

Simulación de poblaciones biológicas a través de algoritmos genéticos

John Ruminot J. - Ricardo Contreras A.

Depto. Ing. Informática y Cs. de la Computación
Universidad de Concepción, Chile
e-mail: rcontrer@inf.udec.cl

Resumen

Este trabajo presenta una experiencia que aplica algoritmos genéticos a un ecosistema, con la intención de caracterizar los parámetros que inciden en comportamientos específicos. En este caso particular, se ha escogido como paradigma modelar un sistema acuático léntico que considera tres tipos de agentes, los cuales cubren toda la cadena trófica del sistema. A partir de un conjunto de pruebas, se analizan las condiciones en que el sistema modelado alcanza un equilibrio. Este es un sistema en el cual pequeñas variaciones en las condiciones del entorno afectan de manera importante la evolución de las especies involucradas en la experiencia.

Palabras Clave. Algoritmos genéticos, Ecosistemas, Cadena trófica.

1. Introducción.

Los ecosistemas naturales son considerados sistemas de alta complejidad, sobre los que no resulta fácil aplicar técnicas tradicionales para el modelamiento y simulación de los mismos. Una perspectiva más sintética y simplificada para abordar estos problemas se obtiene a través del uso de estrategias evolutivas.

En particular, el uso de algoritmos genéticos, con base en la concepción evolutiva de Darwin, se presenta como una metáfora adecuada, en cuanto se dispone de operadores que guardan gran similitud con la selección natural presente en los ecosistemas reales.

En este trabajo, se usa como inspiración para el modelo evolutivo un sistema acuático léntico, que es definido por medio de un modelo matemático de alto nivel de abstracción [2]. A diferencia de otras experiencias similares [3], se consideran aquí variables específicas del entorno del ecosistema que varían en función de las estaciones del año, y que afectan las actividades de predación, desplazamiento y reproducción. El prototipo desarrollado es altamente parametrizable, y forma parte de una plataforma en desarrollo para el análisis de sistemas complejos.

2. El problema.

Los Ecosistemas Acuático Lénticos (EAL), describen a todos los ecosistemas de aguas estacionarias como lagos, lagunas y embalses [4].

Los diversos factores que influyen en el accionar de los habitantes de un ecosistema constituyen lo que se denomina el *entorno*. En este caso, el entorno cuenta con variables de tipo abióticas, que pueden afectar a la población considerada, como son por ejemplo la cantidad de nutrientes, cantidad de luz, profundidad del lago, temperatura del agua, cantidad de oxígeno disuelto.

Para comprender mejor la influencia del entorno se analizan las variables abióticas a través de la zonificación física que se produce en los lagos, la cual consiste en una división del lago en zonas debido a la estratificación del agua en función de las diferentes densidades que presenta. Cada una de estas zonas atraviesa el lago en forma horizontal dividiéndolo en tres sectores, denominados *Epilimnion*, *Metolimnion* e *Hipolimnion*.

Las variables del entorno son afectadas por las estaciones del año; por ejemplo la temperatura del agua es más baja en invierno que en verano y la cantidad de oxígeno disuelto en la zona del Hipolimnion es más baja en verano que en primavera.

Los componentes bióticos de un EAL se pueden clasificar en dos grandes grupos: Productores y Consumidores. Los productores son aquellos que generan su propio alimento, a través de fotosíntesis y nutrientes; su reproducción es principalmente asexual y su respiración de forma celular. Dentro de este grupo se encuentran plantas vasculares y fitoplancton entre otros. Los consumidores a su vez son aquellos que no generan su propio alimento y en consecuencia se alimentan de otras especies (por ejemplo de los productores). Se reproducen sexualmente. Se subdividen en consumidores primarios, que son los que se alimentan directamente de los productores, y consumidores secundarios, que se alimentan de consumidores primarios. Dentro de estos se encuentran peces piscívoros y planctívoros, zooplancton, invertebrados. Este trabajo ilustra la relación de predación que se esquematiza a través de una pirámide trófica, en donde los productores (el fitoplancton) son los agentes de menor tamaño, aunque con una alta tasa de renovación, y ocupan la base de la pirámide; mientras que los consumidores zooplanctónicos son más grandes y su tasa de renovación es más lenta, ocupando la zona intermedia de la pirámide. Los consumidores secundarios (peces) ocupan la zona superior de la pirámide y se caracterizan por una tasa de renovación baja en comparación con las otras especies. En la relación de predación intervienen dos componentes: el predador y la presa. La relación entre estos componentes se muestra en la tabla siguiente:

Nivel	Predador	Presa
Segundo nivel	Pez	Zooplancton
Primer nivel	Zooplancton	Fitoplancton

Tabla 1. Relación predador - presa

Los peces son los predadores tope, pero el zooplancton puede estar en las dos categorías, dependiendo del nivel trófico que se considere [1]. Dentro del ciclo de predación se distinguen las siguientes etapas: Localización, Persecución, Ataque y Retención de la presa; aunque en el primer nivel no existen Persecución ni Ataque, debido a que

el fitoplancton no se desplaza. Para cada una de las etapas se han considerado factores que influyen en el éxito o fracaso de la misma, los que se mencionan a continuación:

Localización:

- Capacidad de visión
- Nivel de luz
- Tamaño de la presa
- Color de la presa
- Movimientos de la presa

Persecución:

- Rapidez de la presa
- Rapidez del predador

Ataque:

- Temperatura
- Tamaño predador

Retención:

- Tamaño de la presa
- Tamaño del predador

La predación considera el *fitness* del predador, el *fitness* de la presa y el efecto del medioambiente (EMA), lo que se esquematiza simplifcadamente como:

$$\text{Predación} = \text{Bin} (| \text{Fitness}(\text{predador}) - \text{Fitness}(\text{presa}) | + \text{EMA})$$

en que *Bin* es una variable que asume los valores uno o cero para indicar que la predación se hace efectiva o no se efectúa, respectivamente.

Formulación del Problema

El modelo que representa las características esenciales del ecosistema considera la definición del álgebra de EAL:

$$EAL = (N, \Gamma, R)$$

con $N = \{N_1, N_2\}$, elementos del dominio, y

$N_1 = \{P, Z, F\}$, esto es, N_1 incorpora los elementos vivientes del lago; P representa los peces, Z representa al zooplancton y F al fitoplancton. P , Z y F son conjuntos de agentes mutuamente disjuntos.

$N_2 = \{h_{0,0}, h_{0,1}, \dots, h_{m,n}\}$, esto es, N_2 incorpora los espacios (sitios) que conforman el lago, donde cada $h_{i,j}$ representa el lugar donde pueden estar los agentes del ecosistema.

A su vez, cada elemento de N_1 contiene una estructura E_1 , donde $E_1 = \{\alpha_1, v_1\}$; α_1 es el identificador del agente y v_1 es el conjunto de atributos del agente.

Para los peces y el zooplancton, v_1 está dado por:

$$v_1 = \{\text{sexo, color, tamaño, energía, visión, rapidez, fitness}\}$$

En cambio para el fitoplancton, la lista de atributos es más reducida:

$$v_1 = \{\text{tamaño, energía}\}$$

Por otra parte, los elementos de N_2 contienen una estructura E_2 , donde $E_2 = \{\alpha_2, v_2\}$; α_2 es el identificador del sitio $h_{i,j}$ y v_2 representa el conjunto de atributos del sitio, dado por:

$$v_2 = \{\text{temperatura, oxígeno disuelto, nutrientes, cantidad de agentes, EMA}\}$$

Relaciones del EAL.

El conjunto de relaciones está dado por:

$R = \{R_1, R_2\}$, donde R_1 es la relación de vecindad y R_2 es la relación de predación.

