

SISTEMAS INTELIGENTES ARTIFICIALES

Prof.: Esp. Ing. Agustín Fernandez

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Introducción:
- Las primeras ideas surgieron de la tesis de J. D. Bagley: «El funcionamiento de los sistemas adaptables empleando algoritmos genéticos y correlativos».
- En 1967 dicha tesis influyó en J. H. Holland quien fue el pionero de los **Algoritmos Genéticos (AG)**.

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- ¿Qué son?
- Un sistema biológico eficiente desarrolla estrategias exitosas de adaptación para lograr su supervivencia. **Los individuos que sobreviven son los mas aptos y los menos aptos desaparecen.**
- Los AG intentan simular la evolución de una población de individuos, mediante un proceso iterativo aplicado sobre un conjunto de estructuras.
- Cada estructura esta compuesta de características que definen la **aptitud** del individuo en su entorno.
- Los AG pueden concebirse, entonces, como métodos de optimización:
 - $x_0 \in X \therefore f$ es un máxim en x_0 , dond $f: X \rightarrow \mathbb{R}$, por tant :
 - $f(x_0) = \max_{x \in X} f(x)$
- Lo que se trata de hacer es, dependiendo del problema planteado, encontrar el máximo valor o el mas cercano al valor máximo; donde f es una función de aptitud asignada a cada individuo de la población.

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Tabla de equivalencias (con expresiones genéticas):

| Sistemas naturales | Algoritmos genéticos |
|--------------------|-----------------------------------|
| Cromosoma | Individuo o estructura |
| Gen | Características o atributos |
| Alelo | Valor en una posición determinada |
| Locus | Posición en la estructura |
| Genotipo | Conjunto de genes o estructuras |
| Fenotipo | Aptitud del individuo |

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- En términos generales:
- Se basa en los principios de la selección natural.
- Los individuos que mejor se adapten deben sobrevivir.
- En cada generación del AG debe heredarse la mejor configuración genética posible.
- Los rasgos hereditarios que favorecen el éxito deben estar más representados en la población.
 - Selección natural de Darwin:
 - 1ro los individuos de una población tienen diferencias.
 - 2do las variaciones pueden heredarse.
 - 3ro los organismos pueden tener mas descendientes de los que pueden sobrevivir con los recursos disponibles.
 - 4to las variaciones que aumentan el éxito reproductivo tienen mayor oportunidad de transmitirse.

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

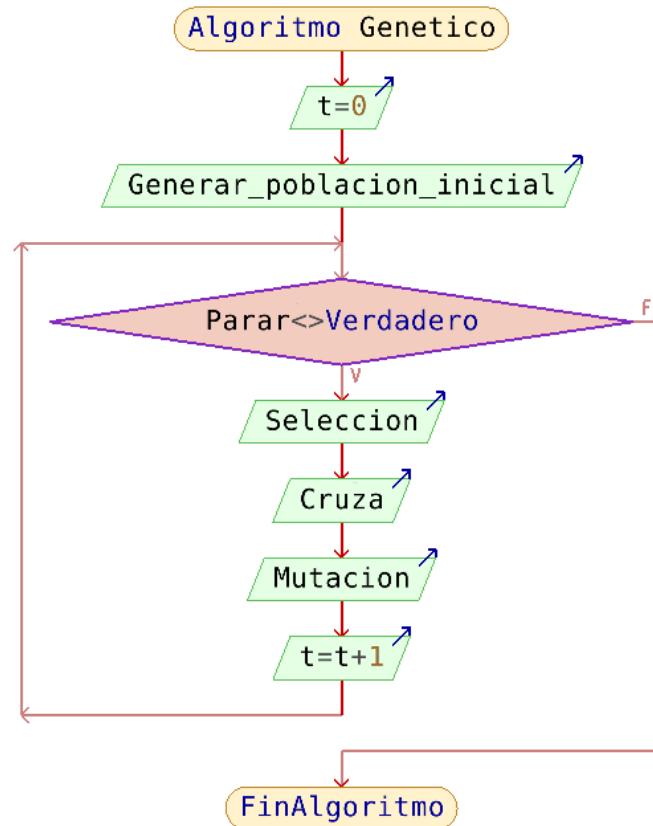
- Aplicaciones:
- Pueden resolver problemas complejos de forma rápida y eficiente.
- Utilizan muy poca información específica del problema.
- Son extensibles ya que es fácil modificar o incorporar conocimiento en los operadores genéticos.
- Muy buenos para problemas de optimización. Por ejemplo: optimización del tamaño de enlaces en una red de comunicaciones, procesamiento de imágenes, reconocimiento de patrones, etc.

