

Inteligencia Artificial in-vivo

Martín Gutiérrez

August 15, 2024

Nuevo tema (y área de investigación)

Ok jóvenes, ahora llegamos a lo que es el estado actual de la investigación en mi campo; la inteligencia artificial dentro de los bichos.

Como estoy consciente que no todos han tomado el curso de IA, voy a hacer un muy breve compendio de ese tema para entender hacia dónde apunta la línea de investigación que estoy armando.

Vale, definición de IA: Es la rama de la Ciencia de la Computación que persigue emular comportamientos o algoritmos "inteligentes" que llevaría a cabo un humano. Ello se basa en el aprendizaje. Una definición del aprendizaje podría ser la siguiente:

"A computer program is said to learn from experience E with respect to some task T and some performance measure P , if its performance on T , as measured by P , improves with experience E ." - Tom Mitchell (1998)

Por el momento, no se ha logrado una IA “global” (aunque se estátrabajando en ello y cada vez nos acercamos más). Sin embargo, hay elementos disgregados que se logran con bastante precisión y que resuelven los problemas mencionados a continuación:

- Clasificación
- Predicción
- Generación

Los algoritmos asociados funcionan bien, pero requieren de mucho procesamiento.

La IA ha logrado surgir hoy en día gracias a un aumento sustancial en las capacidades de cómputo. Este aumento incide en lo que es el cálculo tensorial. A su vez, el cálculo tensorial tiene un efecto importante en los modelos de redes neuronales artificiales (ANN).

Así entonces, se rescata un punto clave: la IA consume muchos recursos... (¿eso les hace pensar en algo que podamos hacer al respecto a la luz de la presente asignatura?)

Cambiar el paradigma...

Una opción es aprovechar el poder de procesamiento de los bichos y codificar un tipo distinto de IA. Uno de los papers del curso introduce un framework para diseño automatizado de simulaciones de algoritmos metaheurísticos (evolutivos) en colonias de bacterias.

En (buena) parte, al hacer este cambio de paradigma, estaríamos aportando un poder de computación muy grande a lo que es la IA. Además, se estaría dotando de autonomía y capacidad de tomar decisiones al código genético. En un tema importante, porque permite diseñar circuitos que controle el proceder de los organismos involucrados de una manera inteligente y autónoma.

Se ha empezado con esta área muy recientemente: los primeros atisbos que se conocen datan como de los años 2018-2019, y persiguen hacer implementaciones de algoritmos específicos de IA (como redes neuronales o algoritmos metaheurísticos) en bacterias/organismos.

Los organismos vivos presentan muchas ventajas como por ejemplo su replicación, comunicación y evolución. Es posible vincular estas ventajas a atributos que inciden en el fortalecimiento de la IA. Sin embargo, los organismos también presentan desventajas: velocidad y complejidad de los cálculos realizados.

Hay 3 artículos que tratan sobre esta línea (y en los que participo :))

Algoritmos Genéticos: A. Gargantilla Becerra, M. Gutiérrez and R. Lahoz-Beltrá (2021) A synthetic biology approach for the design of genetic algorithms with bacterial agents, International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems, 36:3, 275-292, DOI: 10.1080/17445760.2021.1879072.

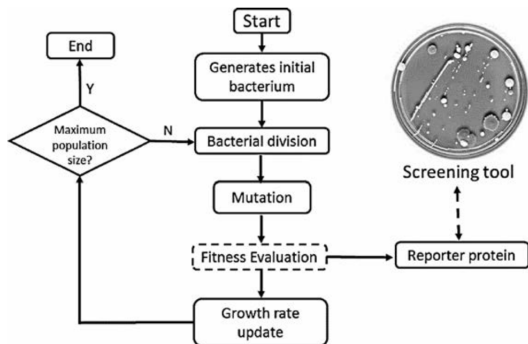
Framework Metaheurísticas: Ortiz Y, Carrión J, Lahoz-Beltrá R and Gutiérrez M (2021) A Framework for Implementing Metaheuristic Algorithms Using Intercellular Communication. Front. Bioeng. Biotechnol. 9:660148. doi: 10.3389/fbioe.2021.660148

