

Inteligência Computacional

Luis A. Alexandre

UBI

Ano lectivo 2023-24

Luis A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

1 / 29

Conteúdo

Computação Evolucionária

Introdução

Exemplo

Componentes dum AE

Cromossomas

Função de aptidão

População inicial

Operadores evolucionários

Operadores de seleção

Algoritmo Evolucionário Genérico

Algoritmo Evolucionário Genérico

CE versus Otimização Clássica

Leitura recomendada

Luis A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

2 / 29

Introdução

▶ A evolução natural é um processo, segundo o qual, apenas os indivíduos mais aptos sobrevivem.

▶ A **computação evolucionária** (CE) simula esta abordagem no âmbito dos problemas de pesquisa (ou otimização).

▶ Chamamos **algoritmo evolucionário** (AE) a qualquer algoritmo desenvolvido dentro da CE.

▶ Na natureza, as características dos organismos influenciam a sua capacidade de sobrevivência e de reprodução.

▶ Algumas dessas características encontram-se codificadas nos **cromossomas**.

▶ Após a reprodução sexual, os cromossomas dos descendentes contém uma combinação da informação contida nos cromossomas dos seus progenitores.

Luis A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

3 / 29

Introdução

▶ O processo de seleção natural garante que os indivíduos mais aptos têm mais oportunidades de se **reproduzirem** e assim de passarem os seus cromossomas mais aptos aos descendentes.

▶ Ocasionalmente os cromossomas são sujeitos a **mutações** que os alteram de forma aleatória.

▶ As mutações podem influenciar negativamente as capacidades dum indivíduo, mas, podem também alterá-las de forma a torná-lo ainda mais apto.

▶ Sem as mutações, as populações dum dada espécie tenderiam a convergir para um estado em que os indivíduos teriam pouca diferença uns dos outros.

Luis A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

4 / 29

Introdução

▶ O processo de seleção natural pode ser visto como um processo de pesquisa num espaço de possíveis valores dos cromossomas.

▶ Essa pesquisa é orientada pela **aptidão** dos indivíduos portadores desses cromossomas para sobreviverem e se reproduzirem.

▶ Um AE é semelhante pois acaba por consistir numa pesquisa estocástica por uma solução ótima de um problema.

Abordagens que iremos estudar dentro da CE

Algoritmos Genéticos (AGs)

Programação Genética (PG)

Computação Evolucionária (CE)

Estratégias Evolucionárias (EES)

Coevolução

Luis A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

5 / 29

Componentes dum AE

▶ Os elementos que influenciam o AE são:

▶ a codificação das soluções do problema como **cromossomas**

▶ uma função que avalia a **aptidão** dos indivíduos

▶ a **inicialização** da população

▶ os operadores de **seleção**

▶ os operadores de **reprodução**

▶ Vejamos de seguida em mais detalhe cada um destes elementos.

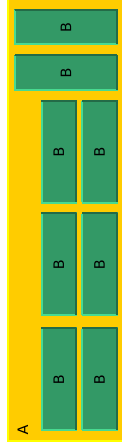
Luis A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

6 / 29

Exemplo



- ▶ Vejamos um exemplo, para facilitar a compreensão dos conceitos que iremos abordar.
- ▶ Consideremos que temos um retângulo A de lados X_A e Y_A e que queremos saber qual a melhor forma de colocar dentro deste retângulo, outros retângulos B, todos do mesmo tamanho (X_B, Y_B), de forma a termos o maior número de retângulos B dentro do A.
- ▶ Uma forma de resolver este problema passa por usar um algoritmo evolucionário para nos indicar uma potencial solução.

Luís A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

7 / 29

Componentes dum AE

Cromossomas

Representação do cromossoma

- ▶ Cada cromossoma pode ser visto como um ponto no espaço de pesquisa.
- ▶ Cada cromossoma é constituído por um conjunto de **genes**.
- ▶ Cada gene representa uma característica do indivíduo, e o valor de um gene é chamado **alelo**.
- ▶ Em termos de otimização, cada gene representa um parâmetro de otimização do problema.
- ▶ Em relação ao nosso exemplo, se considerarmos os 8 retângulos B, sendo que cada um tem que ser localizado usando 2 coordenadas e um valor que indique a orientação, teremos $8 \times (2 + 1) = 24$ parâmetros a otimizar.

