



Herramientas Bio-inspiradas en ingeniería y seres vivos

Presentado en el IX Congreso de Ciencias Médicas y Especialidades Clínicas

José Jesús Martínez Páez josej@ingenieria.ingsala.unal.edu.co, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia

RESUMEN

Se presentan las características de los seres vivos con sus definiciones, parámetros ideales para guiar al ingeniero en el diseño y producción de bienes. Se plantea el modelo POE como un sistema cartesiano de tres ejes donde se desarrolla la vida en sus niveles: filogenia, ontogenia y epigenesis. Luego se toma el mismo modelo pero con las herramientas bio-inspiradas que los representan, para llegar a la "Vida Artificial". Posteriormente se entra a mirar el AC de Langton. Por último se presentan las conclusiones que ligan los seres vivos con las herramientas bioinspiradas.

INTRODUCCIÓN

Se presenta un esbozo de las herramientas computacionales basadas en el estudio de los seres vivos, sus características, tendencias y posibilidades en el desarrollo de productos de ingeniería.

Por otra parte, se pretende hacer un acercamiento a la explicación de la vida, a partir de conceptos de ingeniería, es decir con una concepción pragmática y materialista, para ir aclarando su complejidad.

Características de la Vida

La ingeniería ha comenzado a estudiar los seres vivos, pues sus características son las propiedades ideales con que se debiera

dotar cualquier dispositivo o sistema artificial. Características como:

- Adaptabilidad
- Robustez
- Tolerancia a fallas
- No Linealidad

Adaptabilidad

Capacidad de "aprendizaje" de un sistema para mantenerse operando ante los cambios ambientales

Robustez

Es la capacidad de un sistema para que continúe operando, aunque sea en su nivel mínimo, ante cambios drásticos del ambiente.

Tolerancia a fallas

Es la capacidad de un sistema para que, aunque tenga componentes dañadas, continúe operando con un nivel de servicio alto.

No Linealidad

La gran mayoría de los modelos de ingeniería son lineales. A mayor excitación, mayor respuesta.

En los seres vivos, se presenta la aparición de comportamientos emergentes,

a partir de componentes que no presentan tales características.

Auto reparación

Los seres vivos son sistemas autopoieticos, sus componentes son recurrentes, forman componentes.

MODELO POE

En la vida que conocemos, desde su comienzo, se pueden distinguir tres niveles de organización:

- Filogénesis
- Ontogenia
- Epigénesis

Modelo POE

En este modelo se puede observar que cada nivel de organización es un eje en

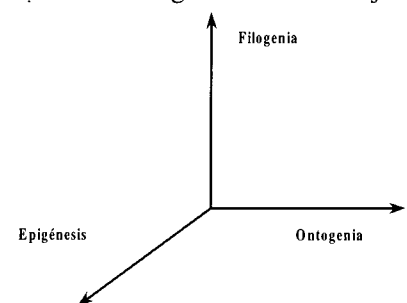


Figura 1. Modelo POE.

un espacio cartesiano 3D. Los seres vivos se encuentran definidos en este espacio. P de Filogenia, O de Ontogenia y E de Epigenesis.

Filogenia

Tiene que ver con la obtención de un programa genético o genoma, a partir del proceso evolutivo. La multiplicación de los organismos vivos se basa en la obtención de un programa, a partir de la combinación de información de unos padres seleccionados, sujeta en la transferencia, a una tasa extremadamente baja de error. La introducción de errores, en la transferencia de información de una generación a otra, en general conlleva errores en el programa que impiden su propagación a las generaciones siguientes. En casos muy especiales es posible que el error implique una mejora de ese programa con respecto a los demás, dándole mayor posibilidad de que su propagación a las generaciones siguientes sea más alta. Es un mecanismo fundamentalmente Probabilístico.

Ontogenia

Corresponde a las divisiones sucesivas de la célula madre, el cigoto, a partir del programa genético. Cada nueva célula formada incluye el genoma o programa original, siguiendo una especialización de las células hijas de acuerdo a su posición dentro del conjunto.

- Es el proceso de desarrollo del organismo.
- Es un proceso esencialmente determinístico.

Epigénesis

El proceso ontogénico permite el desarrollo del organismo, limitado por la cantidad de información que se puede almacenar en la longitud del genoma cuyo alfabeto es de 4 caracteres.

