

Inteligência Artificial – ACH2016

Aula 04 – Computação Evolutiva e Algoritmos Genéticos

Norton Trevisan Roman
(norton@usp.br)

14 de março de 2019

Computação Evolutiva

Definição

- Série de técnicas que buscam simular a evolução natural

Computação Evolutiva

Definição

- Série de técnicas que buscam simular a evolução natural
- Trata-se de um modelo bio-inspirado

Computação Evolutiva

Definição

- Série de técnicas que buscam simular a evolução natural
- Trata-se de um modelo bio-inspirado
 - Nesse caso, na reprodução sexuada e, mais especificamente, no mecanismo de transmissão de genes a futuras gerações

Computação Evolutiva

Definição

- Série de técnicas que buscam simular a evolução natural
- Trata-se de um modelo bio-inspirado
 - Nesse caso, na reprodução sexuada e, mais especificamente, no mecanismo de transmissão de genes a futuras gerações
 - Usando seleção natural para definir os indivíduos mais adequados

Computação Evolutiva

Definição

- Série de técnicas que buscam simular a evolução natural
- Trata-se de um modelo bio-inspirado
 - Nesse caso, na reprodução sexuada e, mais especificamente, no mecanismo de transmissão de genes a futuras gerações
 - Usando seleção natural para definir os indivíduos mais adequados
- Simulam então a evolução via seleção, mutação e reprodução

Computação Evolutiva

Processo

- Seleção:

Computação Evolutiva

Processo

- Seleção:
 - Indivíduos são selecionados de acordo com sua função objetivo
→ sua **função de adaptação**
(fitness function)

Computação Evolutiva

Processo

- Seleção:
 - Indivíduos são selecionados de acordo com sua função objetivo
→ sua **função de adaptação**
(*fitness function*)
 - Indivíduos com alta adaptação têm maior **probabilidade** de passarem adiante seus genes

Computação Evolutiva

Processo

- Seleção:
 - Indivíduos são selecionados de acordo com sua função objetivo
→ sua **função de adaptação**
(*fitness function*)
 - Indivíduos com alta adaptação têm maior **probabilidade** de passarem adiante seus genes
 - Probabilidade? Sim... sorte ajuda...

Computação Evolutiva

Processo

- Seleção:
 - Indivíduos são selecionados de acordo com sua função objetivo
→ sua **função de adaptação** (*fitness function*)
 - Indivíduos com alta adaptação têm maior **probabilidade** de passarem adiante seus genes
 - Probabilidade? Sim... sorte ajuda...



Fonte: <https://www.livescience.com/60898-asteroid-struck-unlucky-spot-doomed-dinosaurs.html>

Computação Evolutiva

Processo

- Mutação:
 - Indivíduos **têm chance** de sofrer algumas mutações aleatórias em seus genes

Computação Evolutiva

Processo

- Mutação:
 - Indivíduos **têm chance** de sofrer algumas mutações aleatórias em seus genes



Fonte: <https://medium.com/textando/qual-a-ordem-dos-filmes-x-men-20ff4717f108>

Computação Evolutiva

Processo

- Mutação:
 - Indivíduos **têm chance** de sofrer algumas mutações aleatórias em seus genes
- Reprodução:



Fonte: <https://medium.com/textando/qual-a-ordem-dos-filmes-x-men-20ff4717f108>

Computação Evolutiva

Processo

- Mutação:
 - Indivíduos **têm chance** de sofrer algumas mutações aleatórias em seus genes
- Reprodução:
 - Novos indivíduos são formados pelo cruzamento (*crossover*) de indivíduos da população atual



Fonte: <https://medium.com/textando/qual-a-ordem-dos-filmes-x-men-20ff4717f108>

Computação Evolutiva

Processo

- Mutação:

- Indivíduos **têm chance** de sofrer algumas mutações aleatórias em seus genes



Fonte: <https://medium.com/textando/qual-a-ordem-dos-filmes-x-men-20ff4717f108>

- Reprodução:

- Novos indivíduos são formados pelo cruzamento (*crossover*) de indivíduos da população atual



Fonte: <https://www.ign.com/articles/2012/03/28/great-mythological-movie-beasts>

Computação Evolutiva

Nomenclatura

<i>Nome</i>	<i>Significado</i>
Cromossomo	Arranjo representando um indivíduo
Gene	Atributo ou variável no cromossomo
Alelo	Valor do atributo ou variável
Locus	Posição do atributo no cromossomo
Genótipo	A estrutura do cromossomo → o arranjo de atributos
Fenótipo	A interpretação do genótipo → uma solução para o problema
População	Conjunto de indivíduos
Geração	Cada iteração do algoritmo

Computação Evolutiva

Resultado

- Série de algoritmos de otimização

Computação Evolutiva

Resultado

- Série de algoritmos de otimização
 - Geralmente baseados em um conjunto simples de regras

Computação Evolutiva

Resultado

- Série de algoritmos de otimização
 - Geralmente baseados em um conjunto simples de regras
 - O processo de otimização iterativamente melhora a qualidade das soluções, até que uma aceitável seja encontrada

Computação Evolutiva

Resultado

- Série de algoritmos de otimização
 - Geralmente baseados em um conjunto simples de regras
 - O processo de otimização iterativamente melhora a qualidade das soluções, até que uma aceitável seja encontrada
- Existem diversos métodos de computação evolutiva

Computação Evolutiva

Resultado

- Série de algoritmos de otimização
 - Geralmente baseados em um conjunto simples de regras
 - O processo de otimização iterativamente melhora a qualidade das soluções, até que uma aceitável seja encontrada
- Existem diversos métodos de computação evolutiva
 - Todos simulam a evolução criando uma população de indivíduos; avaliando sua adaptação; gerando uma nova população (via operadores genéticos); e repetindo esse processo um número de vezes

Computação Evolutiva

Resultado

- Série de algoritmos de otimização
 - Geralmente baseados em um conjunto simples de regras
 - O processo de otimização iterativamente melhora a qualidade das soluções, até que uma aceitável seja encontrada
- Existem diversos métodos de computação evolutiva
 - Todos simulam a evolução criando uma população de indivíduos; avaliando sua adaptação; gerando uma nova população (via operadores genéticos); e repetindo esse processo um número de vezes
 - Veremos Algoritmos Genéticos e Programação Genética

Algoritmos Genéticos

Algoritmos Genéticos

Definição

- Um algoritmo genético é um algoritmo de busca local estocástico em que estados sucessores são gerados a partir da combinação de 2 estados pré-existentes

Algoritmos Genéticos

Definição

- Um algoritmo genético é um algoritmo de busca local estocástico em que estados sucessores são gerados a partir da combinação de 2 estados pré-existentes
 - Uma nova população é criada a partir da combinação de indivíduos da população anterior

Algoritmos Genéticos

Definição

- Um algoritmo genético é um algoritmo de busca local estocástico em que estados sucessores são gerados a partir da combinação de 2 estados pré-existentes
 - Uma nova população é criada a partir da combinação de indivíduos da população anterior
- Nesse ponto, difere da busca local tradicional por esta modificar um único estado

Algoritmos Genéticos

Funcionamento

- Começamos com uma **população inicial**

24748552

32752411

24415124

32543213

Initial Population

Fonte: Adaptado de AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos

Funcionamento

- Começamos com uma **população inicial**
 - Conjunto de k estados (ou indivíduos) **gerados aleatoriamente**

24748552

32752411

24415124

32543213

Initial Population

Fonte: Adaptado de AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos

Funcionamento

- Cada indivíduo é representado por uma cadeia, **de tamanho fixo**, dentro de um alfabeto finito

24748552

32752411

24415124

32543213

Initial Population

Fonte: Adaptado de AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos

Funcionamento

- Cada indivíduo é representado por uma cadeia, **de tamanho fixo**, dentro de um alfabeto finito
 - Ex: 0s e 1s; inteiros de 0 a um limite etc

24748552

32752411

24415124

32543213

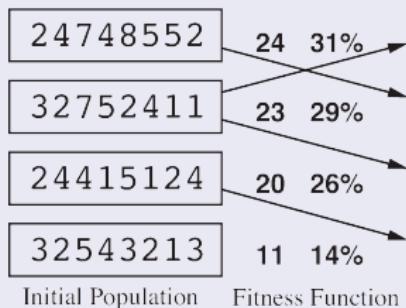
Initial Population

Fonte: Adaptado de AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos

Funcionamento

- Cada estado é avaliado conforme uma função de adaptação (função de *fitness*)

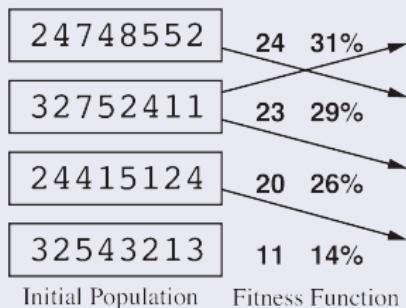


Fonte: Adaptado de AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos

Funcionamento

- Cada estado é avaliado conforme uma função de adaptação (função de *fitness*)
- A probabilidade de um indivíduo ser escolhido para reprodução é proporcional ao valor da função

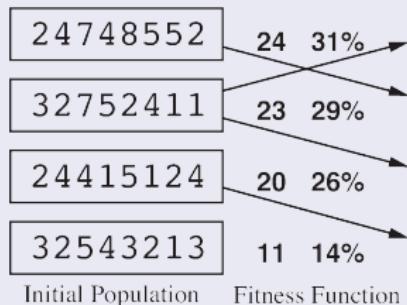


Fonte: Adaptado de AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos

Funcionamento

- A função de adaptação mede o desempenho do cromossomo no problema

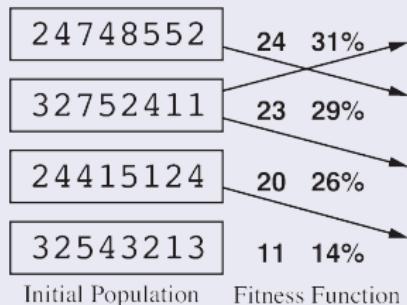


Fonte: Adaptado de AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos

Funcionamento

- A função de adaptação mede o desempenho do cromossomo no problema
 - Corresponde ao papel do ambiente na evolução natural