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Algoritmo simple:
- Generar población inicial creando a sus individuos aleatoriamente.
- Luego, cada generación será creada a partir de la generación anterior tras aplicar tres operadores básicos: Selección, Cruza y Mutación.
- El proceso iterativo prosigue hasta que se cumpla con alguna condición de parada.
- Aclaración: todo individuo seleccionado se reemplaza por su sucesor después del cruzamiento y mutación; los individuos no seleccionados mueren inmediatamente.

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Algoritmo simple:



ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Ejemplo sencillo:
- Tomando una población inicial de cuatro individuos de longitud $l = 5$, donde cada característica (gen) puede tomar los valores (alelos) X o Y:
 - XYYXY
 - YYXXX
 - XYXXX
 - YXXXYY
- Se implementa la selección utilizando el método de la ruleta (RWS) [Goldberg 1989] donde cada individuo tiene asignada una ranura cuyo tamaño es proporcional a la aptitud del individuo.
 - El RWS consiste en lanzar una bolilla imaginaria tantas veces como individuos queramos seleccionar.

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

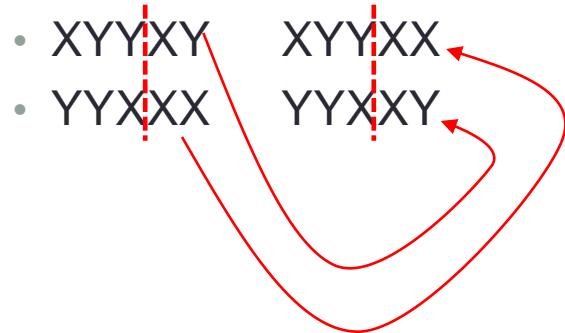
- Ejemplo sencillo:

| Nº | Individuo | Aptitud | Porcentaje |
|-------|-----------|---------|------------|
| 1 | XYYXY | 169 | 14,4 |
| 2 | YYXXX | 576 | 49,2 |
| 3 | XYXXX | 64 | 5,5 |
| 4 | YXXYY | 361 | 30,9 |
| Total | | 1170 | 100,0 |

- Luego se utiliza el operador de cruza en un punto [Goldberg 1989]

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Ejemplo sencillo:
- Operador de cruza en un punto:
 - Se toma al par de individuos previamente seleccionados y se elige en forma aleatoria una posición k entre uno y la longitud del individuo menos 1 $[1, l - 1]$.
 - Dos nuevos individuos son creados intercambiando los genes que se encuentran entre la posición $k + 1$ y l inclusive. Por ejemplo eligiendo las estructuras 1 y 2 con $k=3$:



ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

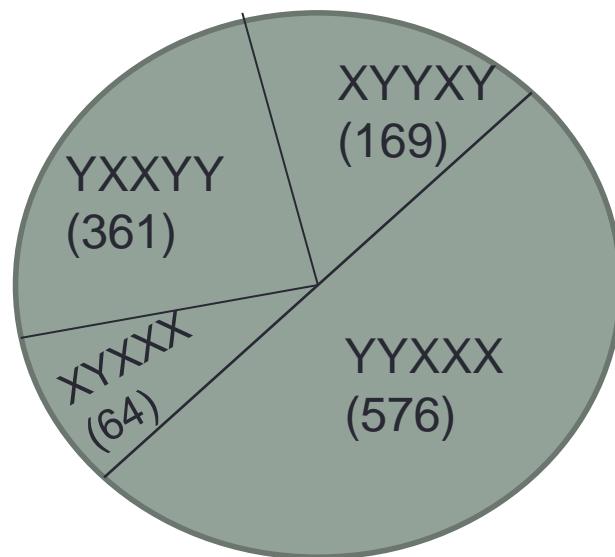
- Ejemplo sencillo:
- Luego se aplica el operador de mutación, que consiste en alterar el valor de algunos genes de los individuos de la población. Por ejemplo:
- XYYXX XYYYY
- La población resultante es nuevamente evaluada y si la condición de parada no se cumple, se continua aplicando los operadores a la generación obtenida.

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Variantes del método de selección:
- Existen dos tipos usados comúnmente: los proporcionales y los basados en el orden.
 - Los proporcionales eligen individuos teniendo en cuenta su aptitud respecto al resto de la población.
 - Los basados en orden confeccionan una tabla ordenada de individuos en base a su aptitud.

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Variantes del método de selección:
- **Selección por ruleta:** a cada individuo se le asigna un tamaño de ranura proporcional a su aptitud.



ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Variantes del método de selección:
- **Selección con control del numero esperado:** se define un valor c_i que determina la cantidad de copias a asignar a cada individuo:
 - $c_i = \frac{f_i}{\bar{f}}$
 - Donde f_i es la aptitud de i-esimo individuo y \bar{f} es la aptitud promedio de la población. Por ejemplo:

| Nº | Individuo | Aptitud | c_i | Copias esperadas | Copias asignadas |
|-------|-----------|---------|-------|------------------|------------------|
| 1 | XYYXY | 169 | 0,58 | ≥ 0 | 0 + 1 |
| 2 | YYXXX | 576 | 1,97 | ≥ 1 | 1 + 1 |
| 3 | XYXXX | 64 | 0,22 | ≥ 0 | 0 + 0 |
| 4 | YXXYY | 361 | 1,23 | ≥ 1 | 0 + 1 |
| Total | | 1170 | 4 | | 4 |

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Variantes del método de selección:
- **Selección elitista:** Los dos métodos anteriores no garantizan la preservación de los mejores individuos, ya que estos pueden ser reemplazados por sus hijos durante la cruza.
- El método elitista preserva los mejores m individuos de la generación actual, incluyéndolos directamente en la siguiente.
- Siempre se utiliza la selección elitista en combinación con otras variantes de selección.

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Variantes del método de selección:
- **Selección por ranking:** Cada individuo recibe una cantidad de copias que sólo depende de su ubicación dentro de la tabla. Para esto, la población se ordena en forma descendente por la aptitud de cada individuo en una tabla de posiciones.
- Siendo n el tamaño de la población, se define un mapeo lineal donde la peor estructura recibe un numero esperado de copias $R_{min} \in (0,1)$ y la mejor recibe un numero esperado de $2 - R_{min}$. Al individuo en la posición i de la tabla se le asigna la siguiente cantidad de copias:
$$R_{min} + 2 \cdot \frac{(n-i)(1-R_{min})}{n-1}$$

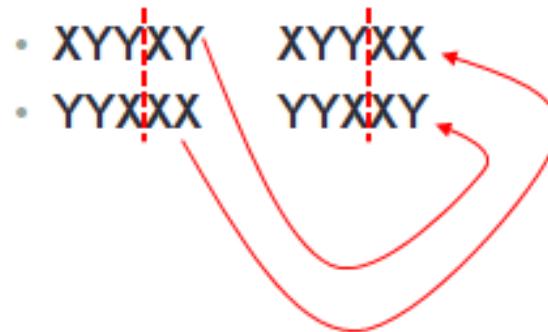
ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Variantes del método de selección:
- **Selección por ranking:** La tabla anterior quedaría como sigue:

| Nº | Individuo | Aptitud | Copias esperadas | Copias asignadas |
|-------|-----------|---------|------------------|------------------|
| 2 | YYYYX | 576 | 1,25 | 2 |
| 4 | YXXYY | 361 | 1,08 | 1 |
| 1 | XYYXY | 169 | 0,91 | 1 |
| 3 | XYXXX | 64 | 0,75 | 0 |
| Total | | 1170 | 4 | 4 |

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Variantes del método de cruce:
- **Cruza simple:** elige al azar uno de los $l - 1$ posibles puntos de cruce, como ya vimos:



- **Cruza multipunto:** en este caso el «cromosoma» es considerado un anillo y se eligen n puntos de cruce en forma aleatoria. La cruce simple es un caso particular de la cruce multipunto cuando $n = 1$.
- **Cruza binomial:** para generar un cromosoma hijo se define la probabilidad P_0 como la probabilidad de que el Alelo de cualquier posición del descendiente se herede del padre y $1-P_0$ como la probabilidad de que lo herede de la madre.

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Variantes del método de mutación: La mutación permite mantener la diversidad en la población disminuyendo el riesgo de convergencia prematura.
- **Mutación simple:** Se elige de forma aleatoria un gen y se lo muta con cierta probabilidad muy baja la cual se mantiene constante durante sucesivas generaciones.
- **Mutación adaptativa por convergencia:** la probabilidad de mutación varia en base a la información proveniente de la búsqueda «genética». Es decir que la probabilidad de mutación aumenta cuando la población es muy homogénea y disminuye cuando hay demasiada diversidad.

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Variantes del método de mutación: (Cont.)
- **Mutación adaptativa por temperatura:** este tipo no utiliza información genética de la población.
- La probabilidad de mutación $P_m = P_m(t)$ y esta acotado por un máximo y un mínimo: $P^{min}_m \geq P_m \geq P^{max}_m$ partiendo de un valor inicial $P_m(0)$ la actualización se realiza hasta alcanzar un valor final de la siguiente manera: $P_m(t + 1) = P_m(t) + \lambda$
- Dependiendo del signo de λ tenemos:
 - Mutación adaptativa por temperatura ascendente
 - Mutación adaptativa por temperatura descendente

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Variantes del método de mutación: (Cont.)
- **Mutación adaptativa por temperatura ascendente:** La probabilidad de mutación aumenta con las sucesivas generaciones hasta alcanzar un valor máximo y a partir de allí debe mantenerse constante.
- El objetivo de esta variante es **mantener la diversidad de la población** que por lo general con el transcurso del tiempo tiende a hacerse homogénea.
- Pero el aumento de mutación debe tener una cota máxima para que ocurra la supervivencia de buenos individuos porque sino se corre el riesgo de que la población nunca converja.