Para el ser humano, el genoma tiene una longitud aproximada de 3×10^9 nucleótidos. En dicha cantidad de almacenamiento, es imposible almacenar cierto nivel de complejidad, que

le permita a un ser interactuar con el mundo.

Deben emerger procesos que le permitan a un individuo integrar una vasta cantidad de interacciones con el mundo real. Este proceso incluye:

- El sistema Nervioso
- El sistema Inmunológico
- El sistema Endocrino

Herramientas Bioinspiradas

A partir del modelo POE y de sus definiciones anteriores, se han desarrollado algunas herramientas computacionales que, en forma muy simplificada, simulan los niveles de la vida o ejes del modelo POE. También nos permite observar que cada eje tiene un manejo de información diferente. El eje filogenético hace referencia a la transmisión de información de una generación a otra, con una estructura fija para cada especie, información que se ha ido filtrando para, en un gran número de años, producir otras especies. El eje ontogenético que tiene que ver con la interpretación de la información, del programa genético o genoma, por parte de cada una de las células que se van produciendo, en forma casi determinística, para la formación de un nuevo ser. El eje epigenético permite ampliar la información del individuo para su interacción apropiada con el mundo. En otras palabras la vida es un manejo de información en los diferentes niveles.

Eje Filogenético

La idea de aplicar el principio biológico de evolución natural a sistemas artificiales, se introdujo hace más de 30 años, pero ha tenido un crecimiento impresionante hace pocos años.

Son varios los desarrollos sobre este eje, se conocen como Estrategias Evolutivas, la herramienta más común es el Algoritmo Genético, AG. *Algoritmo Genético*

Comenzar

- Genera población
- $i \leftarrow 1$
- Evalúa población
- Mientras ($i < M$)
- Selecciona
- Combina
- Muta
- Evalúa
- $i \leftarrow i+1$
- Fin - M

Terminar

Eje Ontogenético

Este proceso se puede resumir como crecimiento o construcción, con base en reglas determinísticas. Una herramienta son los Autómatas Celulares, AC.

NO	N	NE
O	C	E
O	S	SE

Figura 2. Autómata Celular con vecindad de MOORE, 9 vecinos.

El estado de la celda C en el momento $t + 1$ depende del estado de sí misma y de sus vecinas en el momento t .

- Esto se conoce como regla de Transición, y no cambia.
- Es un proceso determinístico.

Eje Epigenético

Este proceso se puede resumir como de "aprendizaje", a través de interacciones ambientales, durante y después de la formación del individuo. Una herramienta muy estudiada son las Redes Neuronales Artificiales, RNA.

Modelo POE "artificial"

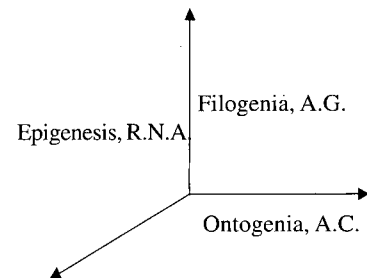


Figura 3. Modelo POE, con las herramientas bioinspiradas correspondientes.

Vida Artificial

A partir del modelo POE, con las herramientas de simulación artificial, se puede pensar en la creación de sistemas artificiales, dotados de "Vida Artificial", que se pueden crear dentro del espacio tridimensional del POE.

Aparece entonces el nuevo paradigma de la Ingeniería: La "Vida Artificial" VA, que busca, crear servicios y productos que tengan un mínimo de las características de los sistemas vivos.

Entre los primeros desarrollos de VA se encontró que la característica más importante de los seres vivos era que podían reproducirse. Entonces se inició la búsqueda de un ente que tuviera esta capacidad. Después de muchos años Chris Langton encontró un AC., conocido como la Q de Langton, que tiene la característica de auto-reproducción.

Autómata Auto-Reproductor de Langton

En las imágenes de la figura 4, donde se tiene una secuencia de corrida del AC de Langton, se puede observar su reproducción. A partir de la Q original, se comienza a desarrollar una nueva Q, como se ve en la última imagen. En este caso podemos suponer que el color blanco, adoptado por algunos de los autómatas, corresponde a la "piel" de los "seres" Q. El "genoma", corresponde a los estados que van dentro de la piel. En la medida en que se va efectuando la reproducción, la información del genoma, se va enviando al nuevo ser.