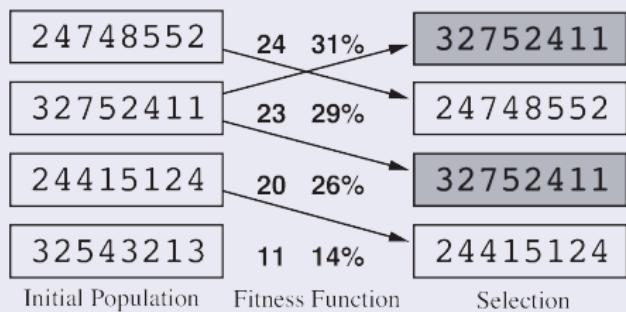


Fonte: Adaptado de AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos

Funcionamento

- Pares são aleatoriamente escolhidos para cruzamento, conforme essas probabilidades

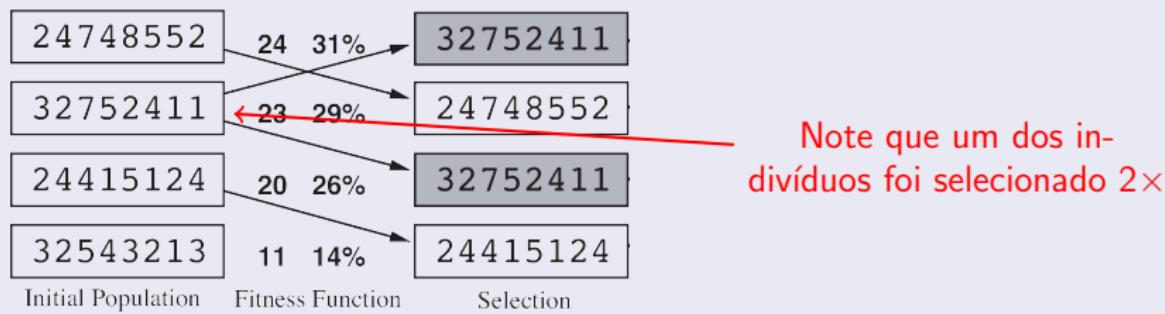


Fonte: Adaptado de AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos

Funcionamento

- Pares são aleatoriamente escolhidos para cruzamento, conforme essas probabilidades

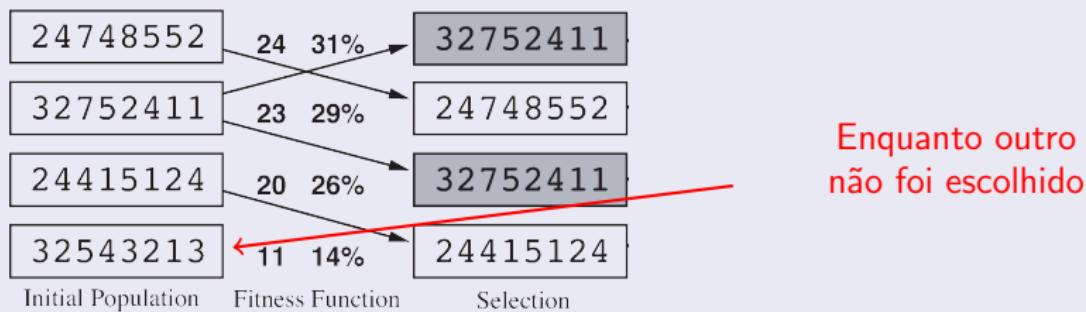


Fonte: Adaptado de AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos

Funcionamento

- Pares são aleatoriamente escolhidos para cruzamento, conforme essas probabilidades

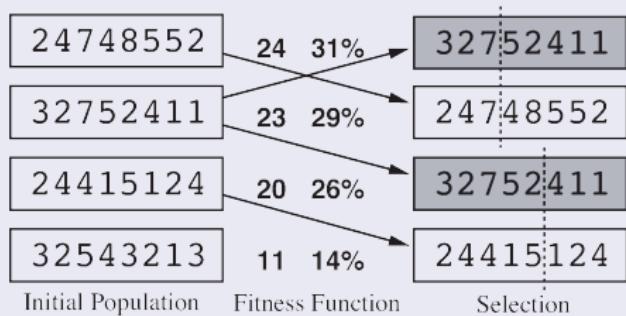


Fonte: Adaptado de AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos

Funcionamento

- Pares são aleatoriamente escolhidos para cruzamento, conforme essas probabilidades
 - Para cada par, escolhemos aleatoriamente um ponto (potencialmente diferente) de cruzamento (*crossover*)

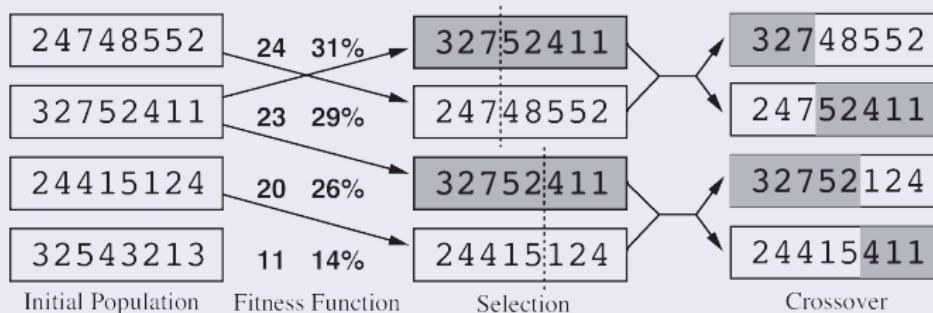


Fonte: Adaptado de AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos

Funcionamento

- Os pares escolhidos produzem filhos

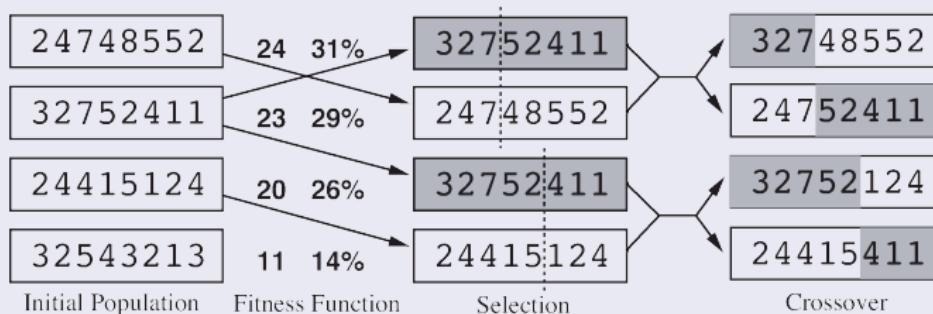


Fonte: Adaptado de AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos

Funcionamento

- Os pares escolhidos produzem filhos
 - Ou seja, indivíduos com melhor *fitness* são selecionados probabilisticamente para produzir a próxima geração. Assim, membros da geração atual geram a próxima

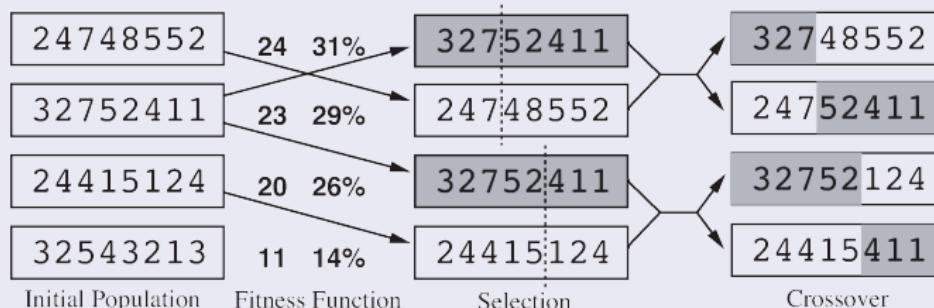


Fonte: Adaptado de AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos

Funcionamento

- A produção dos filhos se dá via *crossover*

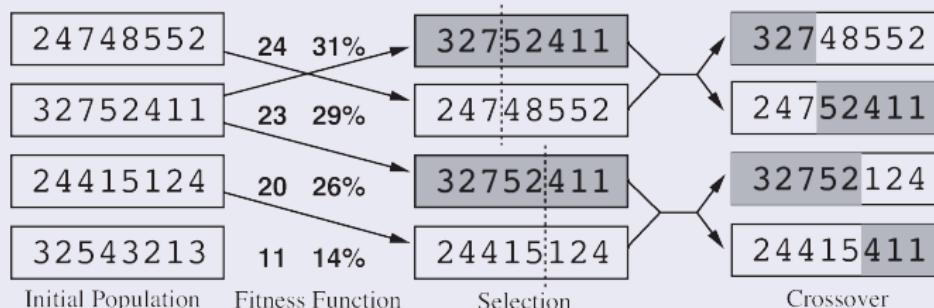


Fonte: Adaptado de AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos

Funcionamento

- A produção dos filhos se dá via *crossover*
 - As sub-cadeias dos pais são trocadas a partir do ponto de *crossover*, gerando os filhos – **Cruzamento de Ponto Único**

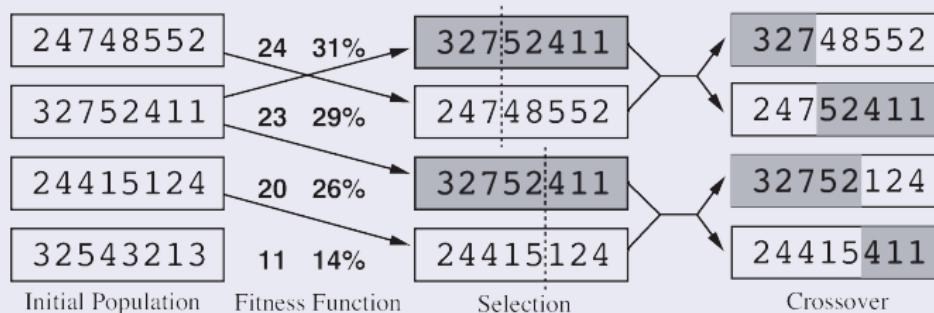


Fonte: Adaptado de AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos

Funcionamento

- Em geral, a população é bem diversificada no início

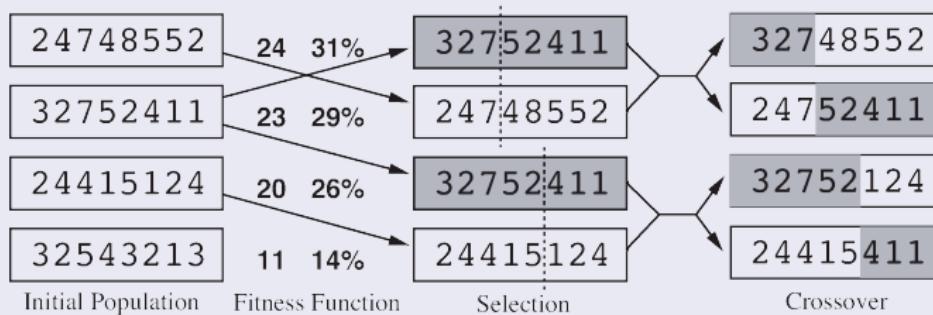


Fonte: Adaptado de AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos

Funcionamento

- Em geral, a população é bem diversificada no início
 - Assim como *simulated annealing*, *crossover* frequentemente dá passos largos no início da busca e menores mais tarde, quando muitos indivíduos são bastante similares

