

Aprendizado Evolutivo: Introdução aos Algoritmos Genéticos

SCC-230 – Inteligência Artificial

Thiago A. S. Pardo
Solange O. Rezende

1

Computação Evolutiva (CE)

- Trata de sistemas para a **resolução de problemas** que utilizam **modelos computacionais baseados na teoria da evolução natural**
- Primeiros trabalhos na década de 50
- Área começou a crescer na década de 70

2

Categorias da CE

- **Algoritmos genéticos (AG):** propostos por Holland na década de 70 para o desenvolvimento de soluções/hipóteses para problemas complexos
- **Programação genética:** variação dos algoritmos genéticos para desenvolvimento de programas

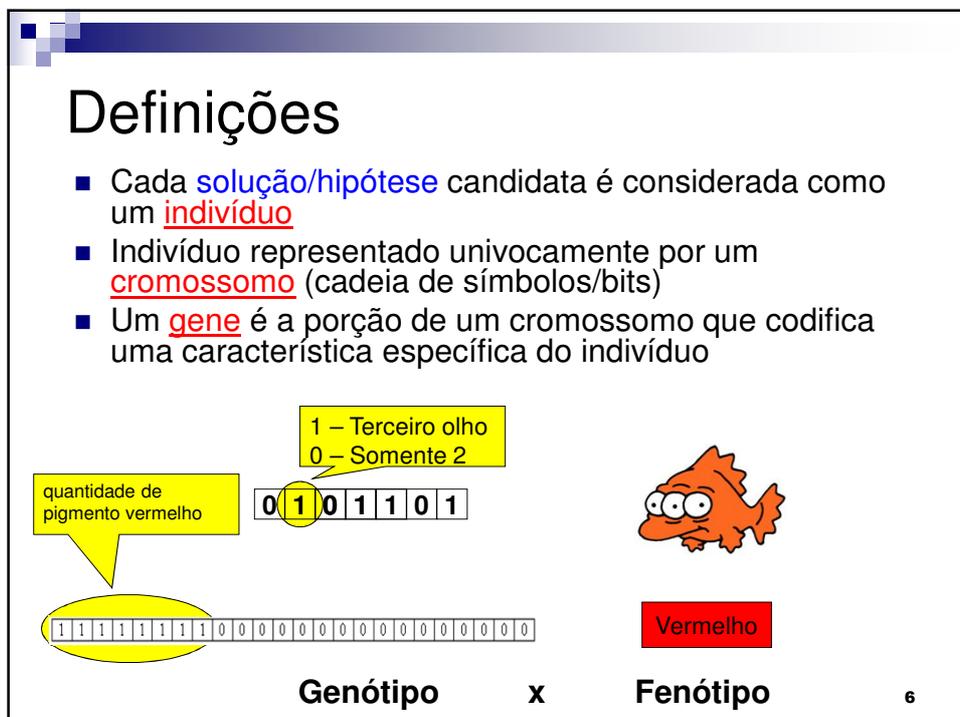
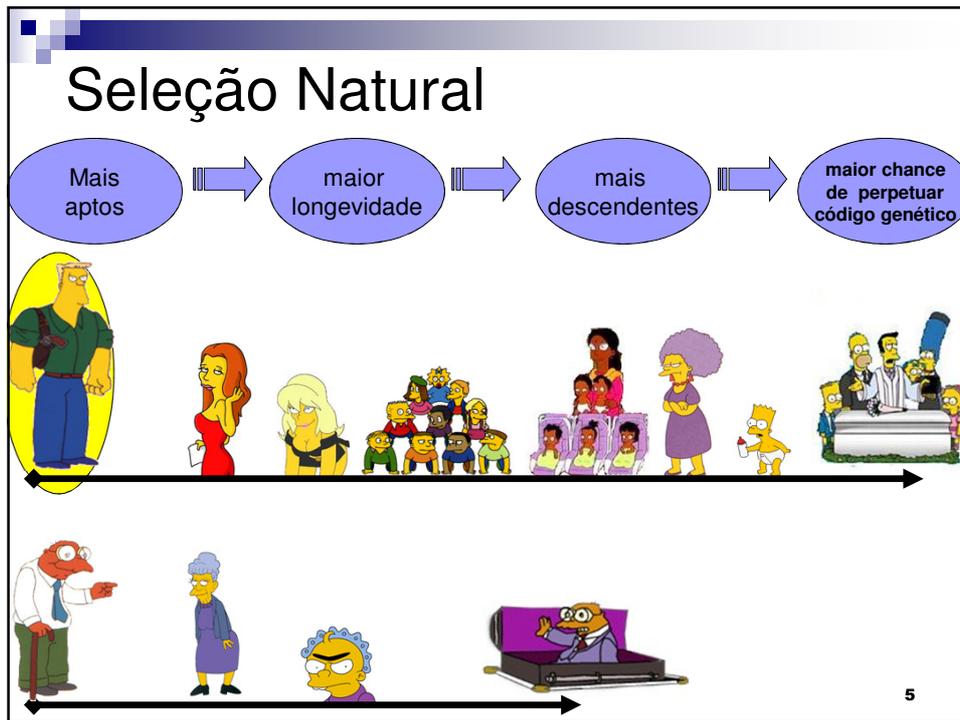
3