Recordemos que cada autómata sigue las mismas reglas, sigue el mismo programa, su estado en el momento $t + 1$ depende de su estado en t y del estado de sus autómatas vecinos en el momento t . Aventurándonos un poco en nuestro análisis, podríamos imaginarnos los seres vivos como autómatas, cada célula sigue el mismo programa, el genoma, y cada célula tiene su propio estado, la diferenciación celular, depende entonces del estado de las células

vecinas. Aunque el número de reglas es muy grande, el genoma, cada célula sigue solo la regla, translación y traducción del DNA, que le corresponde dependiendo de su estado y el de sus células vecinas.

CONCLUSIONES

La vida es información. Información, que se transmite de una generación a otra, el programa genético e información que se interpreta, en el caso de la vida biológica, por procesos de translación y traducción.

A través de errores en la transmisión que dependen del medio ambiente, el genoma se ha ido volviendo más complejo. El nivel máximo de complejidad somos nosotros.

Cada célula es un autómata tiene todo el programa genético, pero su comportamiento, es decir, la regla que sigue, depende de su estado y del estado de sus células vecinas.

Los planteamientos anteriores nos llevan a una visión no común de los seres vivos, a otra forma de vernos, y a encontrar espas-

mos de trabajo comunes entre la medicina y la ingeniería.

Son muchas las implicaciones de lo esbozado aquí, de ahí las grandes posibilidades de investigación y desarrollo, pues con base en la simulación computacional podemos asumir estos retos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Adami, C.** Introduction to Artificial Life. Springer-Verlag, TELOS. 1998
2. **Franco O., Escallon S.** Estudio Básico de Vida Artificial, Proyecto de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional, Bogotá. 1995
3. **Martinez, J.,** Vida Artificial el Nuevo Paradigma, Ingeniería e Investigación, pags. 1998; 23-24, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional, Bogotá.
4. **Toffoli, T., Margolus, N.,** Cellular Automata Machines: a new environment for modelling., MIT Press. 1987
5. **Eduardo Sánchez, Daniel Mange, Moshe Sipper, Marco Tomassini, et al.** and Epigenesis: Three Sources of Biological Inspiration for Softening Hardwarw, EVOLVABLE SYSTEMS FROM BIOLOGY TO HARDWARE, 1996; pag 34-50.

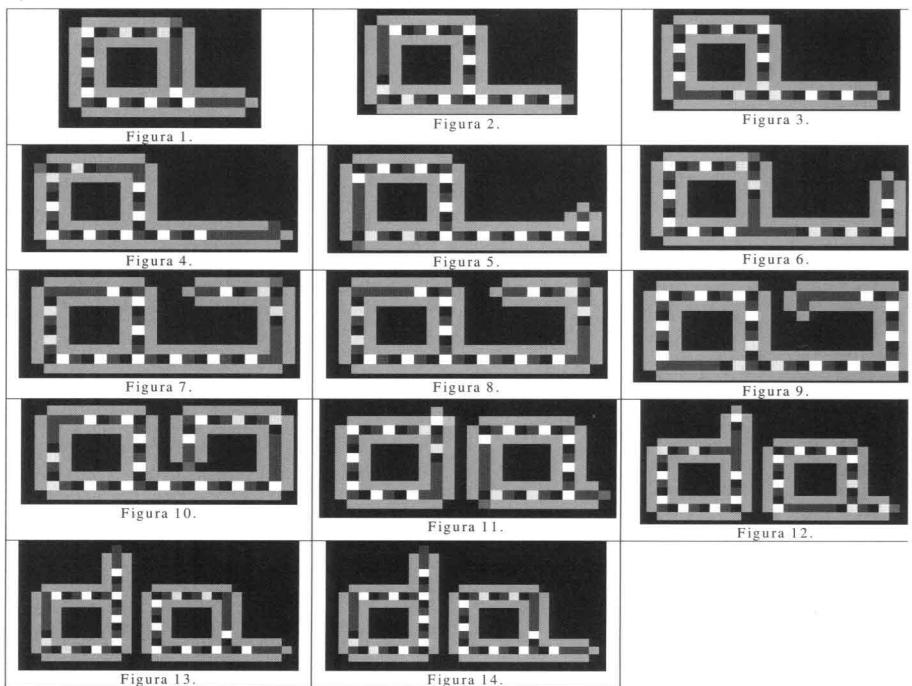


Figura 4. Secuencia de auto-reproducción del A.C. de Langton. Corrido en Autodesk Cellular Automata Laboratory, 1989, Autodesk, Inc.