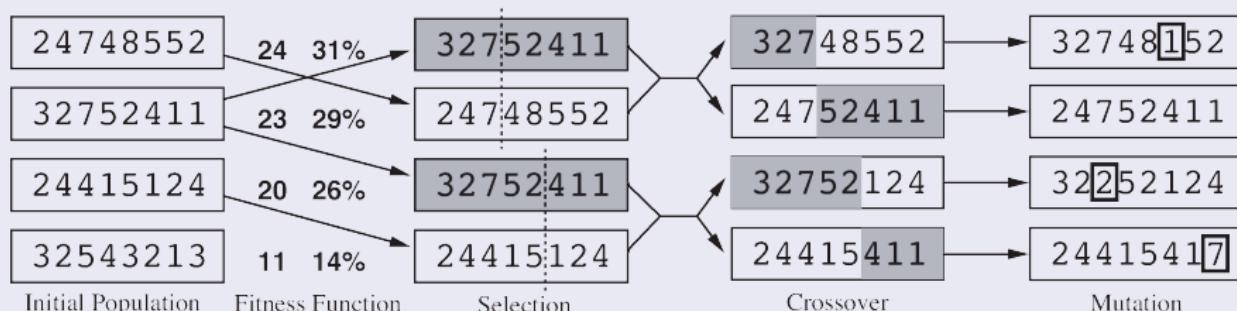


Fonte: Adaptado de AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos

Funcionamento

- Os filhos, por sua vez, estão sujeitos a mutações aleatórias

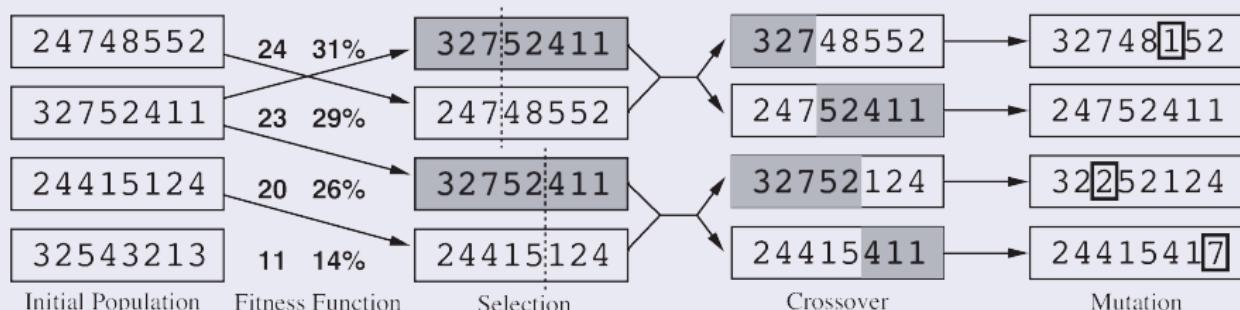


Fonte: Adaptado de AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos

Funcionamento

- Os filhos, por sua vez, estão sujeitos a mutações aleatórias
 - Cada posição na cadeia dos filhos está sujeita a mutação com uma pequena probabilidade, independentemente das demais posições

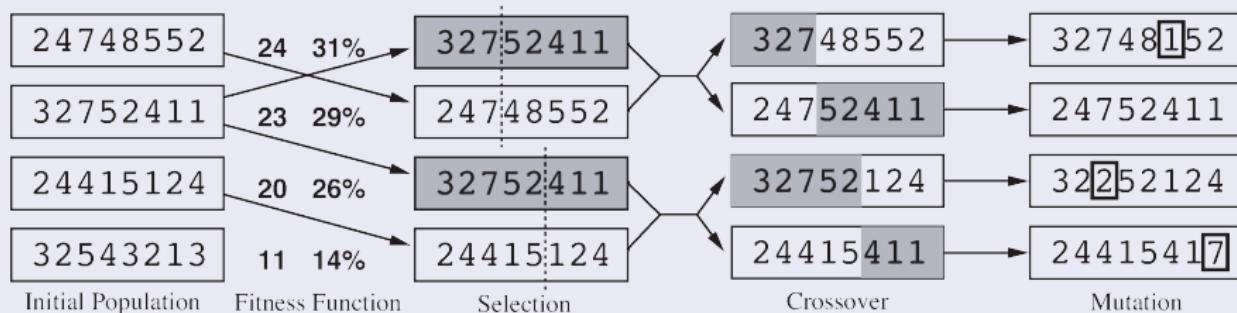


Fonte: Adaptado de AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos

Funcionamento

- Como resultado, após um número de reproduções sucessivas, os menos adaptados são extintos

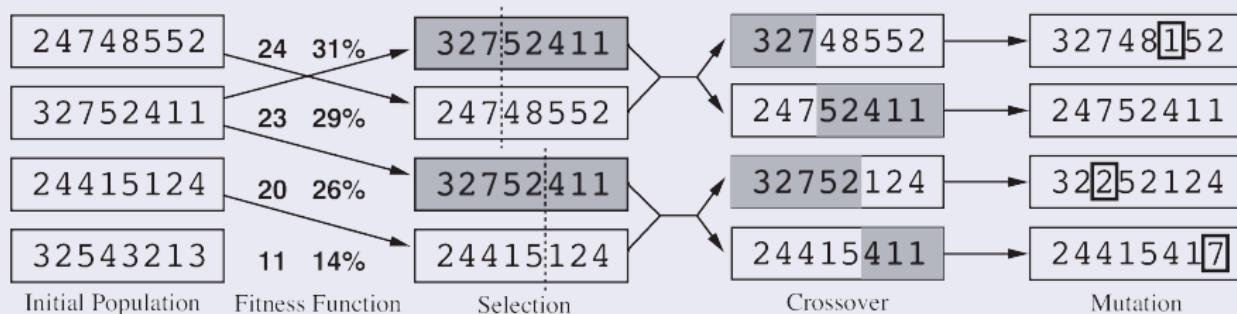


Fonte: Adaptado de AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos

Funcionamento

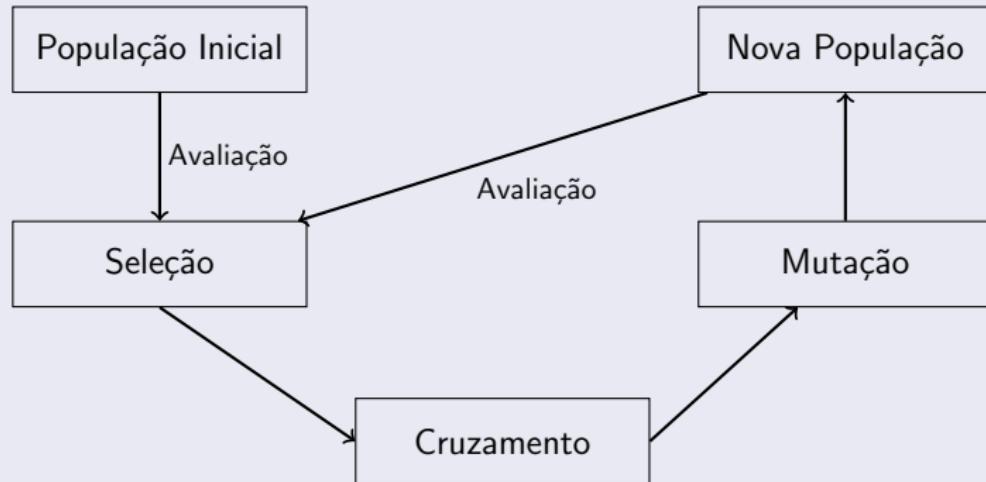
- Como resultado, após um número de reproduções sucessivas, os menos adaptados são extintos
- Enquanto os mais adaptados gradualmente dominam a população



Fonte: Adaptado de AIMA. Russell & Norvig.