Redes Neuronales: A. Gargantilla Becerra, M. Gutiérrez, R. Lahoz-Beltrá (2022) Computing within bacteria: Programming of bacterial behavior by means of a plasmid encoding a perceptron neural network, Biosystems, 213:104608, ISSN 0303-2647, doi: 10.1016/j.biosystems.2022.104608.

BAGA (I)

En el primer paper, se define una forma nueva de ejecutar algoritmos genéticos (es una forma de algoritmos evolutivos).

El algoritmo se denomina BAGA (Bacterial Agent Genetic Algorithm) y describe una forma novedosa de plasmar algoritmos genéticos basados en circuitos transcripcionales y dinámica de crecimiento de las bacterias.



BAGA (II)

El circuito para implementar BAGA tiene dos variantes:

Sin penalización:

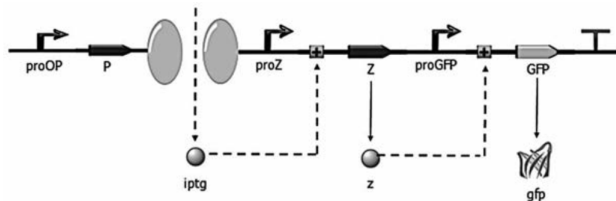







Figure 2. Fitness evaluation in standard BAGA algorithm. The P gene encodes a given optimization problem, e.g. finding the maximum of the function $y = f(x)$, being proOP the promoter. The concentration of IPTG entering the bacterium is the value of y , with x being the value/sequence coded in the plasmid. The IPTG value activates the 'operon Z' which calculates the fitness, value that is modelled by the synthesis of a protein z , i.e. $z = f(\text{IPTG})$. The fitness value is reported through the synthesis of a fluorescent protein, and in particular of GFP. The higher the fitness, the greater the GFP synthesis ( = promoter,  = gene,  = rbs,  = terminator,  = activator).

BAGA (III)

El circuito para implementar BAGA tiene dos variantes:

Con penalización:

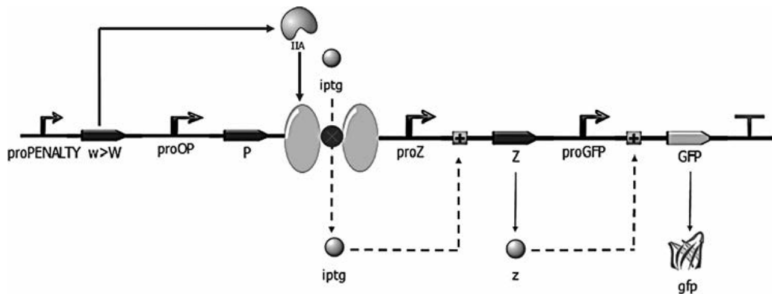
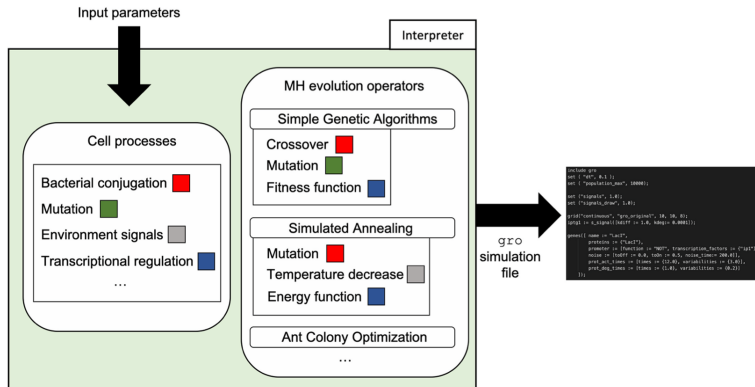


Figure 3. Fitness evaluation in BAGA algorithm with penalty. In the example the P gene encodes the 0/1 knapsack problem. The main stages are similar to those of the standard BAGA algorithm (Figure 2), except for the presence of an inhibitor, namely protein IIA. The protein is synthesised by a gene when $w > W$, being proPENALTY the promoter. If IIA is present then the entry of IPTG into the bacterium is blocked.

