

ALGORITMOS EVOLUTIVOS

PROF. RICARDO CERRI

AGRADECIMENTOS: PROF. MURILO NALDI

Universidade Federal de São Carlos
Departamento de Computação – DC/UFSCar

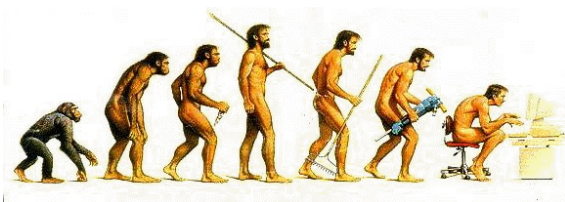
1

A teoria da Evolução Natural

- 1885 – C. Darwin - "A Origem das Espécies";
 - População de indivíduos com diferentes propriedades e habilidades
 - Limite do número de indivíduos numa população
 - Os mais hábeis são selecionados para reprodução
 - A natureza cria novos indivíduos com propriedades similares
 - Na natureza todos os indivíduos dentro de um ecossistema competem entre si por recursos

2

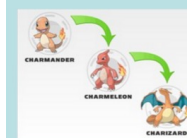
A teoria da Evolução Natural



3

A teoria da Evolução Natural

Conjunto de processos que promovem a diversificação dos seres vivos ao longo do tempo, dando origem às espécies atuais ou já extintas (consequência de suas adaptações ao ambiente onde vivem).



Até pokemon evolui!



4

Algoritmos Evolutivos

5

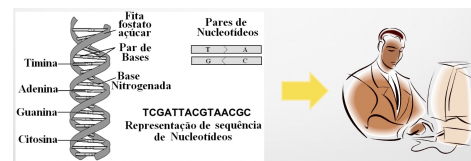
- Indivíduos de uma espécie pouco aptos possuem menor chance de gerar prole
 - Essa descendência reduzida faz com que suas características possuam uma menor probabilidade de serem propagadas
 - O contrário ocorre com os indivíduos mais aptos!
- Uma solução é representada como um indivíduo
 - Um conjunto de soluções é uma população
- A ideia é aplicar a seleção natural como processo de busca por soluções melhores!

5

Indivíduo

6

- Na natureza, as características dos indivíduos são codificadas em genes
- Um conjunto específico de genes é chamado de **genótipo**
- O genótipo é a base do **fenótipo**, que é a expressão das características físicas e mentais codificadas pelos genes



6

Indivíduo

7

- Genótipo é composto por um cromossomo, ou seja, vetores de números:
 - Binários
 - Inteiros
 - Reais
- Fenótipo é a forma que o genótipo é aplicado para solucionar o problema

7

Exemplo

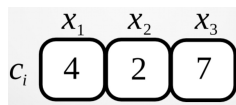
8

- Considere um problema de produção em que o lucro de uma empresa, dado pelas quantidades x_1 , x_2 e x_3 de três determinados produtos, construídos por segundo, é dado por uma função $f(\cdot)$ em centenas de reais
- Exemplo:
 - $i = \{x_1=4, x_2=2, x_3=7\}, f(i)=0,05$
 - ou seja, se produzo 4 unidades do produto 1, 2 do produto 2, e 7 do produto 3, tenho 5 reais de lucro

8

Genótipo

- Se i é uma possível solução do problema, podemos codificar essa solução em um genótipo, ou seja, em um cromossomo
- Por exemplo, uma sequência de números inteiros:



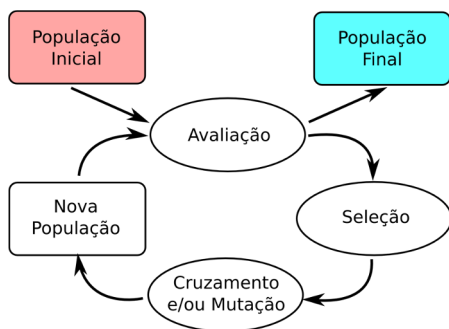
9

Fenótipo e Aptidão

- O fenótipo está relacionado com o resultado que a solução i , representada pelo genótipo c_i , consegue obter
- Funções são utilizadas para medir o resultado
 - ▣ Quanto melhor o resultado, mais apta está a solução
- Por esse motivo, chamamos a função utilizada para avaliar um indivíduo como função de aptidão
- Exemplo:
 - ▣ O indivíduo $i=\{x_1=4, x_2=2, x_3=7\}$ gera $f(i)=0,05$ de lucro e, portanto, sua aptidão é 0,05

