en los autómatas así como de una explosión de reglas de transacción para incorporar dichas acciones y cambios de estado. Pese a la capacidad del modelo original para representar esos sistemas, en ocasiones los autómatas resultantes y el número de reglas acaban siendo demasiado complicados para problemas en apariencia bastante sencillos. Esto ocurre sobre todo cuando el estado del autómata (es decir, el nodo del cual parten las acciones en el diagrama) depende de cierto valor numérico, por ejemplo la posición geográfica. En este caso, es preciso distinguir el estado del autómata en todas y cada una de las posiciones que el autómata sea capaz de ocupar puesto que las acciones que pueda realizar estarán, probablemente, asociadas también a dicha posición.

En la extensión que se presenta existe un segundo tipo de atributos en los autómatas. La diferencia es que en este caso los atributos son numéricos y la explosión de reglas que se mencionaba anteriormente se reduce a añadir una guarda en una única regla. Esto no quita para que ambos formalismos sean del todo equivalentes. De hecho, se provee de un algoritmo de conversión de Autómatas Cooperativos Extendidos en Autómatas Cooperativos lo que garantiza el mantenimiento de todas las propiedades de aquellos y, dado que, cualquier sistema de Autómatas Cooperativos es, por definición, también un sistema de Autómatas Cooperativos Extendidos, podemos concluir que ambos modelos son funcionalmente iguales. Por tanto, si bien los tres niveles de expresividad se mantienen al añadir los atributos numéricos existen sistemas cuya resolución sería antinatural pero posible en el modelo básico, pero que obtienen una solución mucho más elegante, legible, precisa y útil con el sistema extendido.

Ambos modelos son suficientemente expresivos para modelar la mayoría de sistemas. El modelo presenta tres niveles de expresividad: El modelo básico (sin atributos de tarea), el modelo extendido (con un atributo de tarea como máximo por agente) y el modelo completo (con dos o más atributos de tarea). Este último alcanza la expresividad de la Máquina de Turing por lo que sólo en los otros dos son decidibles propiedades como el acotamiento. No obstante existe un modo fácil de simular incluso el comportamiento de otros modelos complejos como los autómatas *Team* de manera sencilla y clara y, en muchas ocasiones, sin necesidad de usar dos atributos de tarea.

Una vez establecido el funcionamiento del modelo original y del modelo extendido y presentados algunos ejemplos de modelización de diferentes sistemas de uno y otro tipo, se plantea el análisis a priori de las soluciones dadas a los diferentes sistemas como un medio de simplificación y de identificación de problemas, procesos y subprocesos en las etapas más iniciales del diseño. Para ello, y con la idea de automatizar el análisis para hacerlo útil en el proceso de diseño, se plantean tres tipos de relaciones diferentes:

- Relaciones de vinculación entre reglas y autómatas a través de acciones que representan las correlaciones entre los distintos vectores de sincronización y las acciones que definen a los propios autómatas.
- Relaciones de concurrencia entre autómatas en reglas que representan las sincronizaciones o cooperaciones entre autómatas en el disparo de una regla de

transacción al estar vinculados ambos autómatas a la misma regla pero por acciones diferentes del vector de sincronización.

- Relaciones de competencia entre reglas por un mismo autómata que representan la necesidad de elección entre reglas de transacción por la imposibilidad de un disparo simultáneo al compartir un mismo autómata vinculado a ambas reglas.

De cada relación se plantean cuatro niveles de certidumbre, desde las relaciones muy débiles que sólo plantean la posibilidad de existencia de dichas relaciones hasta las muy fuertes que indican la absoluta certeza de la existencia de dicha relación, pasando por los estados intermedios de débil y fuerte, con crecientes niveles de seguridad.

De todas estas relaciones, las más débiles son aquellas en las que se centra el estudio dado que son las que pueden realizarse a priori sin necesidad de simular el sistema. Por tanto, son las que permiten encontrar subprocesos, cuellos de botella y reglas independientes o críticas antes incluso de finalizar la modelización del sistema, permitiendo su simplificación y solución de problemas en el mismo proceso de modelización. El resto de niveles de certidumbre requieren una simulación y, por tanto, sólo reflejan el comportamiento del sistema en un instante dado de la simulación o ejecución, algo así como identificar los subprocesos, cuellos de botella, etc. durante una “foto fija” del sistema.

Del mismo modo, se plantea un algoritmo que permite, utilizando el cálculo de las relaciones muy débiles, identificar de forma automática los subprocesos existentes del sistema y, por tanto, las reglas de transacción independientes entre sí. Estos cálculos permiten, por un lado, la simplificación del sistema en subsistemas independientes y, por otro lado, la identificación de ejecuciones que lleven al mismo resultado a pesar de incluir secuencias diferentes de disparo de reglas.

En la tesis también se desarrolla una aplicación que permite la modelización, edición y validación de sistemas bajo el modelo de los Autómatas Cooperativos Extendidos, realizando una doble tarea, primero, asegurar la corrección sintáctica del modelo construido y, segundo, en tiempo de diseño realizar el análisis anteriormente descrito de manera automática. Esto es posible al haberse integrado en la propia herramienta de edición la automatización del análisis.

De este modo el diseñador puede, durante el proceso de diseño y durante la edición del modelo, realizar el análisis a priori del modelo para comprobar si hay autómatas o reglas que intervengan en la mayoría de transacciones o, por el contrario, la existencia de subprocesos independientes y utilizar estos resultados como guía para completar el diseño de forma que el sistema sea más eficiente y presente menos problemas más adelante.

Por último, se presenta también una herramienta destinada a la simulación de sistemas implementados bajo el modelo de los Autómatas Cooperativos y también bajo la extensión propuesta que permiten, de manera sencilla, manual o automática, comprobar el funcionamiento del sistema recién diseñado y probar la respuesta del mismo ante cada una de las reglas de disparo.