AG

- Algoritmos Genéticos (AG) são **modelos de processamento computacional** que simulam os mecanismos de **seleção natural, genética e evolução**
 - Muito aplicados a problemas de busca e otimização
- Introduzidos por John Holland em 1975

Quanto melhor um indivíduo se adaptar ao seu meio ambiente, maior será sua chance de sobreviver e gerar descendentes → as hipóteses boas se perpetuam

4



Utilizando AG

- Geralmente, os AG tem apenas **dois componentes dependentes do problema**
 - **Codificação das soluções** em cromossomos
 - Definição da **função de aptidão**

7

Função de Aptidão

- Na natureza, a seleção é realizada pela **pressão do meio ambiente**
- No contexto computacional, é simulada pela aplicação da **função de aptidão**



Função de Aptidão

- A função de aptidão tem por objetivo fornecer uma **medida de aptidão** de cada indivíduo na população corrente
 - Capacidade para sobreviver, se reproduzir e manter seu código genético nas próximas gerações
- Geralmente é uma expressão matemática que mede o quanto uma solução está próxima da solução desejada
 - **Específica** de cada problema
- Depende do **desempenho** do fenótipo, mas é calculada a partir do genótipo

9

Codificação dos Cromossomos

- Representação das **possíveis soluções do espaço de busca** do problema por cromossomos
 - Binária:
 - Ex.: Maximizar $f(x) = -x^2 + 8x + 3$

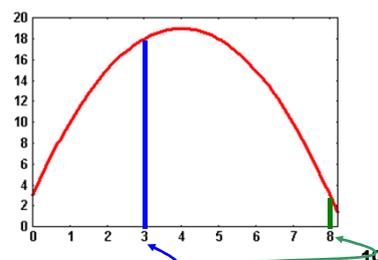
0 0 0 1 1

0 1 0 0 0

Cromossomos

X = 3

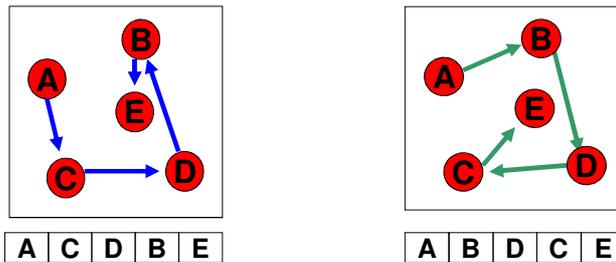
X = 8



Codificação dos Cromossomos

■ Permutação

□ Ex.: Caixeiro Viajante



■ Números reais

□ Ex.: Pesos para redes neurais

11

Características: diferenciais dos AG

- Trabalham com **codificações das soluções** (genótipo), e não com as soluções (fenótipo)
- **Buscam a partir de uma população**, e não de um único ponto
 - Realizam **buscas simultâneas** em várias regiões do espaço de busca
- Utilizam apenas **função de avaliação**
 - Não utilizam derivadas ou outro conhecimento auxiliar
- Utilizam **regras de transição** probabilísticas e não determinísticas

Apesar de aleatórios, não se trata de caminhadas aleatórias não direcionadas, pois exploram informações históricas para encontrar novos pontos de busca onde são esperados melhores desempenhos.

