



Modelo POE en la simulación por computador de sistemas complejos

Jorge Eduardo Ortiz Triviño, Instructor Asociado, Departamento Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia.
E-mail: jorgeo@ingenieria.ingsala.unal.edu.co

RESUMEN

La ingeniería natural aventaja a la ingeniería humana en miles de años. Por ello, muchos investigadores que trabajan en ingeniería y, particularmente en ingeniería de sistemas, así lo han comprendido; en consecuencia se han inspirado en creaciones naturales para diseñar sistemas artificiales que se desenvuelvan con éxito en un entorno cambiante. Con este objetivo se ha aliado con otras ramas, tales como, la biología, la psicología, la ecología que le permitan diseñar sistemas adaptativos. La idea central es simular características de los seres vivos, tales como su capacidad de decisión y acoplamiento al entorno. Con este fin surgió el MODELO POE, que integra tres características biológicas interesantes: Filogenia (evolución), Ontogenia (diversidad y especialización), y Epigenia (aprendizaje). En este artículo se explica el surgimiento y la filosofía del MODELO POE y su aplicación directa en ciencias de la computación.

INTRODUCCIÓN

En el pensamiento moderno, se creía que las diferentes disciplinas del conocimiento y sus contenidos no tenían nada que ver unas con otras (no se complementaban para nada). Este pensamiento perduró muchos siglos, dan-

do origen a las ramas del conocimiento que se conocen. Pero, a comienzos del siglo XX, estudiosos de diversas disciplinas cambiaron este paradigma, creando así el llamado paradigma sistémico o del pensamiento complejo (2), dando origen a estudios interdisciplinarios (L. Von Bertalanffy, estudios de biología molecular a orgánica, 1928) y nace la Sociedad para el estudio de la Teoría General de Sistemas. Dicho pensamiento abrió nuevos campos de investigación y alianzas entre disciplinas que generalmente se creían antagonistas, tal es el caso de la Ingeniería y la Biología. Desde hace algún tiempo, la ingeniería ha descubierto en los seres vivos dos características muy importantes para imitar en los sistemas artificiales: la adaptación en un medio cambiante y la autonomía en sus decisiones (1). Los organismos vivos son sistemas complejos que exhiben una gama de características deseables en cualquier sistema, tales como evolución, adaptación y tolerancia ante fallas, que se ha probado se pueden utilizar como alternativa y/o complemento en metodologías tradicionales de la ingeniería (3).

Precisamente, lo que busca la BioInformática, una rama relativamente nueva de la ingeniería de sistemas, es explicarse cómo hace la naturaleza para diseñar el comportamiento de los

seres vivos frente a diversas situaciones que se le presentan en la vida cotidiana. La idea de los investigadores es utilizar esas inspiraciones biológicas en el diseño y la creación de nuevos sistemas artificiales estables y robustos.

Uno de los centros de investigación que más ha trabajado en este tipo de investigaciones es el Laboratorio de Sistemas Lógicos, de la Escuela Politécnica Federal de Lausanne, EPFL, en Suiza, el cual propuso un modelo de inspiración biológica basado en tres importantes características de la evolución y comportamiento de los seres vivos: la Filogénesis, la Ontogénesis y la Epigénesis o modelo POE.

CARACTERÍSTICAS A SIMULAR DE LOS SERES VIVOS

A continuación se explican brevemente los conceptos de filogenia, ontogenia, epigenia desde el punto de vista biológico y se incluye un comentario sobre su potencial aplicación en ciencias de la computación.

PHILOGENIA

El primer nivel de organización se refiere a una evolución temporal del programa genético o "filogénesis". La multiplicación de los organismos vivos está basada en la reproducción del pro-

grama, sujeto a un rango de error extremadamente bajo a nivel individual, así como a asegurar que la identidad del vástago permanezca prácticamente incambiable. La mutación (reproducción asexual) ó la mutación junto con la recombinación (reproducción sexual) dan origen a nuevos organismos. Los procesos filogenéticos son fundamentalmente No determinísticos (aleatorios). La mutación y la recombinación son fuentes de una mayor diversidad. Esta diversidad es indispensable para la sobrevivencia de las especies vivientes, para la continua adaptación a los cambios del entorno, y para la aparición de nuevas especies.

