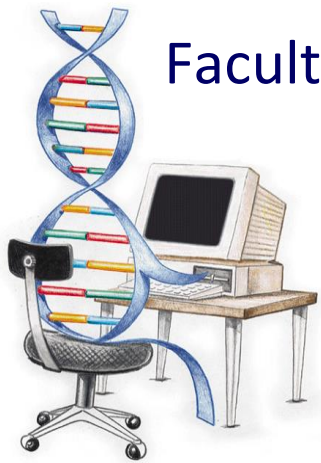


ALGORITMOS EVOLUTIVOS

Curso 2024

Tema 4: Modelos de evolución

Centro de Cálculo, Instituto de Computación
Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay



cecal



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Modelos de evolución

- En los algoritmos evolutivos tradicionales el paso evolutivo básico involucra la **generación** de la nueva población de individuos
- El paso atómico de evolución es una generación y por ello se denomina **modelo generacional**
- Existe una interesante alternativa a este mecanismo: el modelo de evolución de algoritmos evolutivos de **estado estacionario** (*steady-state*)
- En un algoritmo evolutivo de estado estacionario el paso atómico de evolución consiste en la generación de un **único individuo**

Modelo de estado estacionario

- En un algoritmo evolutivo de estado estacionario cada paso de evolución consiste en la selección de dos padres para efectuar un cruzamiento, produciendo uno (o eventualmente dos) descendientes
- El (los) individuo(s) resultantes pueden ser mutados (probabilísticamente)
- El (los) individuo(s) generado(s) se inserta(n) en la población, reemplazando algun(os) individuo(s) preexistente(s)
- El **criterio de reemplazo** cobra una mayor importancia que en un algoritmo evolutivo generacional

Modelo de estado estacionario

- El criterio de reemplazo puede ser aleatorio, proporcional al fitness o elitista
- Normalmente se trabaja en hipótesis de competencia entre el descendiente generado y el individuo a reemplazar
- Este mecanismo de reproducción paso a paso fue inicialmente propuesto como un modo de evitar inconvenientes en la resolución de problemas de entrenamiento de redes neuronales
- Luego se extendió su uso para una variedad de problemas y áreas de aplicación

Modelo de estado estacionario

- El modelo de evolución de estado estacionario consiste en una interesante propuesta para mantener el equilibrio entre los mecanismos de exploración y de explotación del algoritmo evolutivo
- El algoritmo evolutivo mantiene las características poblacionales (garantizando la exploración) y a la vez realiza una explotación local del tipo hill-climbing que presiona hacia los individuos mejor adaptados
- Las técnicas de selección elitistas (elitismo propiamente dicho o selección por ranking) son usualmente utilizadas en los algoritmos evolutivos de estado estacionario para concentrar la explotación en aquellos individuos más adaptados

Modelo de estado estacionario

- La estrategia de reemplazar al peor individuo usualmente conduce a convergencia prematura, al perderse información genética potencialmente valiosa
- La estrategia de reemplazo aleatorio funciona correctamente en general, aunque la convergencia es lenta
- Para disminuir los efectos adversos del modelo de evolución lenta puede utilizarse una estrategia de reemplazo probabilística, inversamente proporcional a los valores de fitness

Modelo de estado estacionario

- La mayor diferencia entre el modelo de estado estacionario y el modelo generacional consiste en que para cada P miembros de la población creados, el modelo de estado estacionario necesita realizar $2P$ selecciones
- Como consecuencia, la presión de selección y la “deriva genética” (pérdida de información) será el doble en un algoritmo evolutivo de estado estacionario
- El algoritmo de estado estacionario será mucho más veloz para encontrar buenas soluciones que el algoritmo generacional, aunque en el largo plazo puede que sus soluciones sean superadas por que encuentre el algoritmo generacional, que tiene un mejor patrón de exploración del espacio de búsqueda

Modelo de gap generacional

- Existe un modelo intermedio propuesto por De Jong, en el cual se determina un porcentaje de la población para participar en la creación de la nueva generación
- El modelo se denomina de **gap generacional**
- El **gap** es el porcentaje de la población que participa en la aplicación de los operadores evolutivos
- La propuesta constituye una generalización de los modelos de evolución, que incluye los dos enfoques opuestos ya presentados
 - Modelo generacional, con $\text{gap} = 1$
 - Modelo de estado estacionario, con $\text{gap} = 1 / \text{tamaño de la población}$