Características

- Capazes de resolver **problemas complexos** de maneira **elegante e robusta**
- **Não são limitados por suposições** sobre o espaço de busca
- Amplamente utilizados em problemas de difícil manipulação pelas técnicas tradicionais
- **Paralelismo implícito**

13

Funcionamento Básico

- O **algoritmo** é iniciado com uma população inicial (soluções/hipóteses iniciais)
- A população sofre **evolução**
 1. Seleção de uma porcentagem da população para a nova população
 2. Operadores genéticos: cruzamento (*crossover*) e mutação
 - Cruzamento de elementos não selecionados para comporem a nova população
 - Mutação de alguns elementos da nova população
- Algoritmo executado ciclicamente até que seu critério de parada seja satisfeito

14

Seleção

- **Escolha dos indivíduos** da população atual para reprodução: mais aptos têm mais chances
- Direciona a evolução da população
- Projetada para escolher preferencialmente indivíduos com **maiores notas de aptidão**, embora **não exclusivamente**
 - **Manter a diversidade da população**

15

Técnicas de Seleção

- **Roleta** (mais simples e mais utilizado)
 - Representatividade na roleta proporcional a aptidão
 - Cada vez que a roleta é girada, é escolhido um indivíduo
 - O processo é repetido até preencher a população intermediária

16

Exemplo: roleta

Indivíduo	Nro. Indivíduo	Aptidão	Participação na roleta
	1	4	5%
	2	20	25%
	3	16	20%
	4	24	30%
	5	8	10%
	6	8	10%

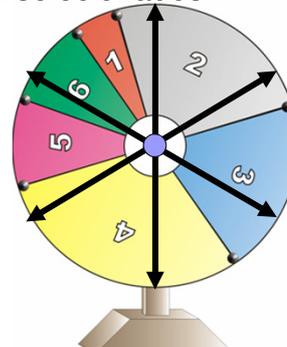


17

Técnicas de Seleção

■ Amostragem Universal Estocástica

- Variação do método da roleta
- P agulhas igualmente espaçadas
 - P é o número de indivíduos a serem selecionados para a próxima geração
- Roleta é girada uma única vez



Técnicas de Seleção

■ Torneio

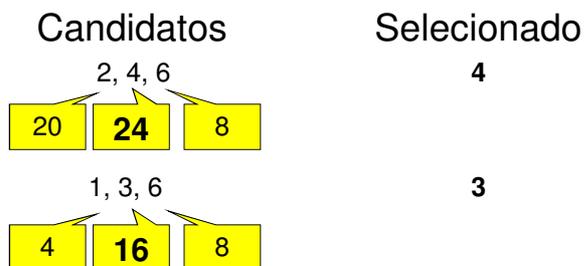
- N indivíduos escolhidos aleatoriamente com a mesma probabilidade (comum N=3)
- Dentre esses N cromossomos, é selecionado o mais apto
- Repete-se o processo até preencher a população intermediária

19

Exemplo: Torneio

Indivíduo	Aptidão
1	4
2	20
3	16
4	24
5	8
6	8

■ Para N = 3

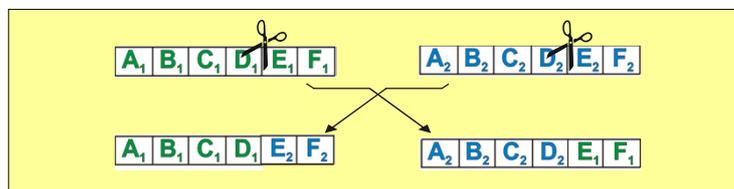


20

Cruzamento

- Genitores selecionados trocam partes de seus cromossomos entre si
- Características genéticas dos genitores mantidas
- Definida uma fração de elementos que sofrerá cruzamento
 - Cópias dos pais se não houver cruzamento