Siguiendo estos procesos, desde el punto de vista de ingeniería se ha trabajado en algoritmos genéticos, programación genética y programación evolutiva que permiten tener un grupo de posibles soluciones para un problema específico.

ONTOGENIA

Con la aparición de los organismos multicelulares, se observa un segundo nivel en la organización biológica. Luego de la división de la célula madre (cigoto), en cada célula nueva se encuentra una copia del genoma original, sigue una especialización de dichas células hijas en concordancia con sus circundantes. Esta última etapa es conocida como Diferenciación celular. La ontogenia es de esta forma el proceso de desarrollo de un organismo multicelular. Dicho proceso, es esencialmente determinístico: un error en una base simple en el genoma puede provocar una secuencia ontogenética la cual resultará en notables, posiblemente letales, malformaciones.

Siguiendo el ejemplo de la ontogénesis, en ingeniería, se busca diseñar sistemas artificiales cuyas células sean capaces, potencialmente, de realizar cualquier función, pero en el momento de trabajar cada una tenga una tarea definida.

De esta forma se logra que cuando una célula falle, la siguiente en orden sea capaz de tomar su lugar y así sucesivamente, con lo que se está consiguiendo que el sistema quede fuera de funcionamiento sólo por un corto tiempo (nanosegundos), y no definitivamente. No obstante, quedará un lugar vacante al final, por lo que se hace necesario tener células de repuesto. De acuerdo con algunos expertos, dicen que el necesitar células de repuesto puede inflar los costos de producción, pero se debe tener en cuenta que a la larga esto es una inversión, pues se garantiza que el sistema no se pierda irremediablemente (1,3). Esta clase de tecnología es ideal en sistemas de alto desempeño, como los procesadores, con millones de circuitos en sus chip's, o en naves que permanezcan en el espacio y a las cuales no se puede llegar inmediatamente para repararlas.

EPIGENESIS

El programa ontogenético se encuentra limitado por la capacidad de almacenamiento de información, por lo que la especificación completa del organismo es imposible. Un ejemplo conocido es el del cerebro humano, el cual posee algo más de 10^{10} neuronas y 10^{14} conexiones, un número demasiado grande para ser completamente especificado en el genoma, escrito con base en el alfabeto de la vida compuesto por cuatro caracteres (A,T,G,C), de longitud aproximada de 3×10^9 . Por lo tanto, más que alcanzar un cierto nivel de complejidad, debe emerger un proceso diferente que permita al individuo integrar la gran cantidad de interacciones con el mundo exterior en tiempo aproximadamente real. Estos procesos son conocidos como Epigénesis, y principalmente incluyen los sistemas nervioso, inmunológico y endocrino. Estos sistemas están caracterizados por la posesión de una estructura básica que se

encuentra completamente definida en el genoma (la parte innata), la cual está sujeta a modificaciones a través de interacciones del individuo con el entorno en su tiempo de vida (la parte adquirida). Los procesos epigenéticos pueden agruparse libremente bajo la cabecera de sistemas de aprendizaje.

Con la epigénesis, la idea es diseñar sistemas capaces de aprender. En el hombre este proceso se realiza a través del cerebro y el sistema nervioso central; siguiendo este ejemplo se han creado sistemas de redes neuronales, las cuales simulan la forma como trabaja el cerebro humano.

EL MODELO POE EN COMPUTACIÓN BIOINSPIRADA

Análogamente a la naturaleza, el espacio de los sistemas artificiales bio inspirados puede dividirse con base en esas tres características: filogénesis, ontogénesis, epigénesis; dando origen al modelo POE, introducido por Sipper at Al. El modelo puede ser representado por un sistema de coordenadas cartesianas en el cual la distinción entre los ejes no es muy clara, en la naturaleza no se diferencian, realmente las definiciones mismas están sujetas a discusión.