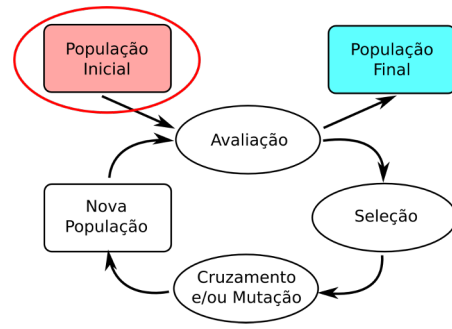
10

Visão geral dos algoritmos evolutivos



11

População Inicial



12

População

13

- Para aplicar seleção natural é preciso que haja uma população, ou seja, um conjunto de indivíduos
 - ▣ Cada indivíduo representa uma solução
- É importante que haja diversidade entre os indivíduos, para que a busca ocorra em diferentes locais do espaço de soluções (estados)
- Alguns exemplos de indivíduos da população inicial são
 - ▣ Soluções de potencial
 - ▣ Soluções conhecidas para o problema
 - ▣ Soluções aleatórias

13

Exemplo

14

- Considere os três estados a seguir, de forma que cada um seja uma possível solução para o problema de produção.

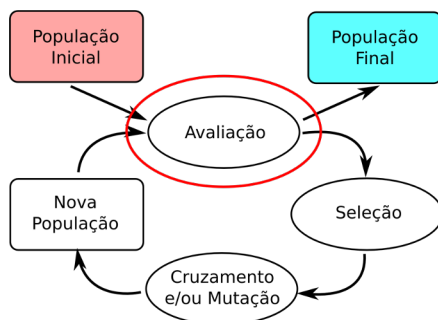
c_1	4	10	8
c_2	5	3	12
c_3	8	10	9
	x_1	x_2	x_3

- Escolhidos aleatoriamente, essa será nossa população inicial para o problema do lucro

14

Avaliação

15



15

Avaliação

16

- Função aptidão é utilizada para avaliar os indivíduos
 - ▣ Usada para definir o impacto do mesmo
- Exemplo:
 - ▣ Suponhamos que o lucro da empresa é calculado pela fórmula: $f(i) = \frac{x_1^2 - 2x_1x_2 + x_2x_3}{x_3^3 + x_1}$
 - ▣ $f(i)$ é a aptidão do indivíduo i

16

Exemplo

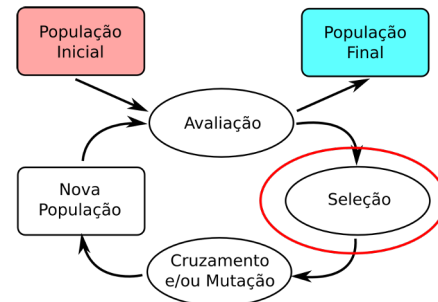
- Aplicando a função de aptidão na população a seguir, temos:

c_1	4	10	8	$f(c_i)$	0,0310
c_2	5	3	12		0,0179
c_3	8	10	9		-0,0081
	x_1	x_2	x_3		



17

Seleção



18

Seleção

- Para gerar uma nova população, é preciso selecionar indivíduos baseados em sua aptidão
 - Os indivíduos mais aptos devem possuir maior probabilidade de seleção
- Diversos métodos:
 - Seleção proporcional
 - Seleção determinística
 - Outras

19

Seleção Proporcional

- Este tipo de seleção é proporcional a aptidão dos indivíduos da população
- A probabilidade de seleção de um indivíduo de uma população de tamanho $|P|$ é igual A:

$$p_i = \frac{f(c_i)}{\sum_{j=1}^{|P|} f(c_j)}$$



20

Exemplo

21

- Voltemos para as aptidões dos cromossomos $f(c_1)=0.0310$, $f(c_2)=0.0179$ e $f(c_3)=-0.0081$
 - Não podemos ter probabilidades negativas!
 - Normalizamos os valores do intervalo $[-0.0081, 0.0310]$ para o intervalo $[1, 10]$

antes		depois
$f(c_1) = 0,0310$	normalização →	10
$f(c_2) = 0,0179$		6,98
$f(c_3) = -0,0081$		1