- $P_m(t+1) = \begin{cases} P_m(t) + |\lambda| & \text{si } P_m < P_{m\max} \\ P_{m\max} & \text{en caso contrario} \end{cases}$

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Variantes del método de mutación: (Cont.)
- **Mutación adaptativa por temperatura descendente:** La probabilidad de mutación disminuye con las sucesivas generaciones hasta alcanzar un valor mínimo y a partir de allí debe mantenerse constante.
- El objetivo de esta variante es que haya **una exploración alta en las primeras generaciones evitando la convergencia prematura.**
- La cota mínima siempre debe ser mayor a cero puesto que sin mutación **se corre el riesgo de perder estructuras interesantes.**
- $$P_m(t + 1) = \begin{cases} P_m(t) - |\lambda| & \text{si } P_m > P_{m\min} \\ P_{m\min} & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Ejemplo con código: en este ejemplo intentaremos obtener el máximo de la función:

$$f(x) = ABS \left| \frac{x - 5}{2 + Sen(x)} \right|$$

- Intentaremos realizar el cálculo en el rango de [0-15] y utilizaremos un algoritmo genético para ello. **Aclaración: la unidad de medida de la función se da en radianes.**
- Dicha función será la "Función de Aptitud" que utilizaremos en este problema.
- La 'x' que maximice esta función, será la mejor solución al problema.

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Ejemplo con código: gráfica de la función



ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Ejemplo con código: ¿Cómo representaremos cada cromosoma?
- Utilizaremos 4 bits ya que para nuestro intervalo de [0-15] es mas que suficiente.
- Cada cromosoma tendrá un largo de 4 bits, por ejemplo:

Cromosoma que representa al individuo $x=8$

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 |
|---|---|---|---|

Cromosoma que representa al individuo $x=3$

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 | 1 |
|---|---|---|---|

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Ejemplo con código: ¿Cómo generaremos la población inicial?
- Para cada individuo colocaremos un 1 si al un numero aleatorio generado resulta > 0,5 y un 0 en caso contrario:

| Cromosoma del individuo 1 | | | |
|---------------------------|------|------|------|
| 0.34 | 0.82 | 0.77 | 0.71 |
| ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| 0 | 1 | 1 | 1 |

Representa a x=7

| Cromosoma del individuo 2 | | | |
|---------------------------|------|------|------|
| 0.35 | 0.75 | 0.48 | 0.40 |
| ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| 0 | 1 | 0 | 0 |

Representa a x=4

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Ejemplo con código: Luego calcularemos la función de aptitud de cada individuo para determinar quienes serán seleccionados para cruce, por ejemplo:

Individuo 1 ($x=7$): $f(7) = ABS \left| \frac{7-5}{2+Sen(7)} \right| = 0.75$

Individuo 2 ($x=4$): $f(4) = ABS \left| \frac{4-5}{2+Sen(4)} \right| = 0.8$

- Luego calcularemos las probabilidades de cada individuo para el emparejamiento

$$\text{Individuo 1} = \frac{0.75}{0.75 + 0.8} = 0.48$$

$$\text{Individuo 2} = \frac{0.8}{0.75 + 0.8} = 0.52$$

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Ejemplo con código: Luego realizaremos una cruce simple utilizando el punto medio de cada cromosoma obteniendo dos nuevos individuos que reemplazan a sus antecesores.
- Finalmente, y en base a la probabilidad de mutación, se realizarán las mutaciones necesarias sobre toda la población.
- Si se cumple la condición de corte se detiene el proceso y si no se continua desde el inicio con esta nueva población generada.

ALGORITMOS GENÉTICOS Y COMPUTACIÓN EVOLUTIVA: algoritmo genético

- Ejercicio: La siguiente ecuación $y = -x^2 + 2x + 7$ representa la relación entre el precio de los viajes y la correspondiente ganancia mensual (en miles de pesos) de una empresa dedicada a la logística y al transporte. Se aclara que **x** representa el precio e **y** la ganancia.
- Determinar, utilizando un AG, la máxima ganancia de la empresa y para ello especifique en su diseño:
 - La longitud y codificación del esquema necesario para definir cada cromosoma.
 - Los operadores genéticos necesarios para lograr el objetivo.