Modelo de gap generacional

- El modelo se relaciona con los conceptos de poblaciones solapadas y no solapadas
- En un modelo de poblaciones **no solapadas** los individuos padres y sus descendientes **no compiten** entre si (se reemplaza la totalidad de la población en cada generación)
- En un modelo de poblaciones **solapadas** los individuos padres y sus descendientes **compiten** por la descendencia
 - Concepto similar al modelo $(\mu+\lambda)$ en las estrategias de evolución
- El gap generacional permite definir el porcentaje de población que se solapa entre generaciones

- Existen otros modelos de evolución para algoritmos evolutivos no tradicionales y variantes de los algoritmos genéticos
- Messy GA (algoritmos genéticos desordenados)
 - Un AG desordenado consta de una fase *primordial* en la cual se crea la población utilizando una estrategia de enumeración parcial, distribuyendo bloques de construcción de soluciones, y una fase de *yuxtaposición* donde se mezclan las soluciones encontradas en la fase primordial
- Algoritmos evolutivos paralelos
 - Tienen un modelo de evolución diferente, en casos no panmícticos
 - Serán estudiados en el Tema 10

Modelos de evolución (resumen)

- Modelo generacional (Holland):
 - El modelo tradicional, se reemplaza toda la población en cada generación
- Modelo de estado estacionario (*steady-state*)
 - El paso atómico es el cálculo de un individuo
 - Implementación de referencia: GENITOR (Whitley, 1994)
- Salto generacional (De Jong)
 - Define un valor de “salto generacional” $G \in [1/n, 1]$ para la fracción de la población reemplazada en cada generación
- Otros modelos
 - Messy GA, poblaciones distribuidas, celular, etc.

Modelos de evolución

- La programación evolutiva (Fogel et al., 1966) propuso un mecanismo en el que cada individuo producía un descendiente y la mejor mitad de las poblaciones de padres e hijos se seleccionaban para formar la nueva población
- Las estrategias de evolución (Schwefel, 1981), incluyen los modelos “+” y “,” de poblaciones solapadas y no solapadas respectivamente
 - En los modelos “+” padres e hijos compiten por la supervivencia, siendo seleccionado los mejores individuos
 - En los modelos “,” se genera un número de hijos mayor que el de padres. Los descendientes compiten entre si, usualmente mediante ranking

Modelos de evolución

- Holland (1975) propuso dos mecanismos reproductivos para los algoritmos genéticos
 - R1: en cada paso un individuo seleccionado proporcionalmente a su fitness produce un único descendiente, que reemplaza a un individuo seleccionado uniformemente
 - R2: en cada paso todos los individuos se seleccionan de modo determinista y producen su número esperado de descendientes, que reemplazan a la totalidad de la población actual
- Desde el punto de vista teórico ambos planes parecían equivalentes. En la práctica se adoptó R2 para evitar recalcular probabilidades de selección y por los problemas relacionados con la deriva genética en poblaciones pequeñas

Modelos de evolución

- De Jong (1975) llevó a cabo experimentos que sugirieron que las ventajas de utilizar poblaciones solapadas eran muy relativas, por las desventajas relacionadas con los efectos negativos de la deriva genética
- La deriva genética estaba causada por la alta variación de los tiempos de vida y números esperados de descendientes, mayormente como consecuencia de los modestos tamaños de población utilizados
- Los efectos negativos se incrementaban notoriamente a medida que el gap generacional se reducía
- Como consecuencia se adoptó la línea del **solapamiento implícito**

Solapamiento implícito

- En un AG tradicional, utilizando probabilidades de cruzamiento y de mutación aproximadas a los valores $p_C = 0.6$ y $p_M = 0.001$ (derivadas empíricamente para el conjunto de problemas de prueba utilizado por De Jong), aproximadamente el 40% de los descendientes son clones de sus padres, aún en el modelo generacional
- Un posterior estudio empírico de Grefenstette (1986) confirmó los resultados previos, indicando que valores mayores del gap generacional permitían arribar a mejores resultados numéricos

Solapamiento implícito

- Sin embargo, algunas aplicaciones de AE a problemas complejos mostraban un comportamiento opuesto
- En la propuesta de Holland para sistemas de clasificación, reemplazar una pequeña porción de la población conducía a mejores resultados
- El pobre desempeño de algoritmos con gap generacional alto se relacionaba con el carácter panmítico de la representación utilizada: la población en su conjunto representaba una única solución, y por tanto no toleraba cambios sustanciales en su contenido
- A partir de la década de 1990, la disponibilidad de equipamiento con mayor poder computacional eliminó los inconvenientes de utilizar poblaciones de tamaño moderado, y por tanto se dejó de lado la preferencia por el enfoque reproductivo R2

