

Inteligência Artificial

BCC35G

Diego Bertolini

diegobertolini@utfpr.edu.br

<http://www.inf.ufpr.br/diegob/>

Aula 006

- **Aula Anterior:**
 - Busca Local;
- **Aula de Hoje:**
 - Algoritmo Genético ;

Objetivo

O que vocês devem saber ao final da aula:

Conceitos básicos de Algoritmos Genéticos;

Métodos de Busca

Busca Cega ou Exaustiva:

**Não sabe qual o melhor nó da fronteira a ser expandido.
Apenas distingue o estado objetivo dos não objetivos.**

Busca Heurística:

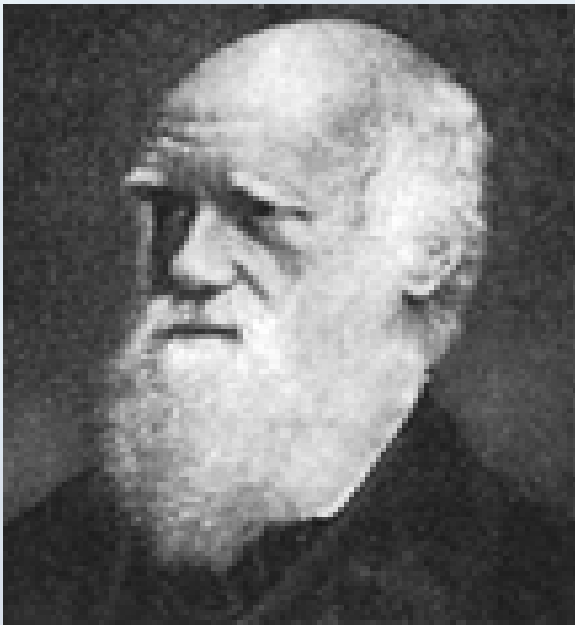
Estima qual o melhor nó da fronteira a ser expandido com base em funções heurísticas.

Busca Local:

Operam em um único estado e movem-se para a vizinhança deste estado.

A Origem das espécies.

1859 - Charles Darwin publica o livro *“A Origem das Espécies”*:



“As espécies evoluem pelo principio da seleção natural e sobrevivência do mais apto.”

Algoritmos Genéticos

Método de busca local.

Boa abordagem para lidar com espaços de busca muito grandes.

Possibilita navegá-los procurando por soluções que talvez não fossem encontradas em uma busca convencional mesmo que ela durasse centenas de anos.

Baseado na evolução dos seres biológicos.

Teoria da Evolução

- A teoria da evolução diz que na natureza todos os indivíduos dentro de um ecossistema competem entre si por recursos limitados (comida, água...)
- Os indivíduos mais fracos de uma mesma espécie tendem a não se proliferarem.
- A descendência reduzida faz com que a probabilidade de ter seus genes propagados ao longo de sucessivas gerações seja menor.
- A combinação entre os genes dos indivíduos que sobrevivem pode produzir um novo indivíduo muito melhor adaptado às características de seu meio ambiente ao combinar características possivelmente positivas de cada um dos seus pais.

Relembrando as Aulas de Biologia

- Indivíduos com uma melhor adequação do seu fenótipo ao meio ambiente (melhor fitness) se reproduzem mais ;
- Dessa forma têm mais chances de passar seus genes para a próxima geração ;
- Entretanto, graças aos operadores genéticos (recombinação e mutação) os cromossomos dos filhos não são exatamente iguais aos dos pais ;
- Assim, eles podem evoluir e se adaptar cada vez mais ao meio ambiente que os cerca.

Algoritmos Evolucionários

- Os algoritmos evolucionários, dos quais os algoritmos genéticos fazem parte, procuram se inspirar na forma como a natureza funciona.
 - Algoritmos Genéticos
 - Programação Genética
 - Neuro-Evolução
 - Evolução Diferencial
- Os algoritmos evolucionários funcionam mantendo uma população de estruturas que evoluem de forma semelhante à evolução das espécies.