Considerando R_1 . Dos agentes de cualquier tipo son vecinos si están a una distancia máxima de ρ sitios en cualquier dirección.

$$R_1 \subseteq N_1 \times N_1 \text{ y}$$

$$a\theta h_{i1,j1} \wedge b\theta h_{i2,j2} \Rightarrow R_1(a, b)$$

es decir, a es vecino con b si se cumple que

$$\forall i_1, i_2, j_1, j_2; |i_1 - i_2| \leq \rho \wedge |j_1 - j_2| \leq \rho$$

La expresión θ representa una relación de pertenencia a un sitio, donde $a\theta h_{i,j}$ indica " a está en $h_{i,j}$ "

Considerando R_2 . Dos agentes tienen una relación predador-presa.

$$R_2 \subseteq N_1 \times N_1$$

$$\forall a, b; ((b \in P \wedge a \in Z) \vee (b \in Z \wedge a \in F)) \Rightarrow R_2(a, b)$$

es decir, a es presa del predador b .

Funciones del EAL.

Las funciones consideradas se agrupan en Γ .

$$\Gamma = \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6\}$$

Función de predación, f_1 .

$$f_1 : Y \times Y \rightarrow \{1, 0\}$$

$$Y \subseteq N_1 - \{F\}$$

Si se produce la predación retorna valor uno y cero en caso contrario.

Función de selección, f_2 .

$$f_2 : Y \times Y \times \dots \times Y \rightarrow Y$$

$$Y \subseteq N_1 - \{F\}$$

Función de reproducción sexuada, f_3 .

Esta función recibe como entrada dos agentes y retorna los agentes creados por la función.

$$f_3 : Y \times Y \rightarrow Y_1, Y_2$$

$$Y \subseteq N_1 - \{F\}$$

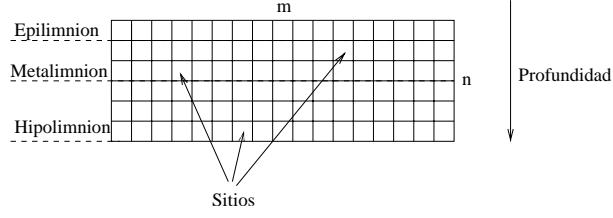


Figura 1: Estructura implementada para el ecosistema

Función de reproducción asexual, f_4 .

$$f_4 : N_2 \rightarrow F \times N_2$$

$$h_{i,j} \in N_2$$

Función de mutación, f_5 .

$$f_5 : N_1 \rightarrow N_1$$

$$f_5(x_1) = x'_1, \text{ con } x_1, x'_1 \in N_1$$

Función de desplazamiento, f_6 .

$$f_6 : Y \times h_{i,j} \rightarrow Y \times h'_{i,j}$$

3. Implementación.

En el prototipo implementado se plantea el ecosistema como una matriz de $m \times n$, restringiendo su dominio a dos dimensiones de la manera mostrada en la figura 1.

Cada uno de los sitios posee una identificación dentro del lago la cual indica su ubicación. Además cada sitio contiene variables internas de temperatura, oxígeno disuelto y nutrientes. A través de los sitios los agentes pueden desplazarse y realizar sus actividades por todo el lago. En este prototipo, se restringió la capacidad de los sitios de modo que puedan contener a lo más, en un momento específico, tres agentes.

Para simplificar la construcción del prototipo, la estructura empleada para los agentes es idéntica para todas las especies, aunque las

variables del cromosoma no se consideran válidas para el caso del fitoplancton. Son variables internas la energía, la edad y el fitness; y son variables del cromosoma el sexo, el tamaño, la rapidez, la visión y el color.

Finalmente, el prototipo opera bajo ambiente Windows, aunque ha sido diseñado para ser portado a ambiente Linux sin gran esfuerzo.

4. Resultados.

Se diseñó un conjunto de pruebas para determinar la validez del modelo evolutivo, restringiendo las diversas entradas del sistema a rangos de valores como se muestra en la siguiente tabla.

Variable de entrada	Valor inicial	Variación permitida
Porcentaje cruzamiento	90	20
Porcentaje mutación	1	1
Generación máxima	500	100
Población peces	50	40
Población zooplancton	60	40
Población fitoplancton	70	40
Tamaño del lago (sitios)	400	400

Tabla 2. Rangos de valores de prueba.