Modelos de evolución

- La alta variación al usar valores bajos de gap generacional causa mayor deriva genética, con la consecuente pérdida de alelos. El caso extremo lo constituye el modelo de estado estacionario donde usualmente se requieren poblaciones muy grandes para mantener la diversidad genética
- Sin embargo, en la década de 1990 se confirmó que evitando la distribución uniforme para seleccionar los individuos a reemplazar, se reducen los efectos negativos de la deriva genética en un AE de estado estacionario
 - Técnicas útiles: eliminar el peor k , selección proporcional al fitness inverso, ranking exponencial, estrategia de reemplazo FIFO
- GENITOR (Whitley, 1989) es una implementación exitosa del modelo de estado estacionario que utiliza selección por ranking y eliminación del peor individuo. El enfoque de GENITOR mostró significativas mejoras sobre los algoritmos tradicionales de gap generacional



Modelos de evolución

- Utilizando esquemas de selección diferentes a la distribución uniforme para eliminar individuos, es posible modificar significativamente la presión selectiva
- Estos cambios permiten variar el balance entre los mecanismos de exploración y explotación del AE
- Estudios han mostrado que las mejoras en los algoritmos de estado estacionario, como GENITOR, se deben a las altas tasas de crecimiento y los cambios en el balance de exploración y explotación y no al trabajo con poblaciones solapadas (Goldberg & Deb, 1991) (De Jong & Sarma, 1993)

Estrategias elitistas

- El ciclo de vida y muerte de individuos se relaciona con el manejo de la población (selección, reemplazo)
 - Los individuos tienen un tiempo de vida asociado
- En general, el tiempo de vida esperado de un individuo es de una generación
 - Sin embargo, en algunos AE puede ser mayor
- Las estrategias de elitismo relacionan el tiempo de vida de un individuo con su valor de fitness. Son técnicas para mantener las buenas soluciones por un tiempo superior a una generación
- En un AE de poblaciones solapadas, los individuos a eliminar se componen de padres e hijos, que suelen ordenarse según el fitness para determinar los individuos sobrevivientes
 - Un modelo “+” tiene una política elitista muy fuerte
 - Un modelo “,” no incorpora política de elitismo
 - En otros modelos (por ejemplo GP) el elitismo no es tan fuerte, ya que suele utilizarse selección por torneo

Estrategias elitistas

- En un modelo generacional (AGS) no suelen aplicarse mecanismos de pos-selección de individuos, solo se aplica pre-selección de individuos a recombinar
 - No hay garantía de que se preserve la mejor solución encontrada hasta el momento
 - El elitismo suele incorporarse como mecanismo que preserva únicamente la mejor solución encontrada hasta el momento
- En general, en un modelo de estado estacionario el elitismo está en implícito en la política de reemplazo
- El elitismo es **requerido** como condición teórica para hallar el óptimo global de un problema de optimización (De Jong, 1993)
- Las técnicas de elitismo tienden a ponderar la explotación en el mecanismo de búsqueda
 - Pueden ocasionar inconvenientes para problemas con espacios de búsqueda complejos (convergencia prematura) y/o cuando se buscan múltiples soluciones a un mismo problema (dominancia)

Convergencia prematura

- El mecanismo evolutivo **converge** cuando los individuos de la población son idénticos o muy parecidos entre si
 - El operador de cruzamiento deja de producir nuevos individuos y la búsqueda se estanca
- Cuando este comportamiento se da antes de encontrar la solución óptima de un problema, el AE sufre de **convergencia prematura**
- El operador de mutación provee un mecanismo para reintroducir alelos perdidos, pero es poco efectivo (ya que es probabilístico y muy lento)
- Se han propuesto varios métodos para reducir la probabilidad de pérdida de información genética y mantener la diversidad

Diversidad

- Las técnicas para preservar la diversidad tratan de mantener individuos “diferentes” en la población para evitar la convergencia prematura.
- En los AG tradicionales, se basan en cálculos de distancias (bit a bit, o mediante funciones dependientes de la codificación utilizada)
- En AE no tradicionales, el mecanismo genérico consiste en definir una métrica en el espacio de codificaciones, y tratar de que la búsqueda genere individuos cuyas diferencias sean mayor a un número determinado de características
 - Habitualmente se utilizan métricas de Hamming binarias
- La diversidad de la población está determinada por el proceso de inicialización y por las características de los operadores evolutivos
- Diversas técnicas avanzadas se utilizan para la preservación de diversidad genética
 - Nichos, sharing, crowding, restricciones al cruzamiento
 - Serán estudiadas en el Tema 7, “Técnicas avanzadas”