Luís A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

9 / 29

Componentes dum AE

Função de aptidão

Função de aptidão

- ▶ A **função de aptidão** (fitness, em inglês) é talvez o componente mais importante dum AE.
- ▶ Esta função serve para mapear um cromossoma num número real:

$$F_{ap} : C \rightarrow \mathbb{R}$$

onde C representa o espaço dos cromossomas.

- ▶ É a função de aptidão que nos diz qual é a **qualidade** de um determinado cromossoma, ou seja, quão perto ele está da solução ótima.
- ▶ A maioria dos operadores que são aplicados à população de cromossomas agem de acordo com o valor dado pela função de aptidão.

Luís A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

11 / 29

Cromossomas

- ▶ Um AE usa uma população de indivíduos, onde **cada indivíduo representa uma possível solução do problema**.
- ▶ As características de cada indivíduo são representadas por um cromossoma.
- ▶ As características representadas pelo cromossoma podem ser divididas em
 - ▶ genótipos: descrevem a composição genética de um indivíduo como foi **herdada dos seus progenitores**.
 - ▶ fenótipos: guardam os traços comportamentais de um indivíduo **aprendidos no seu ambiente**.
- ▶ Em relação ao nosso exemplo, podemos imaginar soluções (indivíduos), em que cada um representa a localização e orientação de todos retângulos B dentro do A.

Luís A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

8 / 29

Componentes dum AE

Cromossomas

Representação do cromossoma

- ▶ A eficiência da pesquisa depende muito da forma de representar o cromossoma.
- ▶ As diferentes abordagens dentro da CE usam diferentes formas de **representação** para o cromossoma:
 - ▶ Os AGs usam normalmente strings binárias mas suportam também variáveis reais.
 - ▶ A programação genética (PG) usa árvores;
 - ▶ As estratégias evolucionárias usam variáveis reais.
- ▶ Os cromossomas do exemplo, podem ser representados como vetores com 24 números reais, ou então com 16 reais e 8 bits (um bit é suficiente para indicar a orientação do retângulo).

Luís A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

10 / 29

Componentes dum AE

Função de aptidão

Função de aptidão

- ▶ Assim, esta função é de extrema importância e deve conter todos os **critérios** a serem otimizados.
- ▶ No exemplo que demos, o critério principal a otimizar é o número de retângulos B dentro de A.
- ▶ A função de aptidão poderá também conter informação relativa a **restrições** às quais o problema está sujeito.
- ▶ No exemplo que demos, podemos definir várias restrições:
 - ▶ a posição dos retângulos só pode ser com os lados paralelos aos eixos;
 - ▶ não podem estar parcialmente nem totalmente sobrepostos a outros retângulos;
 - ▶ têm que ficar totalmente contidos em A.
- ▶ Estas restrições podem estar também contidas na inicialização da população e nos operadores de reprodução.

Luís A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

12 / 29

População inicial

- ▶ Para que o processo evolucionário possa começar é preciso dispor de uma **população inicial**.
- ▶ A forma normal de inicializar a população é escolher valores aleatórios para os genes.
- ▶ A população inicial deve ter valores provenientes de grande parte do espaço de pesquisa.
- ▶ Se existir **conhecimento a priori** relativo ao espaço de pesquisa este pode ser usado para criar mais genes em regiões que se crê conterem uma boa solução para o problema.
- ▶ No entanto, esta abordagem pode evitar uma exploração completa do espaço de pesquisa e levar ao aparecimento de ótimos locais.

Luís A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

13 / 29

População inicial

- ▶ O tamanho da população inicial tem implicações a dois níveis:
 - ▶ Uma população pequena pode não ser **representativa** de todo o espaço de pesquisa: embora o esforço computacional por geração seja baixo, o algoritmo poderá demorar a convergir para a solução ótima.
 - ▶ Uma população grande implica um maior **custo computacional** por geração mas poderá precisar de um menor número de gerações para convergir.
- ▶ Uma possível solução poderá ser usar uma população pequena mas com uma taxa de mutação relativamente elevada para garantir que se explora a maior parte do espaço do problema.