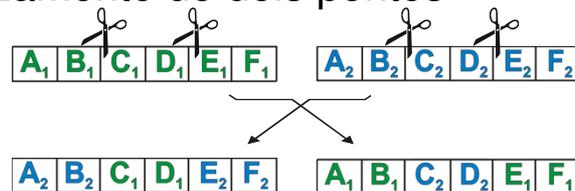
Cruzamento de 1 ponto



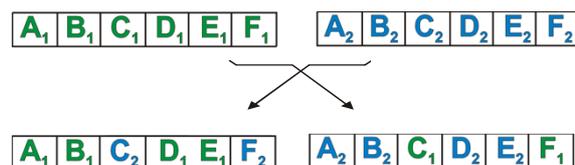
21

Cruzamento

- Cruzamento de dois pontos



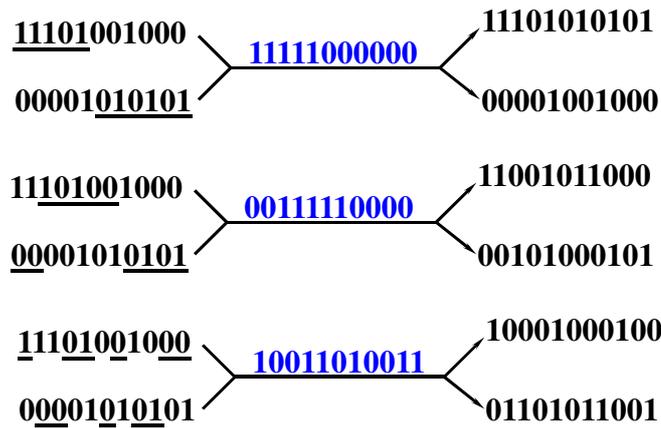
- Cruzamento uniforme



22

Cruzamento

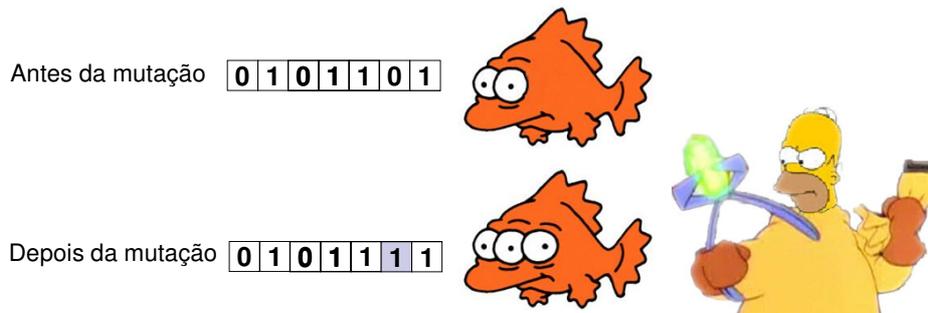
- Possibilidade de uso de máscaras de cruzamento



23

Mutação

- **Altera** aleatoriamente o **código genético** de um indivíduo
- Geralmente utiliza-se uma taxa de mutação pequena: $0,001 \leq \text{taxa} \leq 0,1$



Mutação

- Necessária para a **introdução e manutenção da diversidade genética** da população
 - Resultado positivo: **sobrevivência**
 - Resultado negativo: **extinção**
- Torna possível a **exploração de novas áreas do espaço de busca** que não poderiam ser alcançadas somente com os cruzamentos aplicados à população inicial
- Ajuda a **evitar máximos locais**

25

Estratégia Elitista

- Durante a evolução dos AG, pode acontecer de o indivíduo mais apto de uma geração não estar presente na geração seguinte, devido à característica não-determinística dos AG
- Com a **estratégia Elitista**, **o(s) melhor(es) indivíduos são automaticamente colocados na próxima geração**
 - Para prevenir que não desapareçam da população pela manipulação dos operadores genéticos
- O elitismo visa acelerar a busca pela solução ótima com o aumento da pressão seletiva

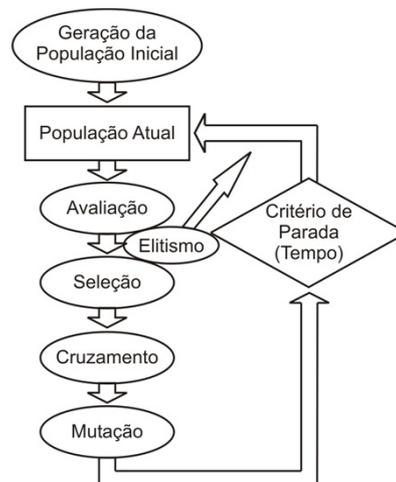
26

Critério de parada

- Número de gerações
- Tempo de processamento
- Estagnação da aptidão média da população
- Estagnação da aptidão do melhor indivíduo da população
- Homogeneidade das aptidões dos indivíduos da população

27

Esquema básico de AG



28

Parâmetros dos AG

- O **desempenho** dos AG é fortemente influenciado pela definição dos seus **parâmetros**
 - **Tamanho da população**
 - Populações pequenas: cobrem pouco o espaço de busca
 - Populações grandes: apesar de evitar mínimos locais, requer mais recursos computacionais e tempo
 - **Intervalo de geração**: porcentagem da população que será substituída
 - Grande (comum): filhos substituem pais
 - Pequena: “pais e filhos convivem”