Algunas de las variables no fueron modificadas por el usuario durante las pruebas, aunque influyen de todas formas en la evolución. Esas variables son: relación de vecindad, energía inicial de cada agente y tiempo de vida de los agentes.

Los resultados más importantes dicen relación con la capacidad del sistema de evolucionar hacia condiciones de equilibrio, el cual es difícil de obtener. Aunque la supervivencia de todas las especies era un objetivo del sistema, esto se consiguió en aproximadamente la quinta parte de las experiencias sobrepasando las cien generaciones. Una razón para esto es indudablemente la característica no determinista del sistema, lo que evidentemente se refleja en su comportamiento. Así, ante condiciones idénticas de entrada para dos experiencias diferentes

no era extraño llegar en una de ellas a un estado de equilibrio mientras en la otra se llegaba al colapso de los peces.

En la mayoría de las experiencias, la especie que más dificultades tiene para mantenerse vigente es el zooplancton, lo que se debe principalmente a que ejerce dos roles dentro del sistema (predador y presa). Al extinguirse el zooplancton, el fitoplancton aumenta drásticamente y luego se produce la extinción de los peces por falta de alimento.

Las variables más sensibles para las experimentaciones realizadas fueron el porcentaje de cruzamiento, la vecindad, la energía inicial de los agentes, la edad máxima de vida de los agentes y el tamaño de la población. Esto es considerando tanto las variables que podía manipular el usuario como las variables internas del sistema. De todas formas, el equilibrio parece ser una característica más bien forzada, ya que la especie predadora tope (los peces) presiona sobre el equilibrio a través de un aumento importante de su población, con respecto a las otras especies, presión que lleva muchas veces al colapso de su propia especie.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos con el prototipo muestran la posibilidad de modelar de manera disciplinada ambientes con múltiples especies interactuantes, fundamentalmente para fines didácticos, donde se pueda experimentar con una amplia gama de variaciones de parámetros.

Una observación importante dice relación con la estructura del sistema en términos de distribución. Si la distribución no está dada por una forma piramidal, donde la mayor población se encuentra en los niveles más bajos de la pirámide y la menor población (la especie predadora) en los niveles superiores, el equilibrio es imposible.

Algunas mejoras que se harán al prototipo incluyen la consideración de porcentajes de reproducción independientes por especie, para aumentar los grados de libertad en el ajuste del modelo; los porcentajes de reproducción variables, en función de las poblaciones existentes como metáfora basada en la naturaleza es también una de las experiencias a desarrollar en el futuro. Si bien hay variables internas que no están

a criterio del usuario en esta versión, resultará necesario permitir su manipulación en versiones posteriores ya que se detectó que ejercen bastante influencia sobre las variables de entrada.

Finalmente, lo más relevante resulta ser la comprobación de que a partir de un modelo evolutivo que considera tres especies diferentes de un determinado ecosistema, las cuales satisfacen la condición de completar una cadena trófica, productor - consumidor, puede lograrse el equilibrio multipoblacional en un intervalo de tiempo acotado.

Agradecimientos

Este trabajo es parcialmente financiado por el Proyecto de Investigación DIUC-201.093.006-1.0.

Referencias

- [1] Kerfoot, C. W., Sih, A. *Predation: Direct and indirect impacts on aquatic Communities*. University Press, New England, 1987.
- [2] Ruminot, J. *Simulación de un Ecosistema Acuático Léntico a través de Algoritmos Genéticos*. Memoria de Título, Universidad de Concepción, 2002.
- [3] Salgado, S. *Simulación del Comportamiento Inteligente de Especies en un Ecosistema Simplificado*. Memoria de Título, Universidad de Concepción, 2000.
- [4] Vargas, J., Link, O. *Introducción a la Ciencia Ambiental para Ingeniería*. Primera Edición, Universidad de Concepción, 1996.