Luís A. Alexandre (UBI)

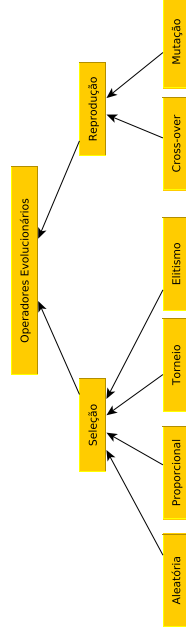
Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

14 / 29

Operadores evolucionários

- ▶ São de dois tipos os **operadores** usados em CE: de **seleção** e de **reprodução**.
- ▶ A seguinte figura mostra os operadores que iremos estudar:



Luís A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

15 / 29

Seleção aleatória

- ▶ A **seleção aleatória** consiste em escolher do número de indivíduos existente numa geração, um subconjunto escolhido de forma aleatória.
- ▶ A seleção aleatória **não usa** a função de aptidão: todos os indivíduos têm igual probabilidade de serem escolhidos.

Luís A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

17 / 29

Seleção proporcional

- ▶ Neste caso a seleção é feita de forma proporcional ao valor da função de aptidão para cada indivíduo.
- ▶ É criada uma distribuição probabilística proporcional ao valor da aptidão de cada indivíduo:

$$P(C_i) = \frac{F_{ap}(C_i)}{\sum_{k=1}^N F_{ap}(C_k)} \quad (1)$$

- onde N representa o número de indivíduos nesta geração.
- ▶ A probabilidade de um dado indivíduo ser selecionado é tanto maior quanto maior for o valor da função de aptidão para o seu cromossoma.

Luís A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

18 / 29

Seleção proporcional

- ▶ Para se selecionar um indivíduo de acordo com a probabilidade $P(C_i)$, de forma proporcional, usa-se o seguinte algoritmo (roleta):
 1. Sortear um número $\xi \sim U(0, 1)$.
 2. $i = 1$
 3. $s = P(C_i)$
 4. Enquanto $s < \xi$
 - 4.1 $i = i + 1$
 - 4.2 $s = s + P(C_i)$
- 5. O cromossoma escolhido é o i que se obtém ao sair do ciclo.

Luís A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

19 / 29

Seleção por torneio

- ▶ Nesta abordagem, um grupo de k indivíduos é selecionado aleatoriamente.
- ▶ Depois, dentro deste grupo, é selecionado o melhor (o que tiver maior valor da função de aptidão).
- ▶ As vantagens desta abordagem são:
 - ▶ os piores indivíduos não são selecionados
 - ▶ o melhor indivíduo não domina o processo de reprodução (quando a seleção é usada tendo em vista a reprodução)

Luís A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

20 / 29

Seleção baseada em ordenação (rank)

- ▶ Neste caso a seleção é feita ordenando os cromossomas pelo seu valor de aptidão para que se possa determinar a **probabilidade de seleção**.
- ▶ Isto implica que a probabilidade de seleção fica menos dependente do valor da função de aptidão: só importa a **ordem** dos cromossomas em termos de aptidão.
- ▶ A vantagem é que evita que um cromossoma com um valor muito elevado de aptidão domine o processo de seleção.
- ▶ A probabilidade do cromossoma C_i ser selecionado é dada por

$$P(C_i) = \frac{R(C_i)}{\sum_{k=1}^N R(C_k)}$$

onde N representa o número de indivíduos nesta geração e $R(\cdot)$ devolve a posição do cromossoma após ordenação por ordem crescente de aptidão, onde o menos apto recebe 1.

Luís A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

21 / 29

Seleção baseada em ordenação (rank)

- ▶ Vejamos um exemplo das probabilidade de seleção dum conjunto de cromossomas se a seleção for proporcional P_{prop} e por ordenação P_{ord} .