21

Exemplo

22

- Agora podemos calcular as probabilidades de cada indivíduo ser selecionado
 - Semelhante a uma roleta

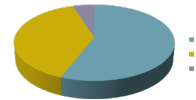
$$T = f(c_1) + f(c_2) + f(c_3)$$

$$T = 10 + 6.98 + 1 = 17.98$$

$$p_1 = \frac{10}{17.98} = 0.56$$

$$p_2 = \frac{6.98}{17.98} = 0.39$$

$$p_3 = \frac{1}{17.98} = 0.05$$



22

Seleção Determinística

23

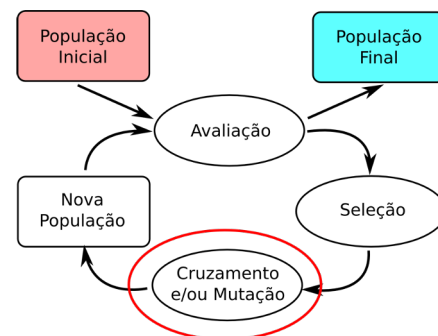
- Os indivíduos são sorteados aleatoriamente e comparados entre si
- Em seguida, é selecionado o indivíduo que possui maior aptidão dentre os dois comparados
- O processo é repetido



23

Operadores Genéticos

24



24

Operadores Genéticos

25

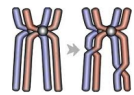
- Responsáveis pela modificação dos cromossomos ao longo das gerações
 - ▣ Executam a busca de novas soluções
- Podem ser guiados ou não
 - ▣ Utilizam algum tipo de heurística
- Vamos estudar dois tipos:
 - ▣ Cruzamento ou recombinação
 - ▣ Mutação

25

Cruzamento

26

- Os indivíduos selecionados são cruzados dois a dois
- Os indivíduos selecionados são chamados de progenitores
- O cruzamento combina características dos indivíduos selecionados para gerar novos indivíduos
- Os indivíduos gerados são chamados de descendentes

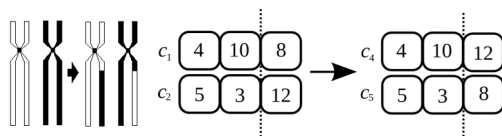


26

Cruzamento Simples

27

- O cruzamento mais simples consiste em trocar os cromossomos de um par de progenitores em um determinado ponto



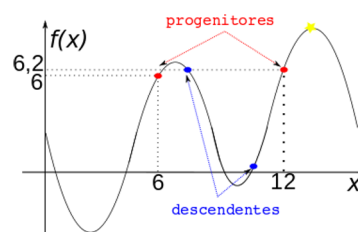
- Em um determinado ponto (aleatório ou não) os cromossomos de c_1 e c_2 são trocados para dar origem a c_4 e c_5

27

Cruzamento e Busca

28

- Cruzar soluções geram novas soluções que possuem características dos progenitores



28

Mutação

29

- Modifica parte do cromossomo (aleatoriamente ou por heurística), para gerar uma nova característica no indivíduo que não foi recebida de seus progenitores
 - ▣ Objetiva gerar soluções inéditas!
- A taxa de mutação é o parâmetro que define a probabilidade de um cromossomo sofrer mutação
- Exemplo:

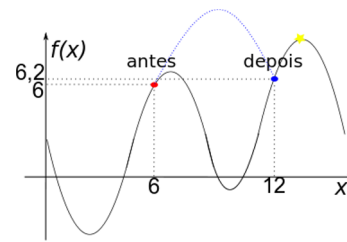
$$c_4 \begin{bmatrix} 4 & 10 & 12 \end{bmatrix} \rightarrow c_4' \begin{bmatrix} 8 & 10 & 12 \end{bmatrix}$$

31

Mutação e Busca

30

- Aplicar mutação é equivalente a fazer a busca evolutiva "saltar" no espaço do soluções



30

Elitismo

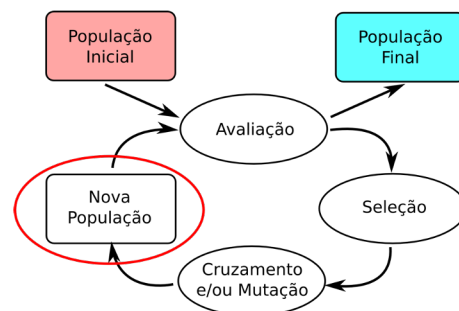
31

- Os operadores de cruzamento e mutação alteram os indivíduos de uma população para outra
- Essa alteração nem sempre melhora a população
- Por isso, é interessante manter um conjunto com o(s) melhor(es) indivíduo(s) de uma população para outra
- Essa prática é chamada elitismo