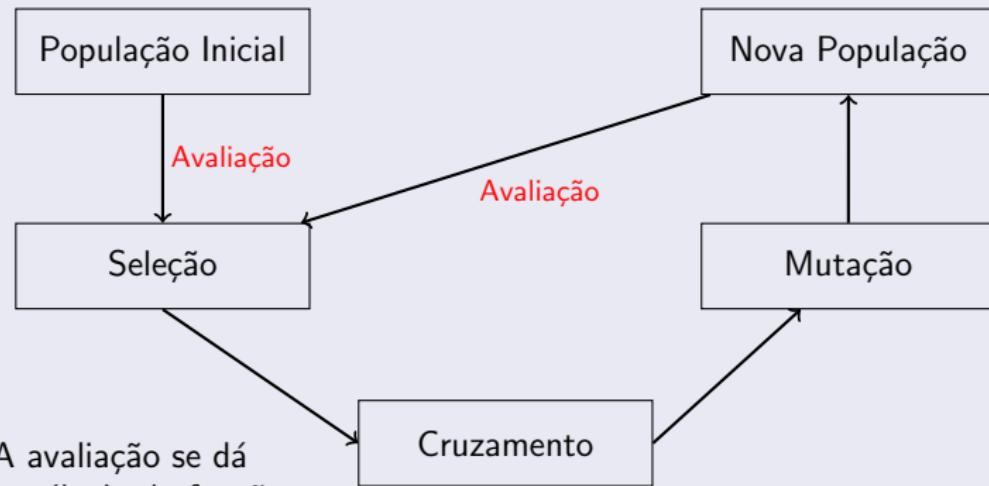
Algoritmos Genéticos

Ciclo de um Algoritmo Genético



Algoritmos Genéticos

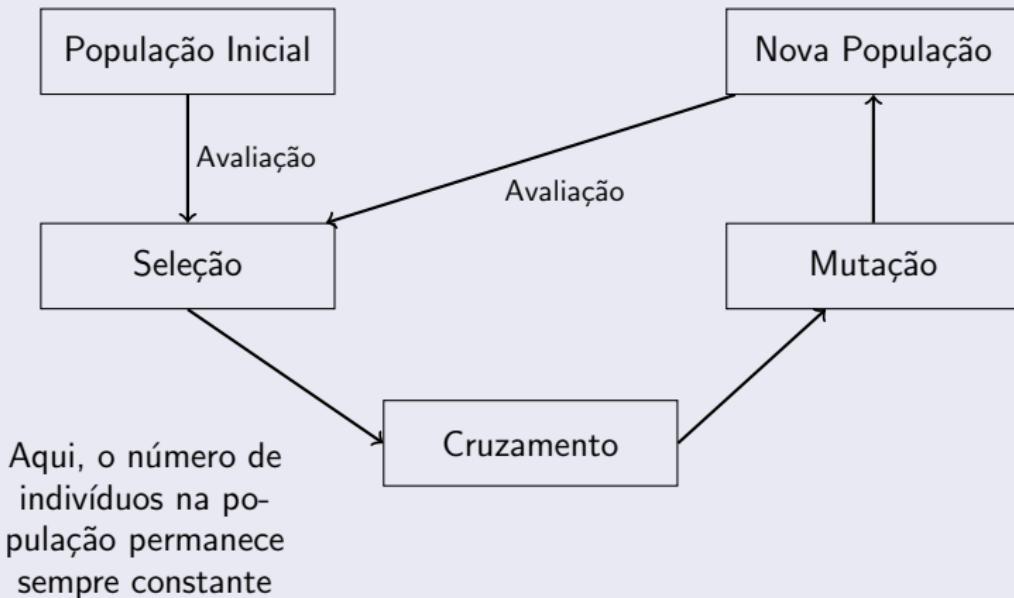
Ciclo de um Algoritmo Genético



A avaliação se dá pelo cálculo da função de *fitness* de cada indivíduo na população

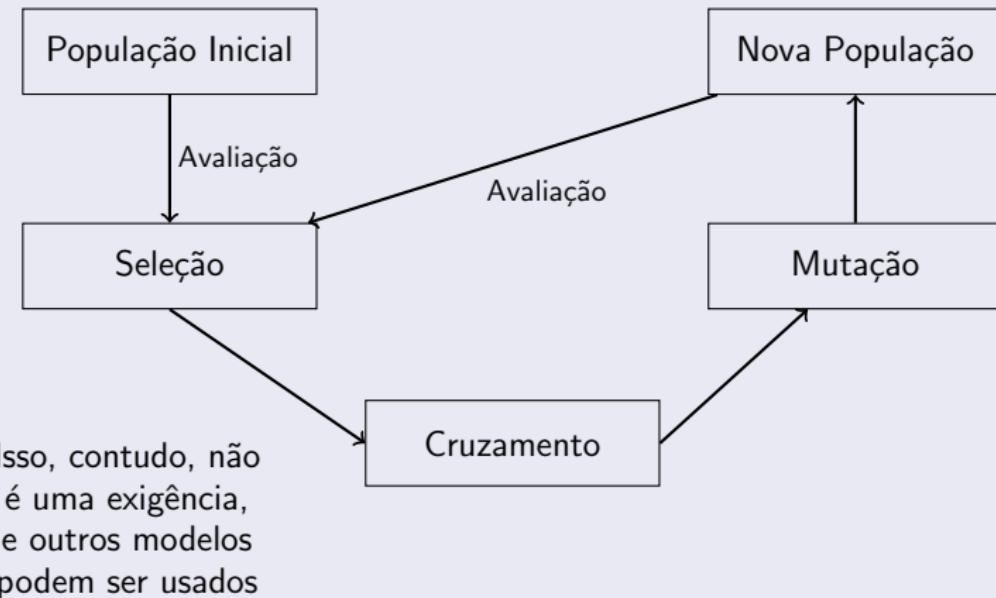
Algoritmos Genéticos

Ciclo de um Algoritmo Genético



Algoritmos Genéticos

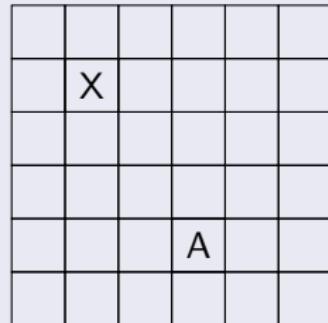
Ciclo de um Algoritmo Genético



Algoritmos Genéticos

Exemplo

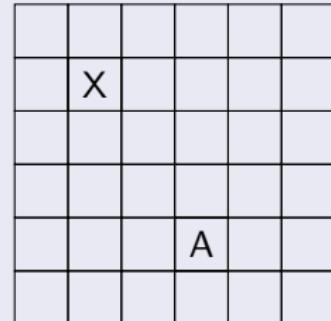
- Estamos em A e queremos achar um caminho para X



Algoritmos Genéticos

Exemplo

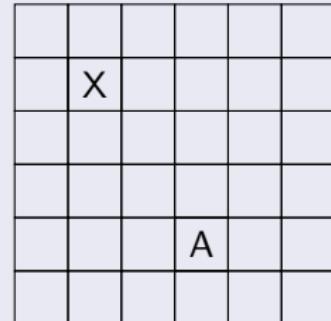
- Estamos em A e queremos achar um caminho para X
- Temos 4 movimentos permitidos:



Algoritmos Genéticos

Exemplo

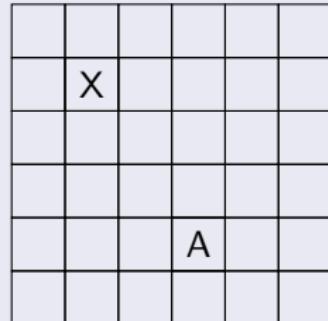
- Estamos em A e queremos achar um caminho para X
- Temos 4 movimentos permitidos:
 - Para cima (C), baixo (B), esquerda (E) e direita (D)



Algoritmos Genéticos

Exemplo

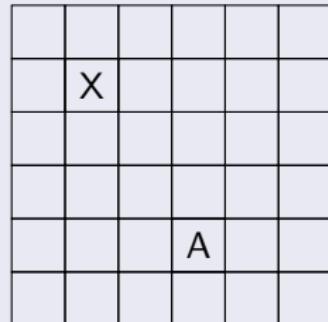
- Estamos em A e queremos achar um caminho para X
- Temos 4 movimentos permitidos:
 - Para cima (C), baixo (B), esquerda (E) e direita (D)
 - Suponha que, ao passarmos de uma borda, apareceremos na borda do extremo oposto, ou seja, $(1, 6) + D = (1, 1)$



Algoritmos Genéticos

Exemplo

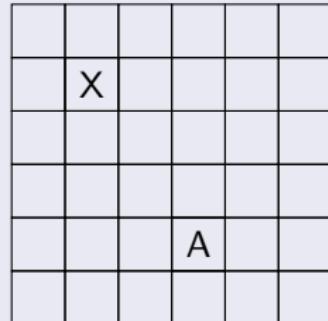
- Estamos em A e queremos achar um caminho para X
- Temos 4 movimentos permitidos:
 - Para cima (C), baixo (B), esquerda (E) e direita (D)
 - Suponha que, ao passarmos de uma borda, apareceremos na borda do extremo oposto, ou seja, $(1, 6) + D = (1, 1)$
- Queremos dar no máximo 8 passos



Algoritmos Genéticos

Exemplo

- Estamos em A e queremos achar um caminho para X
- Temos 4 movimentos permitidos:
 - Para cima (C), baixo (B), esquerda (E) e direita (D)
 - Suponha que, ao passarmos de uma borda, apareceremos na borda do extremo oposto, ou seja, $(1, 6) + D = (1, 1)$
- Queremos dar no máximo 8 passos
 - Esse será o tamanho de nosso cromossomo



Algoritmos Genéticos

Exemplo

- Cromossomo:

C	B	E	E	D	C	D	E
---	---	---	---	---	---	---	---

Algoritmos Genéticos

Exemplo

- Cromossomo:
- Começamos uma população inicial aleatória:

C	B	E	E	D	C	D	E
---	---	---	---	---	---	---	---

	X						3
	2						
1							
					A		
					4		

- 1: D D D E C C C D B
- 2: E D E E C B C C
- 3: C B E D D C C C
- 4: B B E D E C D E

Algoritmos Genéticos

Exemplo

- Cromossomo:
- Começamos uma população inicial aleatória:
- Seleção:

C	B	E	E	D	C	D	E
---	---	---	---	---	---	---	---

X							3
2							
1							
					A		
					4		

1:	D	D	D	E	C	C	D	B
2:	E	D	E	E	C	B	C	C
3:	C	B	E	D	D	C	C	C
4:	B	B	E	D	E	C	D	E

Algoritmos Genéticos

Exemplo

- Cromossomo:
- Começamos uma população inicial aleatória:
- Seleção:
 - A função de *fitness* dá maior valor a quem chegou mais perto

C	B	E	E	D	C	D	E
---	---	---	---	---	---	---	---

X							3
2							
1							
					A		
					4		

- 1: D D D E C C C D B
- 2: E D E E C B C C
- 3: C B E D D C C C
- 4: B B E D E C D E

Algoritmos Genéticos

Exemplo

- Cromossomo:
- Começamos uma população inicial aleatória:
- Seleção:
 - A função de *fitness* dá maior valor a quem chegou mais perto
 - Nesse caso, escolhemos o 2º e o 4º

C	B	E	E	D	C	D	E
---	---	---	---	---	---	---	---

	X						3
	2						
1							
					A		
					4		

1:

D	D	D	E	C	C	D	B
---	---	---	---	---	---	---	---

2:

E	D	E	E	C	B	C	C
---	---	---	---	---	---	---	---

3:

C	B	E	D	D	C	C	C
---	---	---	---	---	---	---	---

4:

B	B	E	D	E	C	D	E
---	---	---	---	---	---	---	---

Algoritmos Genéticos

Exemplo

- Cromossomo:
- Começamos uma população inicial aleatória:
- Seleção:
 - A função de *fitness* dá maior valor a quem chegou mais perto
 - Nesse caso, escolhemos o 2º e o 4º
 - Mas o 4º é o pior!