MH Framework (I)

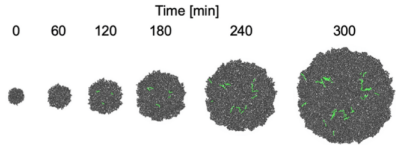
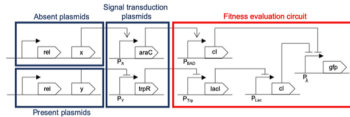
Otro paper que se publicó fue en la misma dirección que el de BAGA, pero generalizando los algoritmos metaheurísticos. En este segundo paper, se propone un framework para producir de forma automatizada simulaciones de la implementación de algún algoritmo en cuestión sobre colonias de bacterias y orientado a resolver algún problema definido.



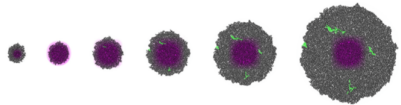
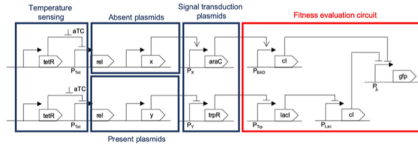
MH Framework (II)

El paper provee de la especificación de tres partes del circuito genético que se separan en plásmidos de entrada, plásmidos de transducción y función de evaluación. Estas partes componen lo que sería la definición tanto del problema como del algoritmo en términos de regulación transcripcional y de comunicación intercelular.

A

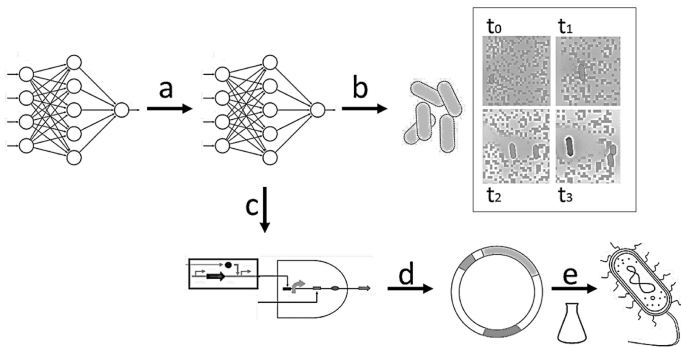


B



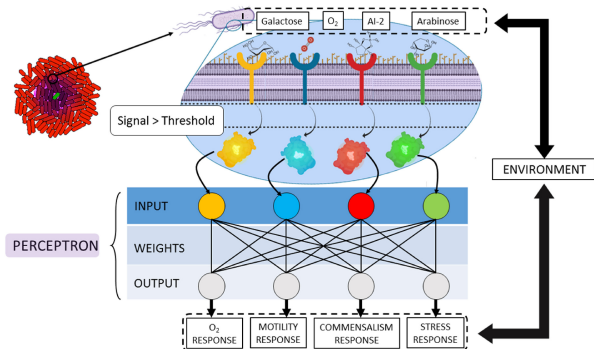
Implementación de ANN entrenada (I)

El tercer paper describe un proceso de ingeniería para la implementación de una red neuronal artificial (ANN) en bacterias. Para ello utiliza un espectro de elementos, sobre todo computacionales, que finalmente diseñan el plásmido que implementa dicha red neuronal en las bacterias.



