Universidad de Los Andes

http://cesimo.ing.ula.ve

Una Teoría para simulación de Sistemas Multiagente

Jacinto Dávila y Mayerlin Uzcátegui

mailto:jacinto@ula.ve

Centro de Simulación y Modelos (CESIMO)

Una teoría de simulación de sistemas multi-agente

En general, una teoría es una *"suposición o un sistema de ideas que explican algo"* (Oxford Dictionary). Los matemáticos tienen una definición un poco más precisa: *"Una colección de proposiciones que ilustran los principios de un asunto o materia de conocimiento"* (.ibid).

En la simulación de sistemas, el trabajo de los pioneros ha hecho coincidir esas dos definiciones, de manera que en la *teoría de simulación* se encuentra una explicación general de lo que es un sistema, sus componentes y sus reglas de cambio, planteados como una colección de proposiciones matemáticas formales.

El objetivo de Zeigler y los otros al plantear su formalización, además de proveer la explicación que se espera de una teoría, es proveer a los desarrolladores de **simuladores** de una especificación independiente de la plataforma computacional seleccionada para la implementación.

Razones para una nueva teoría

La nueva teoría pretende servir como especificación formal de una plataforma de simulación de sistemas multi-agentes. En el proyecto GALATEA, estamos extendiendo un lenguaje de simulación ya maduro: El GLIDER, con las abstracciones necesarias para permitir a los modelistas representar sistemas con entidades autónomas (los agentes) que perciben y actúan sobre su ambiente.

En GLIDER un sistema es concebido como una colección estructurada de objetos que intercambian mensajes. Ese intercambio y procesamiento de mensajes está asociado a la ocurrencia de eventos.

En GLIDER, modelar un sistema es describir una **red** de nodos, cada uno con una descripción procedimental de su conducta y del cómo, cuando y con cuáles otros nodos intercambiará mensajes.

Uno de los objetivos fundamentales de nuestro trabajo es completar el enriquecimiento de la sintaxis y la semántica GLIDER para permitir la descripción de agentes y de sistemas multi-agentes.

Los agentes representan, en el modelo de simulación, a aquellas entidades en el sistema modelado que pueden percibir su ambiente, tienen sus propias metas y creencias y actúan, siguiendo esas creencias, para alcanzar esas metas, posiblemente cambiando el ambiente durante ese proceso.

Enriquecer a GLIDER de esa manera requiere más que un conjunto adicional, *ad hoc*, de constructos lingüísticos. Hemos extendido la teoría de simulación para explicar la conducta de esos objetos especializados: los agentes, basándonos en las formalizaciones de la conducta de agentes de los trabajos en Inteligencia Artificial.

Nuestro objetivo final es disponer de una *familia* de lenguajes, apoyada por una única plataforma de computación, que nos permita modelar y simular sistemas multi-agentes. Disponer de lenguajes de diversa naturaleza[a] es, una contribución muy importante a un enfoque *interdisciplinario* para modelado y simulación de sistemas.

[a]desde los lenguajes tradicionales de corte procedimental hasta lenguajes declarativos basados en lógica, pasando por los lenguajes orientados a una red de nodos y los orientados a objetos

Una teoría de influencias y reacciones

La razón para escoger la teoría de simulación que presentan Ferber y Müller es que ellos ofrecen una manera de conectar la dinámica interna de cada agente, con la dinámica del universo en el que esos agentes se desenvuelven. Esa manera tiene que ver con una extensión a la forma habitual de describir sistemas dinámicos.

Ferber y Müller describen un sistema dinámico usando una especie de estado global enriquecido, con el cual el universo es descrito en término de dos tipos de componentes del estado global: Las *influencias* y el *estado del ambiente*.

Las influencias representan *"las acciones propias del agente, con las que intenta modificar el curso de los eventos que ocurrirán"* (.ibid). A través de las influencias los agentes intentan alterar el ambiente y en consecuencia alteran su propia historia.

Por otro lado, el estado del ambiente esta representado por las tradicionales variables de estado del sistema.

Formalmente, Si definimos Γ como el conjunto de las posibles influencias que postulan los agentes, Σ como el conjunto de los posibles estados del ambiente, Op como el conjunto de los posibles operadores que pueden generar influencias y Λ como el conjunto de las posibles leyes del sistema, tales que:

$$\sigma \in \Sigma \qquad \sigma : \text{Estado actual del ambiente} \tag{1}$$

$$\gamma \in \Gamma \qquad \gamma : \text{Influencias postuladas actualmente} \tag{2}$$

$$\lambda \in \Lambda \qquad \lambda : \text{Ley} \tag{3}$$

$$op \in Op \qquad op : \text{Operador} \tag{4}$$

el intento colectivo de los agente por influenciar al ambiente se define como:

$$Acción \quad : \quad Op \times \Sigma \times \Gamma \rightarrow \Gamma \tag{5}$$

$$\gamma' \quad = \quad Acción(op, \sigma, \gamma) \tag{6}$$

y la reacción del ambiente ante estas influencias se define como:

$$Reacción \quad : \quad \Lambda \times \Sigma \times \Gamma \rightarrow \Sigma \tag{7}$$

$$\sigma' \quad = \quad Reacción(\lambda, \sigma, \gamma) \tag{8}$$

Usando estas definiciones es posible describir la dinámica del sistema como una tupla de la forma

$$< \Sigma, \Gamma, Op, \Lambda, Acción, Reacción >$$

que admite, incluso, que los agentes ejecuten acciones simultáneas.

La evolución del sistema se define como una función infinita recursiva tal que

$$evolución \quad : \quad \Sigma \times \Gamma \rightarrow \tau \tag{9}$$

$$evolución(\sigma, \gamma) \quad = \quad evolución(paso(\sigma, \gamma)) \tag{10}$$

donde τ es una función que no retorna valor o que retorna valores en un dominio de errores.

con *paso*() definida así:

$$paso : \Sigma \times \Gamma \rightarrow \Sigma \times \Gamma \tag{11}$$

reúne todas las influencias producidas por los agentes, la cual viene determinada por la conducta del agente mismo, y la dinámica del ambiente.

Esta función indica además como reacciona el mundo de acuerdo a ciertas leyes. La especificación de esta función depende del tipo de agentes involucrados en el sistema multi-agente que se describa, por lo cual haremos ahora un paréntesis en el que explicaremos una jerarquía de agentes basada en la conducta y luego continuaremos la descripción de la teoría.

Una jerarquía de arquitecturas de agente

Como dijimos antes, una teoría de sistemas multi-agentes explica lo es que un agente. Un agente es una entidad que despliega una conducta con algún efecto observable sobre su entorno. La experiencia indica, sin embargo, que se deben identificar distintos tipos de agentes para distinguir entre las diversas formas de desplegar las conductas.

P_a**:** Descripciones parciales del estado del sistema que representan todo aquello que es percibido por el agente. $Pa \in \Sigma$.

S_a**:** Conjunto de estados internos del agente.

K_a**:** Conjunto de posibles almacenes del conocimiento acumulado por el agente. Cada uno de estos almacenes contiene la estructura que permite representar percepciones, metas, creencias, preferencias y prioridades.

$percibe_a()$: Función de percepción del agente.

$recuerda_a()$: Función de memorización del agente, actualiza las percepciones del agente incluyéndolas como parte del conocimiento del agente.

Acción: Se refiere a la función que permite postular influencias en el ambiente. La forma de escoger la acción a ejecutar depende del tipo de agente. Asi que tenemos:

$actua_a()$: Asocia directamente percepciones con acciones.

$decide_a()$: Se selecciona la acción que debe ejecutar de acuerdo al estado interno y las percepciones.

$razona_a()$: Se razona sobre la base del conocimiento acumulado por el agente antes de seleccionar la acción.

Consideren ahora estas abstracciones adicionales:

R_a**:** conjunto de valores posible para tiempo de razonamiento.

$planifica_a()$**:** el agente razona por un tiempo determinado y determina el conjunto de acciones (plan) a seguir.

Jerarquía de Ferber y Müller extendida por Dávila, Tucci y Uzcátegui

REACTIVO Y RACIONAL:

Percibe, registra, razona acotadamente y actúa

$$\langle P_a, S_a, K_a, R_a, percibe_a, recuerda_a, planifica_a \rangle$$

CONOCEDOR Y RACIONAL:

Percibe, registra, razona y actúa

$$\langle P_a, S_a, K_a, percibe_a, recuerda_a, razona_a \rangle$$

HISTERÉTICO

Percibe, registra y actúa

$$\langle P_a, S_a, percibe_a, recuerda_a, decide_a \rangle$$

TROPÍSTICO

Percibe y actúa

$$\langle P_a, percibe_a, actua_a \rangle$$

OPERADOR O COMPONENTE

Actúa

$$\langle actua_a \rangle$$

Un agente reactivo y racional

En las jerarquías presentadas en las secciones anteriores, el agente racional aparece como opuesto al agente cuya conducta es producto de reflejos inmediatos. Las jerarquías parecen sugerir que hay un compromiso entre racionalidad y reactividad. En esta sección discutimos ambos conceptos y una propuesta para reconciliarlos en el diseño de un agente.