C	B	E	E	D	C	D	E
---	---	---	---	---	---	---	---

	X						3
	2						
1							
					A		
					4		

1:

D	D	D	E	C	C	D	B
---	---	---	---	---	---	---	---

2:

E	D	E	E	C	B	C	C
---	---	---	---	---	---	---	---

3:

C	B	E	D	D	C	C	C
---	---	---	---	---	---	---	---

4:

B	B	E	D	E	C	D	E
---	---	---	---	---	---	---	---

Algoritmos Genéticos

Exemplo

- Seleção (cont.):
 - Lembre que a seleção é **probabilística**, com base no valor do *fitness*

	X						
	2						
1							
				A			
				4			

- 1: D D D E C C C D B
- 2: E D E E C B C C
- 3: C B E D D C C C
- 4: B B E D E C D E

Algoritmos Genéticos

Exemplo

- Seleção (cont.):
 - Lembre que a seleção é **probabilística**, com base no valor do *fitness*
 - Então não necessariamente o melhor é escolhido. Este apenas tem mais chance que os demais.

X							
2							
1							
				A			
				4			

- 1: D D D E C C C D B
- 2: E D E E C B C C
- 3: C B E D D C C C
- 4: B B E D E C D E

Algoritmos Genéticos

Exemplo

- Seleção (cont.):

- Lembre que a seleção é **probabilística**, com base no valor do *fitness*
- Então não necessariamente o melhor é escolhido. Este apenas tem mais chance que os demais.

- Cruzamento:

X								
	2							
1								
				A				
					4			

- 1: D D D E C C C D B
- 2: E D E E C B C C
- 3: C B E D D C C C
- 4: B B E D E C D E

Algoritmos Genéticos

Exemplo

- Seleção (cont.):

- Lembre que a seleção é **probabilística**, com base no valor do *fitness*
- Então não necessariamente o melhor é escolhido. Este apenas tem mais chance que os demais.

- Cruzamento:

- Escolhemos aleatoriamente uma sub-cadeia dos selecionados

	X							
	2							
1								
				A				
				4				

1:	D	D	D	E	C	C	D	B
2:	E	D	E	E	C	B	C	C
3:	C	B	E	D	D	C	C	C
4:	B	B	E	D	E	C	D	E

Algoritmos Genéticos

Exemplo

- Cruzamento (cont.):
 - E as trocamos de lugar
(Cruzamento de Dois Pontos)

1:	D	D	D	E	C	C	D	B
2:	E	D	E	D	E	C	C	C
3:	C	B	E	D	D	C	C	C
4:	B	B	E	E	C	B	D	E

Algoritmos Genéticos

Exemplo

- Cruzamento (cont.):
 - E as trocamos de lugar
(Cruzamento de Dois Pontos)
- Mutação:
 - Escolhemos posições aleatórias

- 1: D D D E C C D B
- 2: E D E D E C C C
- 3: C B E D D C C C
- 4: B B E E C B D E

Algoritmos Genéticos

Exemplo

- Cruzamento (cont.):
 - E as trocamos de lugar
(Cruzamento de Dois Pontos)
- Mutação:
 - Escolhemos posições aleatórias
 - E fazemos mutações aleatórias nelas

	X						3
	2						
1							
						A	
						4	

- 1: D D D E C C D B
- 2: E D E D E C E C
- 3: C B E D D C C C
- 4: B B D E C E D E

Algoritmos Genéticos

Exemplo

- Cruzamento (cont.):
 - E as trocamos de lugar
(Cruzamento de Dois Pontos)
- Mutação:
 - Escolhemos posições aleatórias
 - E fazemos mutações aleatórias nelas
- Repetimos a operação até atingirmos o objetivo

	X						3
	2						
1							
						A	
						4	

- 1: D D D E C C D B
- 2: E D E D E C E C
- 3: C B E D D C C C
- 4: B B D E C E D E

Algoritmos Genéticos

Algoritmo

Função GENÉTICO(*população, FITNESS*): indivíduo repita

nova_população $\leftarrow \emptyset$

para *i* = 1 **até** *TAMANHO(população)* **faça**

x \leftarrow SELEÇÃO_ALEATÓRIA(*população, FITNESS*)

y \leftarrow SELEÇÃO_ALEATÓRIA(*população, FITNESS*)

filho \leftarrow CRUZA(*x, y*)

se *CHANCE_MUTAÇÃO()* **então**

filho \leftarrow MUTA(*filho*)

Adicione *filho* a *nova_população*

população \leftarrow *nova_população*

até algum indivíduo ser apto o suficiente, ou iterações suficientes terem passado

retorna o melhor indivíduo na população, de acordo com *FITNESS*

Algoritmos Genéticos

Algoritmo

Função GENÉTICO(*população*, *FITNESS*): indivíduo
repita

nova_população $\leftarrow \emptyset$

para $i = 1$ até *TAMANHO(população)* **faça**

$x \leftarrow \text{SELEÇÃO_ALEATÓRIA}(população, FITNESS)$

$y \leftarrow \text{SELEÇÃO_ALEATÓRIA}(população, FITNESS)$

$\text{filho} \leftarrow \text{CRUZA}(x, y)$

se *CHANCE_MUTAÇÃO()* **então**

$\text{filho} \leftarrow \text{MUTA}(\text{filho})$

Adicione *filho* a *nova_população*

$\text{população} \leftarrow \text{nova_população}$

até algum indivíduo ser apto o suficiente, ou iterações suficientes terem passado

retorna o melhor indivíduo na população, de acordo com *FITNESS*

População inicial gerada aleatoriamente

Algoritmos Genéticos

Algoritmo

Função GENÉTICO(*população, FITNESS*): indivíduo
repita

nova_população $\leftarrow \emptyset$

para $i = 1$ até *TAMANHO(população)* **faça**

$x \leftarrow \text{SELEÇÃO_ALEATÓRIA}(população, FITNESS)$

$y \leftarrow \text{SELEÇÃO_ALEATÓRIA}(população, FITNESS)$

$\text{filho} \leftarrow \text{CRUZA}(x, y)$

se *CHANCE_MUTAÇÃO()* **então**

$\text{filho} \leftarrow \text{MUTA}(\text{filho})$

Adicione *filho* a *nova_população*

$\text{população} \leftarrow \text{nova_população}$

até algum indivíduo ser apto o suficiente, ou iterações suficientes terem passado

retorna o melhor indivíduo na população, de acordo com *FITNESS*

A função de *fitness*
é parte da entrada

Algoritmos Genéticos

Algoritmo

Função GENÉTICO(*população*, *FITNESS*): *indivíduo*
repita

nova_população $\leftarrow \emptyset$

para $i = 1$ até *TAMANHO(população)* **faça**

$x \leftarrow \text{SELEÇÃO_ALEATÓRIA}(\text{população}, \text{FITNESS})$

$y \leftarrow \text{SELEÇÃO_ALEATÓRIA}(\text{população}, \text{FITNESS})$

$\text{filho} \leftarrow \text{CRUZA}(x, y)$

se *CHANCE_MUTAÇÃO()* **então**

$\quad \text{filho} \leftarrow \text{MUTA}(\text{filho})$

Adicione *filho* a *nova_população*

população $\leftarrow \text{nova_população}$

até algum indivíduo ser apto o suficiente, ou iterações suficientes terem passado

retorna o melhor indivíduo na população, de acordo com *FITNESS*

Ela mede o grau de adaptação de cada indivíduo da população

Algoritmos Genéticos

Algoritmo

Função GENÉTICO(*população*, *FITNESS*): *indivíduo repita*

nova_população $\leftarrow \emptyset$

para *i* = 1 **até** *TAMANHO(população)* **faça**

x \leftarrow SELEÇÃO_ALEATÓRIA(*população*, *FITNESS*)

y \leftarrow SELEÇÃO_ALEATÓRIA(*população*, *FITNESS*)

filho \leftarrow CRUZA(*x*, *y*)

se *CHANCE_MUTAÇÃO()* **então**

filho \leftarrow MUTA(*filho*)

Adicione *filho* a *nova_população*

população \leftarrow *nova_população*

Note que, nesse modelo,
o número de indivíduos
na população permanece sempre constante

até algum indivíduo ser apto o suficiente, ou iterações suficientes terem passado

retorna o melhor indivíduo na população, de acordo com *FITNESS*

Algoritmos Genéticos

Algoritmo

Função GENÉTICO(*população*, *FITNESS*): *indivíduo repita*

nova_população $\leftarrow \emptyset$

para *i* = 1 até *TAMANHO(população)* **faça**

x \leftarrow SELEÇÃO_ALEATÓRIA(*população*, *FITNESS*)

y \leftarrow SELEÇÃO_ALEATÓRIA(*população*, *FITNESS*)

filho \leftarrow CRUZA(*x*, *y*)

se *CHANCE_MUTAÇÃO()* **então**

filho \leftarrow MUTA(*filho*)

Adicione *filho* a *nova_população*

população \leftarrow *nova_população*

até algum indivíduo ser apto o suficiente, ou iterações suficientes terem passado

retorna o melhor indivíduo na população, de acordo com *FITNESS*

A saída é um único indivíduo, representando o melhor de toda a população após um certo número de cruzamentos

Algoritmos Genéticos

Operadores genéticos

- Usados para criar a próxima geração da população

Algoritmos Genéticos

Operadores genéticos

- Usados para criar a próxima geração da população
- Tipos mais comuns:

Algoritmos Genéticos

Operadores genéticos

- Usados para criar a próxima geração da população
- Tipos mais comuns:
 - Avaliação (função objetivo ou de adaptação):

Algoritmos Genéticos

Operadores genéticos

- Usados para criar a próxima geração da população
- Tipos mais comuns:
 - Avaliação (função objetivo ou de adaptação):
 - $FITNESS()$