31

Nova População

32



32

Nova População

- Depois que os indivíduos da população anterior são selecionados e os operadores evolutivos são aplicados, uma nova geração é formada
- A partir da nova população, todo o processo é aplicado novamente
- Cada ciclo completo do AE é chamado de geração
- O processo é repetido, criando novas gerações

33

Crítérios de Parada

- O algoritmo finaliza quando algum critério de parada é atingido
- Exemplos:
 - Convergência da população
 - Número máximo de gerações
 - Limite de gerações sem melhora

34

Algoritmo Básico

1. $t=0$;
2. Gerar população inicial $P(0)$;
3. **Para todo** indivíduo i da população atual $P(t)$ **faça**
Avaliar aptidão do indivíduo i ;
4. **Fim para**;
5. **Enquanto** Critério de parada não for satisfeito **faça**
 $t=t+1$;
 Selecionar população $P(t)$ a partir de $P(t-1)$;
 Aplicar operadores de cruzamento sobre $P(t)$;
 Aplicar operadores de mutação sobre $P(t)$;
 Avaliar $P(t)$;
 Aplicar elitismo sobre $P(t)$;
6. **Fim enquanto**

35

Exemplo de codificação

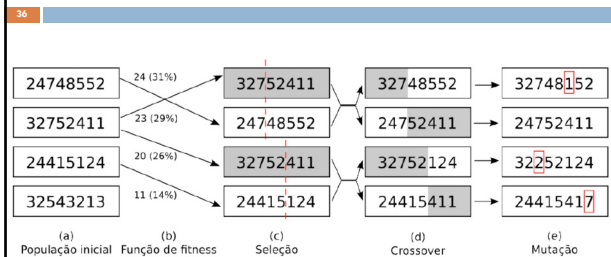


Figura 01 – Um exemplo gráfico do funcionamento dos algoritmos genéticos
(TELES, 2011 apud NUNES; GUIMARÃES; CARVALHO, 2013)

36

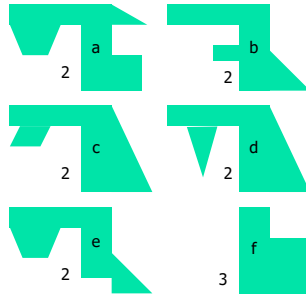
Exemplo: Problema Combinatorial

37

Encontrar a chave para o chaveiro:



Quanto menor o valor de aptidão, melhor a chave

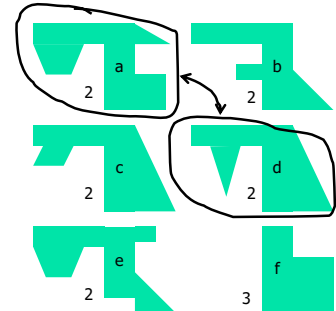


37

Seleção de a e d

38

Encontrar a chave para o chaveiro:



38

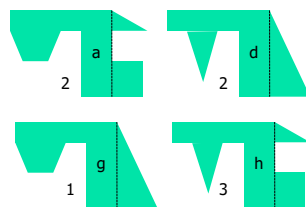
Cruzamento de a e d

39

Encontrar a chave para o chaveiro:



Cruzamento



39

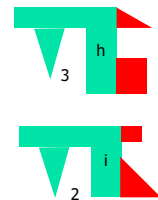
Mutação de h

40

Encontrar a chave para o chaveiro:



Mutação

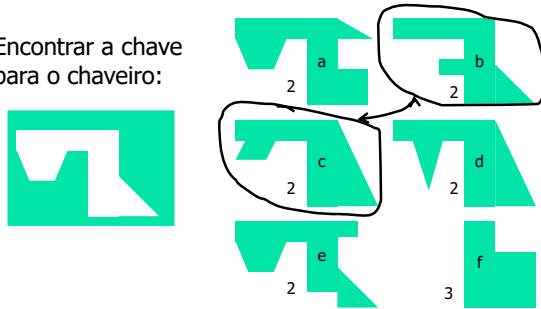


40

Seleção de c e b

41

Encontrar a chave para o chaveiro:



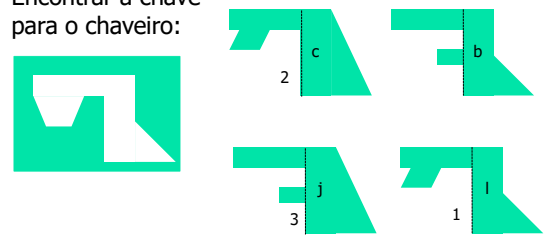
41

Cruzamento de c e b

42

Encontrar a chave para o chaveiro:

Cruzamento



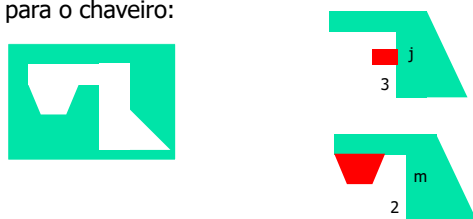
42

Mutação de j

43

Encontrar a chave para o chaveiro:

Mutação

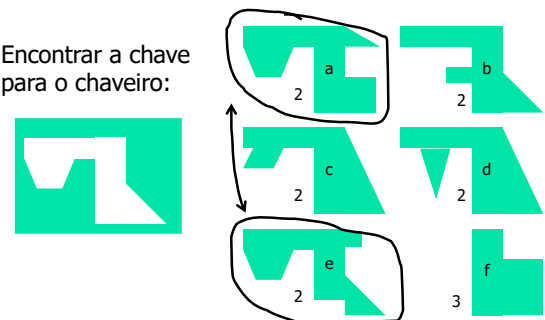


43

Seleção de a e e

44

Encontrar a chave para o chaveiro:



44

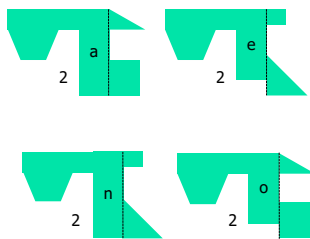
Cruzamento de a e e

45

Encontrar a chave para o chaveiro:



Cruzamento



45

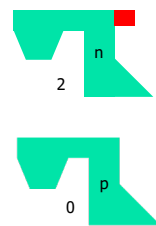
Mutação de n

46

Encontrar a chave para o chaveiro:



Mutação



46

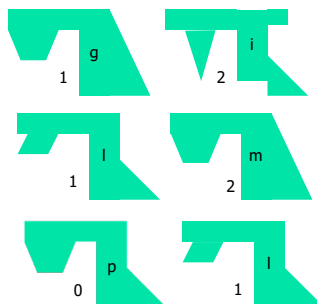
Nova População

47

Encontrar a chave para a fechadura:



Quanto menor o valor de Aptidão, melhor a chave



47

Solução

48

Encontrar a chave para o chaveiro:



48

Exemplo: geração de regras

49

R. Cerri, M.P. Basgalupp, R.C. Barros et al. / *Applied Soft Computing Journal* 77 (2019) 584–604

Values		Possible indexed values	
A ₁	A, B, C	A, B, C, {A,B}, {A,C}, {B,C}, {A,B,C}	
		0 1 2 3 4 5 6	
A ₂	X, Y, Z	X, Y, Z, {X,Y}, {X,Z}, {Y,Z}, {X,Y,Z}	
		0 1 2 3 4 5 6	
A ₃	Num	Numeric attributes do not need to be indexed	
A ₄	Num	Numeric attributes do not need to be indexed	

Attribute type		Indexed Operators			
Numeric		<	>	<=	>=
		0	1	2	3
Categoric		=	≠	in	
		0	1	2	

FLAG	OP	Δ ₁	Δ ₂	FLAG	OP	Δ ₁	Δ ₂	FLAG	OP	Δ ₁	Δ ₂	FLAG	OP	Δ ₁	Δ ₂
1	0	2	0	1	2	5	0	1	3	3	4	1	1	0.4	0
A ₁ = C				A ₂ in {Y,Z}				A ₃ < A ₄				A ₄ >= 0.4			

Fig. 3. Indexing of operators and nominal values.
Source: Adapted from [14].

49

Dúvidas?

50



50