Para ello, necesitas re-definir las ecuaciones (6) y (8) como:

$$\sigma' = Reacción(\lambda, \sigma, \gamma) \tag{12}$$

$$\gamma' = Acción(op, \sigma', \gamma) \tag{13}$$

Tomando la vía matemática, decimos que el agente está caracterizado por una función de conducta, que como mencionamos anteriormente debe estar incluida en la definición de *paso*() (ec. 11):

$$conducta \quad : \quad \mathcal{T} \times R_a \times K_a \times \Gamma \rightarrow K_a \times \Gamma \tag{14}$$

$$< k'_a, g'_a, \gamma'_a > \quad = \quad conducta_a(t, r_a, k_a, g_a, \gamma) \tag{15}$$

con

$$k_a, g_a \in K_a, \qquad \gamma_a \in \gamma, \qquad r_a \in R_a$$

t: tiempo actual.

r_a: cantidad de tiempo para razonamiento del agente.

k_a: base de conocimientos del agente.

g_a: conjunto de metas del agente.

γ_a: conjunto de influencias que postula el agente.

donde $conducta_a()$ hace referencia a:

$$
\begin{aligned}
actualiza &: \mathcal{T} \times \Gamma \times K_a \rightarrow K_a && (16)\\
k'_a &= actualiza_a(t, percibe_a(\gamma), k_a) && (17)
\end{aligned}
$$

y

$$
\begin{aligned}
planifica &: \mathcal{T} \times R_a \times K_a \rightarrow \Gamma \times K_a && (18)\\
< \gamma'_a, g'_a > &= planifica_a(t, r_a, k'_a, g_a) && (19)
\end{aligned}
$$

La función $actualiza_a()$ describe como la base de conocimiento del agente, k_a, se actualiza con el registro de un conjunto de "perceptos" que el agente obtiene del entorno con la función $percibe_a()$, donde la representación de los perceptos podría ser

$$obs(p, t)$$

para indicar que el agente observa la propiedad p en el tiempo t, ó

$$ocurre(a, t)$$

para indicar que el agente observa ocurrir el evento a en t.

El sistema multi-agente con ese agente racional

En las secciones anteriores explicamos que todo sistema es descrito por una función que especifica su progreso a través del tiempo (ec. 9). La función *evolución*() para nuestro sistema multi-agentes con n agentes racionales puede describirse como:

$$evolución \quad : \quad S \times \mathcal{T} \times \Sigma \times \Gamma \to \tau \tag{20}$$

$$evolución(< s_1, s_2, \cdots, s_n >, t, \sigma, \gamma) \quad =$$

$$evolución(paso(< s_1, s_2, \cdots, s_n >, t, \sigma, \gamma)) \tag{21}$$

donde

$$s_a =< k_a, g_a > \tag{22}$$

describe el estado interno del agente a y puede obtenerse a partir de 15.

Desde luego, los detalles de cómo un estado global se trasforma en otro tomando en cuenta la evolución de los agentes, las influencias que estos postulan y la reacción del ambiente a dicha influencia, tienen que ser incluidos en la definición de *paso*(). Por tanto esta función se transforma en:

$$paso : S \times \mathcal{T} \times \Sigma \times \Gamma \rightarrow S \times \mathcal{T} \times \Sigma \times \Gamma$$

y puede ser representada como

$$<< s'_1, s'_2, \cdots, s'_n >, t', \sigma', \gamma' >= paso(< s_1, s_2, \cdots, s_n >, t, \sigma, \gamma) \tag{23}$$

la cual, a su vez, hace referencia a varias funciones, entre ellas a la función $conducta_a()$ de la ecuación (15) para obtener los s_a y los γ_a y la función $reacción()$ definida como

$$reacción : \Lambda \times \beta \times \mathcal{T} \times \Sigma \times \Gamma \rightarrow \Sigma \times \Gamma \tag{24}$$

$$< \sigma', \gamma' >= reacción(\Lambda, \beta, t, \sigma, \gamma \cup_a \gamma_a) \tag{25}$$

donde

Λ : descripción del sistema a través de las leyes de cambio.

β: estructura e información de soporte acerca del sistema.

γ_a : conjunto de influencias que postula el agente a.

Esta descripción matemática dice, en esencia, que el sistema evoluciona/progresa debido a dos causas generales:

a) por la respuesta del ambiente al estado actual y a las influencias de los agentes, procesadas en *reacción*() usando descripciones del cómo debe cambiar el sistema (Λ, β).

b) por el progreso de los agentes en la producción de las influencias a través de la función $conducta_a()$.

Actividad: Piense en un ejemplo. Imagine un sistema (sencillo) descrito por un conjunto de variables de estado y "habitado" por un grupo de agentes. Imagine ahora a cada agente descrito en los términos de la teoría (como alguna de las tuplas). Ahora, haga evolucionar el sistema por unos 5 pasos.

¿Estamos olvidando algo?

¿Está completa la teoría?

¿Ahora qué?