Algoritmos Genéticos

Operadores genéticos

- Usados para criar a próxima geração da população
- Tipos mais comuns:
 - Avaliação (função objetivo ou de adaptação):
 - $FITNESS()$
 - Seleção

Algoritmos Genéticos

Operadores genéticos

- Usados para criar a próxima geração da população
- Tipos mais comuns:
 - Avaliação (função objetivo ou de adaptação):
 - *FITNESS()*
 - Seleção
 - *SELEÇÃO_ALEATÓRIA()*

Algoritmos Genéticos

Operadores genéticos

- Usados para criar a próxima geração da população
- Tipos mais comuns:
 - Avaliação (função objetivo ou de adaptação):
 - $FITNESS()$
 - Seleção
 - $SELEÇÃO_ALEATÓRIA()$
 - Cruzamento (casamento ou *crossover*)

Algoritmos Genéticos

Operadores genéticos

- Usados para criar a próxima geração da população
- Tipos mais comuns:
 - Avaliação (função objetivo ou de adaptação):
 - *FITNESS()*
 - Seleção
 - *SELEÇÃO_ALEATÓRIA()*
 - Cruzamento (casamento ou *crossover*)
 - *CRUZA()*

Algoritmos Genéticos

Operadores genéticos

- Usados para criar a próxima geração da população
- Tipos mais comuns:
 - Avaliação (função objetivo ou de adaptação):
 - *FITNESS()*
 - Seleção
 - *SELEÇÃO_ALEATÓRIA()*
 - Cruzamento (casamento ou *crossover*)
 - *CRUZA()*
 - Mutação

Algoritmos Genéticos

Operadores genéticos

- Usados para criar a próxima geração da população
- Tipos mais comuns:
 - Avaliação (função objetivo ou de adaptação):
 - *FITNESS()*
 - Seleção
 - *SELEÇÃO_ALEATÓRIA()*
 - Cruzamento (casamento ou *crossover*)
 - *CRUZA()*
 - Mutação
 - *CHANCE_MUTAÇÃO()* e *MUTA()*

Algoritmos Genéticos – Operadores

Avaliação: Função de Adaptação

- Define o critério para ordenar e selecionar potenciais indivíduos

Algoritmos Genéticos – Operadores

Avaliação: Função de Adaptação

- Define o critério para ordenar e selecionar potenciais indivíduos
 - Altamente dependente do domínio do problema

Algoritmos Genéticos – Operadores

Avaliação: Função de Adaptação

- Define o critério para ordenar e selecionar potenciais indivíduos
 - Altamente dependente do domínio do problema
- Possíveis critérios

Algoritmos Genéticos – Operadores

Avaliação: Função de Adaptação

- Define o critério para ordenar e selecionar potenciais indivíduos
 - Altamente dependente do domínio do problema
- Possíveis critérios
 - Precisão:

Algoritmos Genéticos – Operadores

Avaliação: Função de Adaptação

- Define o critério para ordenar e selecionar potenciais indivíduos
 - Altamente dependente do domínio do problema
- Possíveis critérios
 - Precisão:
 - Possui um componente ligado à sua precisão em conjunto de treino

Algoritmos Genéticos – Operadores

Avaliação: Função de Adaptação

- Define o critério para ordenar e selecionar potenciais indivíduos
 - Altamente dependente do domínio do problema
- Possíveis critérios
 - Precisão:
 - Possui um componente ligado à sua precisão em conjunto de treino
 - Desempenho geral:

Algoritmos Genéticos – Operadores

Avaliação: Função de Adaptação

- Define o critério para ordenar e selecionar potenciais indivíduos
 - Altamente dependente do domínio do problema
- Possíveis critérios
 - Precisão:
 - Possui um componente ligado à sua precisão em conjunto de treino
 - Desempenho geral:
 - Em vez de medir regras individuais, mede-se o desempenho geral do conjunto de regras

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Algoritmo

- Seleciona indivíduos para o cruzamento

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Algoritmo

- Seleciona indivíduos para o cruzamento

Função *SELEÇÃO_ALEATÓRIA*(população, FITNESS): **indíduo para cada** indivíduo *ind* em população **faça**

$$P_{ind} \leftarrow \frac{FITNESS(ind)}{\sum_{i=1}^{|população|} FITNESS(ind_i)}$$

escolhido \leftarrow Escolha aleatoriamente um indivíduo, com base na distribuição de probabilidades calculada acima (em que cada indivíduo tem P_{ind} de chance de ser escolhido)
retorna *escolhido*

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Algoritmo

- Dispomos, contudo, de métodos baseados em distribuição uniforme (`rand`)

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Algoritmo

- Dispomos, contudo, de métodos baseados em distribuição uniforme (`rand`)
 - Como fazemos, então, para selecionar um indivíduo `ind` com base em

$$P_{ind} \leftarrow \frac{FITNESS(ind)}{\sum_{i=1}^{|população|} FITNESS(ind_i)} ?$$

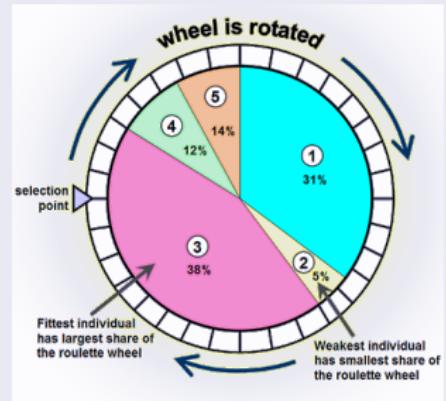
Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Algoritmo

- Dispomos, contudo, de métodos baseados em distribuição uniforme (`rand`)
 - Como fazemos, então, para selecionar um indivíduo `ind` com base em
$$P_{ind} \leftarrow \frac{FITNESS(ind)}{|população|} ? \sum_{i=1} FITNESS(ind_i)$$
- Via o algoritmo da Roda de Roleta (*roulette wheel*)

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Roda de Roleta

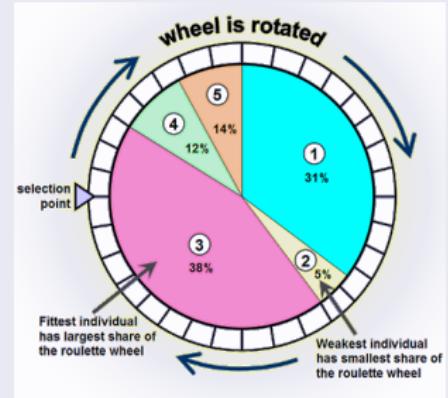


Fonte: <http://www.edc.ncl.ac.uk/highlight/rhjanuary2007.php>

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Roda de Roleta

- Cada cromossomo recebe uma fatia da roda

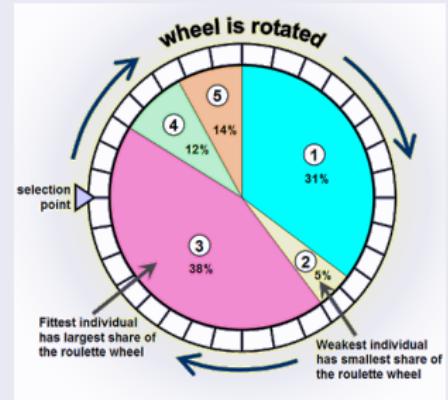


Fonte: <http://www.edc.ncl.ac.uk/highlight/rhjanuary2007.php>

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Roda de Roleta

- Cada cromossomo recebe uma fatia da roda
 - A área da fatia é igual à probabilidade de escolha do cromossomo P_{ind}

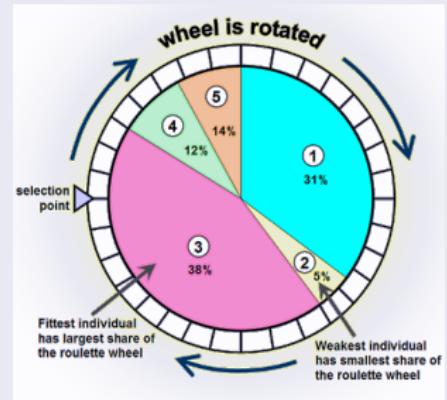


Fonte: <http://www.edc.ncl.ac.uk/highlight/rhjanuary2007.php>

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Roda de Roleta

- Cada cromossomo recebe uma fatia da roda
 - A área da fatia é igual à probabilidade de escolha do cromossomo P_{ind}
- Para selecionar um cromossomo para cruzamento:

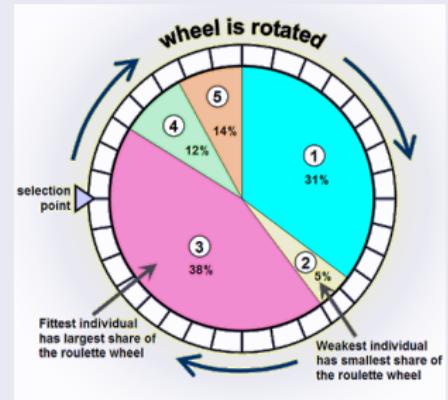


Fonte: <http://www.edc.ncl.ac.uk/highlight/rhjanuary2007.php>

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Roda de Roleta

- Cada cromossomo recebe uma fatia da roda
 - A área da fatia é igual à probabilidade de escolha do cromossomo P_{ind}
- Para selecionar um cromossomo para cruzamento:
 - Gere um número aleatório entre 1 e 100

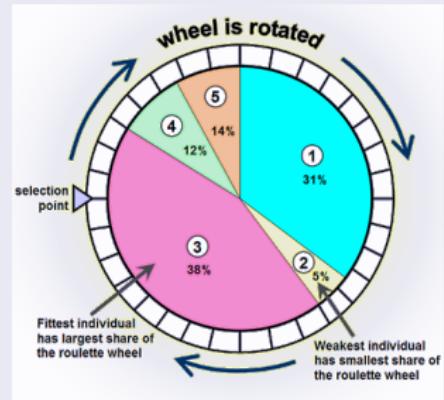


Fonte: <http://www.edc.ncl.ac.uk/highlight/rhjanuary2007.php>

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Roda de Roleta

- Cada cromossomo recebe uma fatia da roda
 - A área da fatia é igual à probabilidade de escolha do cromossomo P_{ind}
- Para selecionar um cromossomo para cruzamento:
 - Gere um número aleatório entre 1 e 100
 - O cromossomo em cujo segmento esse número cair será selecionado