C	Aptidão	Ordem	P_{prop}	P_{ord}
1	90	5	0.71	0.33
2	5	1	0.04	0.07
3	14	4	0.11	0.26
4	8	2	0.06	0.14
5	10	3	0.08	0.20

- ▶ Não esquecer a necessidade de usar o algoritmo da roleta para selecionar os cromossomas, agora com base na nova distribuição de probabilidades calculada à custa da ordenação.

Luís A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

22 / 29

Seleção por elitismo

- ▶ O elitismo consiste na seleção dos melhores indivíduos da população atual para passarem para a próxima geração **sem serem alterados** por mutação.
- ▶ Quantos mais indivíduos forem escolhidos por elitismo, menos diversidade terá a nova geração quando comparada com a atual.

Luís A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

23 / 29

Seleção da população da nova geração

- ▶ A escolha dos k indivíduos a passar para a nova geração pode ser feita de diversas formas:
 - ▶ escolher os k melhores: garante que a melhor solução da geração seguinte não será inferior (em termos de aptidão) à melhor solução da atual geração;
 - ▶ escolher os k indivíduos através de um ou mais dos métodos de seleção vistos atrás.

Luís A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

24 / 29

Operadores de reprodução

- ▶ O objetivo da reprodução é a obtenção de novos indivíduos a partir de indivíduos selecionados; quer seja por cross-over ou por mutação.
- ▶ O **cross-over** é o processo de criação de um novo indivíduo a partir dos genes dos pais.
- ▶ A **mutação** produz novos indivíduos a partir de indivíduos existentes efetuando alterações aleatórias nos seus genes.
- ▶ O objetivo da mutação é manter o espaço de pesquisa aberto a novas possibilidades.
- ▶ A mutação deve ocorrer com baixa probabilidade.
- ▶ Se a mutação ocorrer com elevada probabilidade altera boa parte da informação genética, o que só muito raramente será positivo.

Luís A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

25 / 29

Algoritmo evolucionário genérico

1. Inicializar o contador de gerações $g=1$;
2. Inicializar a população C_g com N indivíduos:
 $C_g = \{C_{g,i} | i = 1, \dots, N\}$.
3. Enquanto não tivermos convergência fazer:
 - 3.1 Avaliar a função de aptidão $F(C_{g,i})$ para cada indivíduo da população C_g .
 - 3.2 Efetuar o cross-over: selecionar pares de indivíduos $C_{g,i}$ e C_{g,i_2} e achar o(s) seu(s) descendente(s)
 - 3.3 Efetuar mutações: selecionar indivíduo(s) $C_{g,i}$ e aplicar o operador de mutação
 - 3.4 Selecionar a nova geração C_{g+1}
 - 3.5 Fazer $g = g + 1$ e voltar a 3

Luís A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

26 / 29

Algoritmo evolucionário genérico

- ▶ Os possíveis critérios para **convergência** são variados.
- ▶ Os mais usados são:
 - ▶ Parar a evolução quando for atingido um número máximo de gerações previamente especificado.
 - ▶ Parar quando se tenha encontrado uma solução aceitável.
 - ▶ Parar se a aptidão máxima ou média não varia grandemente após várias gerações.
 - ▶ Parar se a mudança nos cromossomas da população for muito reduzida, em várias gerações consecutivas.

Luís A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

27 / 29

Leitura recomendada

- ▶ Engelbrecht, cap. 8.

Luís A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

29 / 29

CE versus otimização clássica

- ▶ A CE e a otimização clássica (OC) diferem principalmente nos seguintes aspetos:
 - ▶ Processo de pesquisa:
 - ▶ a CE efetua o **movimento no espaço de pesquisa** segundo regras probabilísticas enquanto que a OC usa regras determinísticas;
 - ▶ a pesquisa na CE é **paralela** pois ocorre em cada indivíduo enquanto que na OC a pesquisa é **sequencial**.
 - ▶ Uso de **informação da superfície de pesquisa**:
 - ▶ a OC usa informação das derivadas (primeira ou segunda ordem) para procurar o ótimo;
 - ▶ a CE usa apenas informação da aptidão.

Luís A. Alexandre (UBI)

Inteligência Computacional

Ano lectivo 2023-24

28 / 29