29

Parâmetros dos AG

- **Taxa de cruzamento**
 - Se for muito baixa: busca pode estagnar
 - Se for muito alta: boas estruturas podem ser perdidas
- **Taxa de mutação**
 - Possibilita que qualquer ponto do espaço de busca seja atingido
 - Se for muito alta: busca aleatória

30

Restrições

- Certas **configurações genéticas** podem ser **proibidas** em algumas hipóteses
- Possíveis soluções
 - Eliminar os indivíduos inactíveis a cada geração
 - Aplicação de penalidades no cálculo da função de aptidão
 - Os indivíduos que violarem alguma restrição têm sua aptidão decrescida, em geral em uma quantidade proporcional à "gravidade" da violação
 - **Reparação** dos indivíduos inactíveis

31

Seleção

- **Pressão seletiva**: controla o **grau de privilégio** dos indivíduos mais aptos para sobreviver e reproduzir-se, em detrimento dos outros
 - Direciona busca
 - Depende do método de seleção e da função de aptidão
 - Pressão seletiva **muito alta**
 - Menor diversidade populacional
 - Convergência prematura
 - Máximo global ou local
 - Pressão seletiva **muito baixa**
 - Todos os cromossomos têm probabilidade de sobreviver muito parecidas, independente da aptidão: busca aleatória

32

Exemplo: jogo de tênis

- Utilizando apenas os atributos aparência e vento para o aprendizado de regras
 - **Aparência** pode ter os valores “sol”, “chuva” ou “nublado”: codificação de 3 possibilidades (portanto, 3 bits)
 - 100 → sol, 010 → chuva, 001 → nublado, 110 → sol ou chuva, etc.
 - **Vento** pode ter os valores “forte” e “fraco”: codificação de 2 possibilidades
 - 10 → forte, 01 → fraco, 11 → forte ou fraco
 - A **classe** pode ser jogar ou não jogar tênis: 2 possibilidades
 - 10 → jogar tênis, 01 → não jogar
- Uma hipótese inicial (dentre várias) para os dados de treinamento pode ser

Se vento=forte então classe=não jogar

33

Exemplo: jogo de tênis

- A codificação da hipótese pode ser
 - Todos os atributos da regra devem ser representados

Aparência	Vento	Classe	➔	1111001
111	10	01		

- Após evolução, pode acontecer da classe ser 11, o que não é permitido
 - Solução: mudança da codificação
 - Classe 0 ou 1 (jogar ou não)

34

Exemplo: jogo de tênis

- Função de aptidão pode ser o erro das hipóteses em um conjunto de dados (teste)
- Critério de parada pode ser a taxa de acerto desejada sobre o conjunto de dados

35

Porque AG Funcionam?

- Não há uma teoria geral que explica de forma completa como e por quê a técnica funciona
 - *Exploration* vs. *exploitation*

36

Exploration vs. Exploitation

- **Exploration:** investigar áreas novas e ainda desconhecidas no espaço de busca
 - Busca Aleatória
- **Exploitation:** aproveitar informações de pontos do espaço de busca visitados anteriormente
 - Hill Climbing
- AG combina ambas as estratégias

37

Aprendizado e Evolução

- Aprendizado
 - Capacidade que possui o indivíduo de fazer mudanças ao longo do tempo, com a intenção de melhorar o desempenho em tarefas definidas por seu ambiente

Aprendizado: Adaptação individual (tempo de vida do indivíduo)

X

Evolução: Adaptação de espécies (tempo de existência da espécie)

38

Aprendizado e Evolução

- **Lamarckismo**: o aprendizado modifica o código genético do indivíduo
- **Efeito Baldwin**: o aprendizado não modifica o código genético do indivíduo
 - Baldwin considerava que a aprendizagem individual pode explicar fenômenos evolucionários que parecem requerer herança lamarckista
 - Comportamentos aprendidos poderiam ser comportamentos instintivos em gerações subseqüentes
 - Não requer o mapeamento do fenótipo e do ambiente no genótipo, como requer a teoria de Lamarck

39

Exercício: grupos de 2

- Monte seu próprio algoritmo genético!
 - Codificação em cromossomos, função de aptidão e critério de parada, etc.
 - Pelo menos 2 rodadas

Personagem	Arma	Sofre transformação	Idade	Classe (herói ou vilão)
He-Man	Lâmina	Sim	Adulto	Herói
Seiya	Magia	Não	Novo	Herói
Mun-ra	Magia	Sim	Velho	Vilão
Bob Esponja	Não_usa	Não	Novo	Herói
Magneto	Não_usa	Não	Adulto	Vilão

40