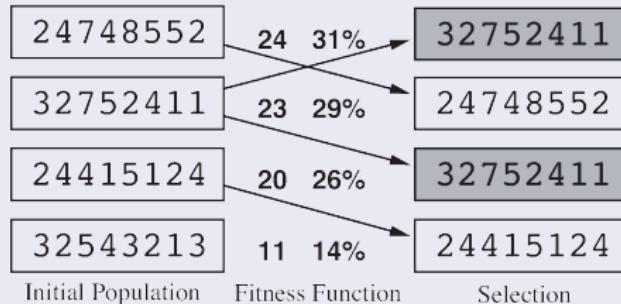


Fonte: <http://www.edc.ncl.ac.uk/highlight/rhjanuary2007.php>

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Roda de Roleta – Exemplo

- Voltemos ao nosso exemplo

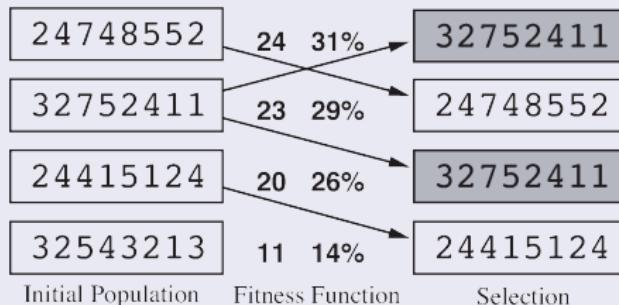


Fonte: AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Roda de Roleta – Exemplo

- Voltemos ao nosso exemplo (e sua tabela associada)



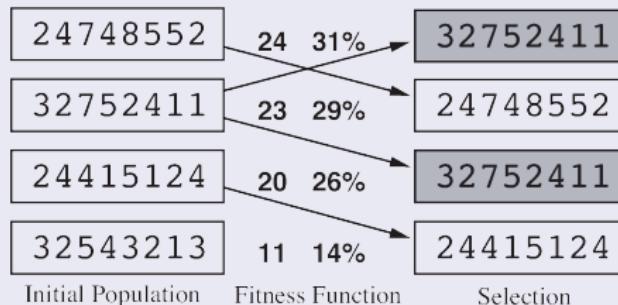
ind	<i>FITNESS(ind)</i>	P_{ind}
1	24	31%
2	23	29%
3	20	26%
4	11	14%

Fonte: AIMA. Russell & Norvig.

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Roda de Roleta – Exemplo

- Voltemos ao nosso exemplo (e sua tabela associada)



ind	$FITNESS(ind)$	P_{ind}
1	24	31%
2	23	29%
3	20	26%
4	11	14%

Fonte: AIMA. Russell & Norvig.

- Note que esse exemplo faz $P_{ind} \leftarrow \frac{FITNESS(ind)}{\sum_{i=1}^{|população|} FITNESS(ind_i)}$

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Roda de Roleta – Exemplo

ind	$FITNESS(ind)$	P_{ind}
1	24	31%
2	23	29%
3	20	26%
4	11	14%

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Roda de Roleta – Exemplo

- Distribuímos as probabilidades na roleta

ind	<i>FITNESS(ind)</i>	P_{ind}
1	24	31%
2	23	29%
3	20	26%
4	11	14%

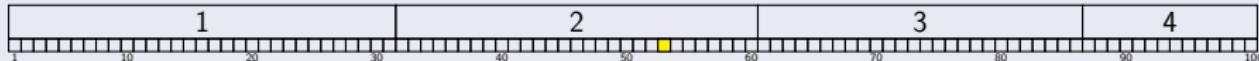


Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Roda de Roleta – Exemplo

- Distribuímos as probabilidades na roleta
- Escolhemos um valor a partir de uma distribuição uniforme

ind	<i>FITNESS(ind)</i>	P_{ind}
1	24	31%
2	23	29%
3	20	26%
4	11	14%

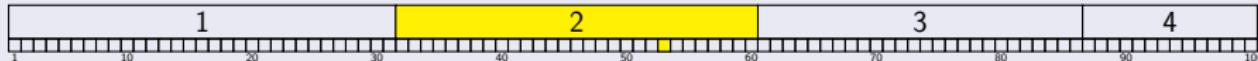


Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Roda de Roleta – Exemplo

- Distribuímos as probabilidades na roleta
- Escolhemos um valor a partir de uma distribuição uniforme
- A posição correspondente na roleta dirá qual o indivíduo sorteado

ind	<i>FITNESS(ind)</i>	<i>P_{ind}</i>
1	24	31%
2	23	29%
3	20	26%
4	11	14%



Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Roda de Roleta

- Por dar mais chance aos melhor adaptados, essa técnica aplica uma **pressão de seleção** em direção a esses indivíduos, evoluindo-os com o tempo

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Roda de Roleta

- Por dar mais chance aos melhor adaptados, essa técnica aplica uma **pressão de seleção** em direção a esses indivíduos, evoluindo-os com o tempo
- Esse algoritmo, contudo, não funciona para casos em que a função de adaptação pode retornar valores negativos

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Roda de Roleta

- Por dar mais chance aos melhor adaptados, essa técnica aplica uma **pressão de seleção** em direção a esses indivíduos, evoluindo-os com o tempo
- Esse algoritmo, contudo, não funciona para casos em que a função de adaptação pode retornar valores negativos
 - Uma vez que probabilidades negativas seriam introduzidas

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Roda de Roleta

- Por dar mais chance aos melhor adaptados, essa técnica aplica uma **pressão de seleção** em direção a esses indivíduos, evoluindo-os com o tempo
- Esse algoritmo, contudo, não funciona para casos em que a função de adaptação pode retornar valores negativos
 - Uma vez que probabilidades negativas seriam introduzidas
- Mas, e se nossa função de adaptação tiver que retornar valores negativos?

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Roda de Roleta

- Por dar mais chance aos melhor adaptados, essa técnica aplica uma **pressão de seleção** em direção a esses indivíduos, evoluindo-os com o tempo
- Esse algoritmo, contudo, não funciona para casos em que a função de adaptação pode retornar valores negativos
 - Uma vez que probabilidades negativas seriam introduzidas
- Mas, e se nossa função de adaptação tiver que retornar valores negativos?
 - Alternativas são a **Seleção por Torneio** e por **Posição**

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Torneio (*K-Way Tournament Selection*)

Função *TORNEIO*(população, FITNESS, k, tamanho_pop):

população

selecionados $\leftarrow \emptyset$

repita

participantes \leftarrow Selecione aleatoriamente k indivíduos da
população

selecionados \leftarrow *selecionados* \cup indivíduo com melhor valor
de adaptação (FITNESS) em *participantes*

até obter o tamanho desejado para *selecionados*

retorna *selecionados*

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Posição (*Rank Selection*)

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Posição (*Rank Selection*)

- Muito usado quando os indivíduos na população têm valores próximos de adaptação

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Posição (*Rank Selection*)

- Muito usado quando os indivíduos na população têm valores próximos de adaptação
 - Normalmente ao final do processo

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Posição (*Rank Selection*)

- Muito usado quando os indivíduos na população têm valores próximos de adaptação
 - Normalmente ao final do processo
- Com a roleta isso leva a uma perda na pressão de seleção em direção aos mais adaptados

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Posição (*Rank Selection*)

- Muito usado quando os indivíduos na população têm valores próximos de adaptação
 - Normalmente ao final do processo
- Com a roleta isso leva a uma perda na pressão de seleção em direção aos mais adaptados
 - Pois cada indivíduo terá aproximadamente a mesma probabilidade de ser escolhido, não importando quão melhor seja em relação aos outros

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Posição (*Rank Selection*)

- Muito usado quando os indivíduos na população têm valores próximos de adaptação
 - Normalmente ao final do processo
- Com a roleta isso leva a uma perda na pressão de seleção em direção aos mais adaptados
 - Pois cada indivíduo terá aproximadamente a mesma probabilidade de ser escolhido, não importando quão melhor seja em relação aos outros
- E, consequentemente, a uma pior seleção de pais

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Posição (*Rank Selection*)

- Que fazer então?

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Posição (*Rank Selection*)

- Que fazer então?
- Seleção com base na posição em lista ordenada:

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Posição (*Rank Selection*)

- Que fazer então?
- Seleção com base na posição em lista ordenada:
 - Ordene de modo crescente os indivíduos pelo seu valor de adaptação

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Posição (*Rank Selection*)

- Que fazer então?
- Seleção com base na posição em lista ordenada:
 - Ordene de modo crescente os indivíduos pelo seu valor de adaptação
 - Calcule um novo valor de fitness conforme a posição

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Posição (*Rank Selection*)

- Que fazer então?
- Seleção com base na posição em lista ordenada:
 - Ordene de modo crescente os indivíduos pelo seu valor de adaptação
 - Calcule um novo valor de fitness conforme a posição
 - Ex:

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Posição (*Rank Selection*)

- Que fazer então?
- Seleção com base na posição em lista ordenada:
 - Ordene de modo crescente os indivíduos pelo seu valor de adaptação
 - Calcule um novo valor de fitness conforme a posição
 - Ex:
 - O 1º terá $f'_1 = 1$, o 2º terá $f'_1 = 2 \dots$ o Nº terá $f'_1 = N$

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Posição (*Rank Selection*)

- Que fazer então?
- Seleção com base na posição em lista ordenada:
 - Ordene de modo crescente os indivíduos pelo seu valor de adaptação
 - Calcule um novo valor de fitness conforme a posição
 - Ex:
 - O 1º terá $f'_1 = 1$, o 2º terá $f'_1 = 2 \dots$ o Nº terá $f'_1 = N$
 - Proceda então como na roda de roleta, usando esses novos valores de adaptação

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Posição (*Rank Selection*)

- A probabilidade um indivíduo ser selecionado é, então, proporcional à sua posição nessa lista ordenada

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Posição (*Rank Selection*)

- A probabilidade um indivíduo ser selecionado é, então, proporcional à sua posição nessa lista ordenada
 - O primeiro (menor *fitness*) com o menor valor e o último com o maior

Algoritmos Genéticos – Operadores

Seleção: Posição (*Rank Selection*)