En síntesis, Sipper at Al define sobre cada uno de los ejes el marco del modelo POE como sigue: el eje filogenético envuelve la evolución, el eje ontogenético envuelve el crecimiento de un individuo sencillo desde el propio material genético, esencialmente sin las interacciones con el entorno, y el eje epigenético hace referencia a la inteligencia y el aprendizaje a través de las interacciones con el entorno que tienen lugar después de la formación del individuo. Como ejemplo, considérense los siguientes tres paradigmas; cuyas implementaciones en sistemas simulados pueden ubicarse a lo largo de

los ejes POE:

(P) algoritmos evolutivos (algoritmos genéticos) son la contraparte artificial de la filogenia natural,

(O) autómatas multicelulares están basados en el concepto de ontogenia, donde una sola célula madre da lugar, a través de múltiples divisiones, a un organismo multicelular, y

(E) redes neuronales artificiales incluyen los procesos epigenéticos, donde los sistemas sinápticos importantes y tal vez las estructuras topológicas cambian a través de las interacciones con el entorno. En los dominios colectivamente referidos como "soft computing", a menudo envuelven la solución de problemas definidos acoplados con la necesidad de adaptaciones continuas o evolución, los paradigmas anteriores entregan resultados imprevistos, frecuentemente complementan los métodos tradicionales (7).

Sipper at Al examina sistemas de hardware bio inspirado en el marco POE, sus logros pueden compendiarse así:

1. Presentan un resumen de los estudios actuales,
2. Demuestran que el modelo POE

puede usarse para clasificar sistemas bio inspirados y,

3. Identifican posibles direcciones para estudios futuros, derivados de una perspectiva POE.

Sipper at Al describe cada eje y proveen ejemplos de sistemas situados a lo largo de ellos. Una extensión natural que sugiere el mismo es la combinación de dos, y últimamente los tres ejes, en orden para lograr novedades en sistemas artificiales bio inspirados.

PERSPECTIVAS Y CONCLUSIONES

Por lo general, siempre se ha creído que la biología y la ingeniería son ciencias que no se complementan para nada. Pero en realidad esto no es así. Desde hace algún tiempo la ingeniería ha descubierto en los seres vivos dos aspectos muy importantes para simular en los sistemas artificiales: la adaptación en un medio cambiante y la autonomía en sus decisiones.

Por medio de los denominados modelos POE, que integran tres importantes características de los seres vivos: filogenia, ontogenia y epigenia, se ha logrado simular importantes aspectos de los organismos vivientes, adaptándolos

a sistemas artificiales. Para ello se han desarrollado algoritmos genéticos, autómatas multicelulares, redes neuronales y programación evolutiva.

Desde el punto de vista tecnológico algunos trabajos actuales en el dominio de sistemas bio inspirados están basados en los así llamados circuitos programables. Un circuito integrado se llama programable cuando el usuario puede adaptarlo por programación a una función particular. Tales circuitos han recibido un incremento de atención en años recientes, con la última adición a la familia de procesadores reconfigurables, comienza el así llamado Arreglo de compuertas programables en el campo, FPGA.

Mirando hacia el futuro, puede imaginarse escalas de sistemas muy (bioware), los cuales serán dotados con capacidades evolutivas, regenerativas, y de aprendizaje (3). Así mismo, los simuladores (de realidad virtual/vida artificial) tienden cada día más a presentar ese esquema propuesto en el modelo POE. En particular, pueden pensarse, y de hecho se están construyendo en la Universidad Nacional, simuladores en distintas áreas (como medicina) que de una u otra

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **AGENCIA AUPEC**, "Alianza entre la Ingeniería y la Biología", <http://aupec.univalle.edu.co/informes/marzo98/poesia.html>, 06-03-98.
2. **E. Morín**, "introducción al pensamiento complejo", 1986
3. **M. Sipper, E. Sánchez, D. Mange, M. Tomassini, A. Pérez-Urbe, and A. Stauffer**, "The POE Model of Bio-Inspired Hardware Systems", <http://islwww.epfl.ch/~moshes/poe.html>
4. **Bunge, M.** "Method, Model and Matter", Reidel, Dordrecht, 1973
5. **Aracil J.**, "Notas sobre el significado de los Modelos Informáticos de Simulación", en Nuevas meditaciones sobre la Técnica, Escuela Superior del ingeniero.
6. Contacto: Investigador Carlos Andrés Peña, Email: capenha@maxwell.univalle.edu.co
7. **M. Sipper, E. Sánchez, D. Mange, M. Tomassini, A. Pérez-Urbe, and A. Stauffer**, "A Phylogenetic, Ontogenetic, and Epigenetic View of Bio-Inspired Hardware Systems", IEEE, <http://islwww.epfl.ch/~moshes/poe.html>