Implementación de ANN entrenada (II)

La red neuronal se diseña de modo que la respuesta que da la bacteria depende de los estímulos ingresados. La respuesta puede no ser total en una de las neuronas de salida.



Esta red se entrena in-silico.

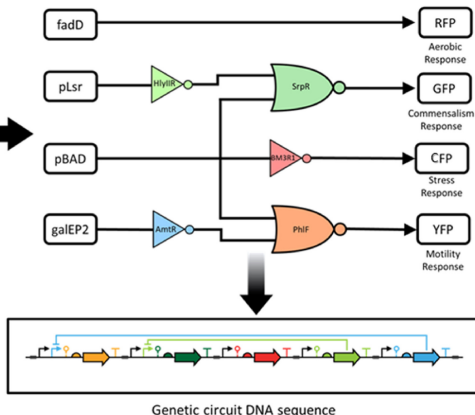
Implementación de ANN entrenada (III)

Una vez entrenada, se pasa a un circuito genético por medio del software Cello.

Verilog input

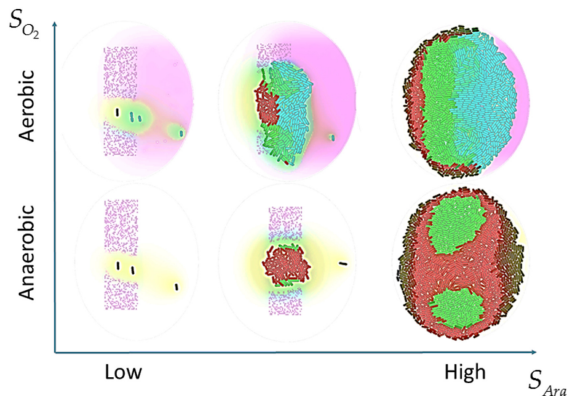
```
module A(output out1, out2, out3, out4, input in1, in2, in3, in4);
always@(in1,in2,in3,in4)
begin
case({in1,in2,in3,in4})
4'b0000: {out1,out2,out3,out4} = 4'b1000;
4'b0001: {out1,out2,out3,out4} = 4'b0000;
4'b0010: {out1,out2,out3,out4} = 4'b1100;
4'b0011: {out1,out2,out3,out4} = 4'b0000;
4'b0100: {out1,out2,out3,out4} = 4'b1001;
4'b0101: {out1,out2,out3,out4} = 4'b0001;
4'b0110: {out1,out2,out3,out4} = 4'b1101;
4'b0111: {out1,out2,out3,out4} = 4'b0001;
4'b1000: {out1,out2,out3,out4} = 4'b1010;
4'b1001: {out1,out2,out3,out4} = 4'b0000;
4'b1010: {out1,out2,out3,out4} = 4'b1110;
4'b1011: {out1,out2,out3,out4} = 4'b0000;
4'b1100: {out1,out2,out3,out4} = 4'b1011;
4'b1101: {out1,out2,out3,out4} = 4'b0001;
4'b1110: {out1,out2,out3,out4} = 4'b1111;
4'b1111: {out1,out2,out3,out4} = 4'b0001;
endcase
end
endmodule
```

User Constraints File



Implementación de ANN entrenada (IV)

Finalmente, se implementa en el simulador gro las condiciones ambientales y se observa los efectos de cambiar las condiciones.



La IA es un tema que está muy de moda hoy en todos los aspectos de las plataformas computacionales. Los artículos aquí revisados nos dan cuenta de que es posible implementar IA también a nivel de organismos vivos.

Como es la tónica en nuestra asignatura, un cambio de paradigma implica un cambio de las condiciones bajo las que nuestro sistema de biología opera. En este caso, la autonomía alcanzada por los diseños aportan mucho valor, a pesar de que no sean sofisticadas ni extremadamente complejas, pues lleva a que los organismos mismos puedan tomar decisiones simples.

Revisaremos temas de simulación y estándares y herramientas computacionales.

Nos vemos!!!