- A probabilidade um indivíduo ser selecionado é, então, proporcional à sua posição nessa lista ordenada
 - O primeiro (menor *fitness*) com o menor valor e o último com o maior
- Assim, o valor de adaptação do indivíduo não é usado diretamente

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento

- Produz novos filhos a partir de dois pais, copiando genes selecionados de cada pai

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento

- Produz novos filhos a partir de dois pais, copiando genes selecionados de cada pai
 - O gene na posição i em cada filho é copiado do gene na posição i de um dos pais

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento

- Produz novos filhos a partir de dois pais, copiando genes selecionados de cada pai
 - O gene na posição i em cada filho é copiado do gene na posição i de um dos pais
- Tipos de Cruzamento:

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento

- Produz novos filhos a partir de dois pais, copiando genes selecionados de cada pai
 - O gene na posição i em cada filho é copiado do gene na posição i de um dos pais
- Tipos de Cruzamento:
 - De ponto Único

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento

- Produz novos filhos a partir de dois pais, copiando genes selecionados de cada pai
 - O gene na posição i em cada filho é copiado do gene na posição i de um dos pais
- Tipos de Cruzamento:
 - De ponto Único
 - De dois pontos

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento

- Produz novos filhos a partir de dois pais, copiando genes selecionados de cada pai
 - O gene na posição i em cada filho é copiado do gene na posição i de um dos pais
- Tipos de Cruzamento:
 - De ponto Único
 - De dois pontos
 - Uniforme

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Tipos de Cruzamento

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Tipos de Cruzamento

- De ponto único (Single-point crossover):



Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Tipos de Cruzamento

- De ponto único (Single-point crossover):



- No primeiro filho, os n primeiros genes vêm do primeiro pai, e os restantes do segundo

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Tipos de Cruzamento

- De ponto único (Single-point crossover):



- No primeiro filho, os n primeiros genes vêm do primeiro pai, e os restantes do segundo
- O segundo filho troca as posições dos pais, ou seja, tem os n primeiros genes do segundo e os restantes do primeiro

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Tipos de Cruzamento

- De ponto único (Single-point crossover):



- No primeiro filho, os n primeiros genes vêm do primeiro pai, e os restantes do segundo
- O segundo filho troca as posições dos pais, ou seja, tem os n primeiros genes do segundo e os restantes do primeiro
- Assim, ele contém os genes não usados no irmão

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Tipos de Cruzamento

- De ponto único (Single-point crossover):



- Toda vez que o operador de cruzamento de ponto único é usado, o ponto de cruzamento n é escolhido aleatoriamente

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Tipos de Cruzamento

- De ponto único (Single-point crossover):



- Toda vez que o operador de cruzamento de ponto único é usado, o ponto de cruzamento n é escolhido aleatoriamente
- Modelo visto no início da aula...

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Tipos de Cruzamento

- De ponto único (Single-point crossover):



- Toda vez que o operador de cruzamento de ponto único é usado, o ponto de cruzamento n é escolhido aleatoriamente
- Modelo visto no início da aula...
- Tende a manter os genes iniciais dos cromossomos na população

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Tipos de Cruzamento

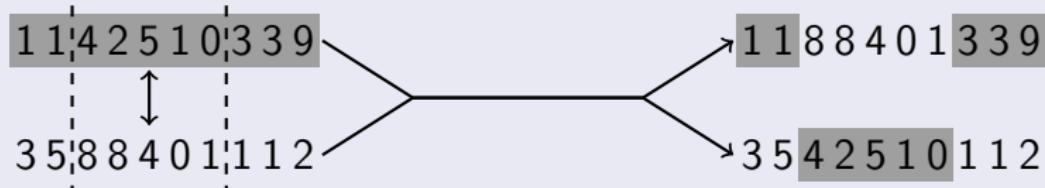
- De dois pontos (Two-point crossover):



Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Tipos de Cruzamento

- De dois pontos (Two-point crossover):



- A prole é criada substituindo-se segmentos intermediários de um pai no meio da cadeia do segundo pai

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Tipos de Cruzamento

- De dois pontos (Two-point crossover):



- A prole é criada substituindo-se segmentos intermediários de um pai no meio da cadeia do segundo pai
- Também aqui, toda vez que o operador é usado, os pontos de cruzamento n_0 e n_1 são escolhidos aleatoriamente

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Tipos de Cruzamento

- De dois pontos (Two-point crossover):



- A prole é criada substituindo-se segmentos intermediários de um pai no meio da cadeia do segundo pai
- Também aqui, toda vez que o operador é usado, os pontos de cruzamento n_0 e n_1 são escolhidos aleatoriamente
- Tende a manter os genes iniciais e finais dos cromossomos na população

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Tipos de Cruzamento

- Uniforme (Uniform crossover):



Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Tipos de Cruzamento

- Uniforme (Uniform crossover):



- Combina aleatoriamente (distribuição uniforme) genes dos 2 pais

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Tipos de Cruzamento

- Uniforme (Uniform crossover):



- Combina aleatoriamente (distribuição uniforme) genes dos 2 pais
- Cada ponto de cruzamento é definido de forma aleatória, e independentemente dos demais pontos

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Tipos de Cruzamento

- Uniforme (Uniform crossover):



- Combina aleatoriamente (distribuição uniforme) genes dos 2 pais
- Cada ponto de cruzamento é definido de forma aleatória, e independentemente dos demais pontos
- Não dá preferência para manter alguns genes (iniciais ou finais) na população

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Algoritmo (Ponto Único)

Função $CRUZA(x,y)$: indivíduo

$n \leftarrow TAMANHO(x)$

$c \leftarrow$ número aleatório entre 1 e n

$parte_x \leftarrow SUBSTRING(x,1,c)$

$parte_y \leftarrow SUBSTRING(y,c+1,n)$

retorna $APPEND(parte_x, parte_y)$

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Algoritmo (Ponto Único)

Função $CRUZA(x,y)$: indivíduo

$n \leftarrow TAMANHO(x)$

$c \leftarrow$ número aleatório entre 1 e n

$parte_x \leftarrow SUBSTRING(x,1,c)$

$parte_y \leftarrow SUBSTRING(y,c+1,n)$

retorna $APPEND(part_x, part_y)$

Nesse algoritmo os índices
dos arranjos vão de 1 a n

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Algoritmo (Ponto Único)

Função $CRUZA(x,y)$: indivíduo

$n \leftarrow TAMANHO(x)$

$c \leftarrow$ número aleatório entre 1 e n

$parte_x \leftarrow SUBSTRING(x,1,c)$

$parte_y \leftarrow SUBSTRING(y,c+1,n)$

retorna $APPEND(parte_x, parte_y)$

Note que, nessa versão,
cada cruzamento de
2 pais produz ape-
nas um filho, não 2

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Clonagem

- Até agora, cruzamento era mandatório

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Clonagem

- Até agora, cruzamento era mandatório
 - Sempre o fazíamos

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Clonagem

- Até agora, cruzamento era mandatório
 - Sempre o fazíamos
- Isso, contudo, faz com que boas soluções não sejam preservadas

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Clonagem

- Até agora, cruzamento era mandatório
 - Sempre o fazíamos
- Isso, contudo, faz com que boas soluções não sejam preservadas
- Uma alternativa a esse modelo clássico é efetuar o cruzamento com uma certa probabilidade

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Clonagem

- Até agora, cruzamento era mandatório
 - Sempre o fazíamos
- Isso, contudo, faz com que boas soluções não sejam preservadas
- Uma alternativa a esse modelo clássico é efetuar o cruzamento com uma certa probabilidade
 - Então, primeiro decidimos se iremos efetuar o cruzamento, para então fazê-lo

Cruzamento: Clonagem

- Nas vezes em que não é feito o cruzamento, a **clonagem** acontece

Cruzamento: Clonagem

- Nas vezes em que não é feito o cruzamento, a **clonagem** acontece
 - A prole torna-se uma cópia exata dos pais

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Clonagem

- Nas vezes em que não é feito o cruzamento, a **clonagem** acontece
 - A prole torna-se uma cópia exata dos pais

11001011000 → 11001011000

00101000101 → 00101000101

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Clonagem

- Funcionamento:

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Clonagem

- Funcionamento:
 - Após a seleção dos indivíduos para cruzamento, é gerado um número aleatório $r \in [0, 1]$

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Clonagem

- Funcionamento:
 - Após a seleção dos indivíduos para cruzamento, é gerado um número aleatório $r \in [0, 1]$
 - Se $r \leq p$, onde p é a probabilidade de ocorrer um cruzamento, então haverá o cruzamento

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Clonagem

- Funcionamento:
 - Após a seleção dos indivíduos para cruzamento, é gerado um número aleatório $r \in [0, 1]$
 - Se $r \leq p$, onde p é a probabilidade de ocorrer um cruzamento, então haverá o cruzamento
 - Do contrário, haverá a clonagem

Algoritmos Genéticos – Operadores

Cruzamento: Clonagem

- Funcionamento:
 - Após a seleção dos indivíduos para cruzamento, é gerado um número aleatório $r \in [0, 1]$
 - Se $r \leq p$, onde p é a probabilidade de ocorrer um cruzamento, então haverá o cruzamento
 - Do contrário, haverá a clonagem
- Em geral, uma probabilidade de cruzamento $p = 0.7$ produz bons resultados

Referências

- Russell, S.; Norvig P. (2010): Artificial Intelligence: A Modern Approach. Prentice Hall. 3a ed.
- Mitchell, T. (1997): Machine Learning. McGraw-Hil.
- Negnevitsky, M. (2005): Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems. Addison-Wesley. 2a ed.
- Goldberb, D.A. (1989): Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley.
- Coley, D.A. (1999): An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers. World Scientific.
- Miller, B.L.; Goldberg, D.E. (1995): Genetic Algorithms , Tournament Selection, and the Effects of Noise. Complex System 9. pp. 193-212.

Referências

- <https://www.geeksforgeeks.org/tournament-selection-ga/>
- https://www.tutorialspoint.com/genetic_algorithms/genetic_algorithms_quick_guide.htm
- <https://www.quora.com/What-are-hyperparameters-in-machine-learning>
- <http://www.edc.ncl.ac.uk/highlight/rhjanuary2007.php>
- https://www.tutorialspoint.com/genetic_algorithms/genetic_algorithms_parent_selection.htm
- <https://www.obitko.com/tutorials/genetic-algorithms/selection.php>