Algoritmos Evolucionários

- Nestas estruturas são aplicados operadores genéticos, como a recombinação e mutação.
- Cada indivíduo recebe uma avaliação (fitness) que é uma quantificação da sua qualidade como solução do problema em questão
- Baseados nesta avaliação são aplicados operadores genéticos de forma a simular a sobrevivência do mais apto.

Algoritmos Evolucionários

- Algoritmos evolucionários buscam (dentro da atual população) aquelas soluções que possuem as melhores características e tenta combiná-las de forma a gerar soluções ainda melhores.
- O processo é repetido até que tenha se passado tempo suficiente ou que tenhamos obtido uma solução satisfatória para nosso problema.

Algoritmos Evolucionários

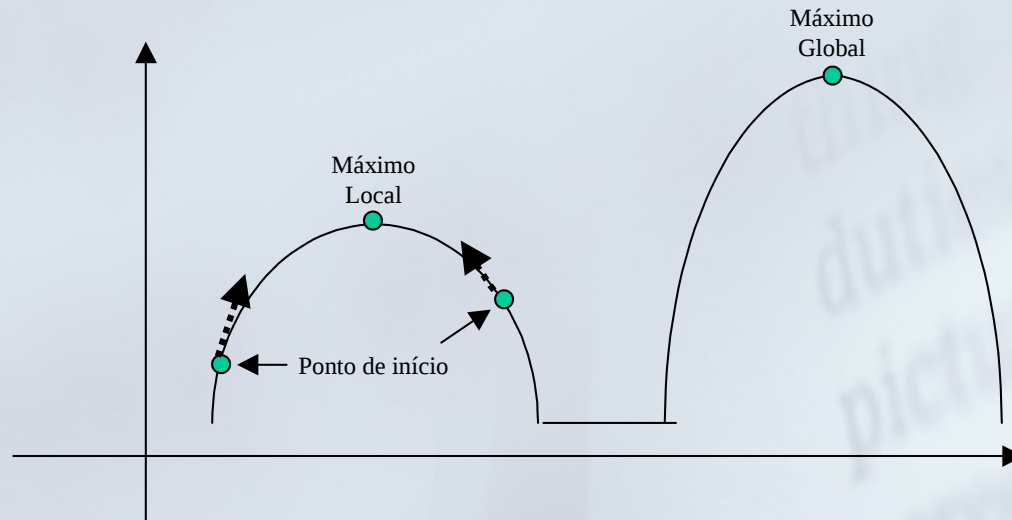
- Algoritmos evolucionários são extremamente dependentes de fatores estocásticos (probabilísticos), tanto na fase de inicialização da população quanto na fase de evolução.
- Isto faz com que os seus resultados raramente sejam perfeitamente reprodutíveis.
- Além disso, claramente os algoritmos evolucionários são heurísticas que não garantem a obtenção do melhor resultado possível em todas as suas execuções.

Algoritmos Evolucionários

- Conclusão: se você tem um algoritmo com tempo de execução razoável para solução de um problema, então não há nenhuma necessidade de se usar um algoritmo evolucionário.
- Sempre dê prioridade aos algoritmos exatos.
- Os algoritmos evolucionários entram em cena para resolver aqueles problemas cujos algoritmos exatos são extremamente lentos ou incapazes de obter uma solução.

Algoritmos Genéticos

- Algoritmos Genéticos são uma sub-área dos Algoritmos Evolucionários. Logo, são uma metáfora para a evolução natural.
- Os algoritmos genéticos são técnicas heurísticas de otimização global. Com isto, raramente eles ficam presos em máximos locais.



Algoritmos Genéticos

- Nos algoritmos genéticos as populações de indivíduos são criadas e submetidas a operadores genéticos.
 - Seleção.
 - Recombinação.
 - Mutação.
- Estes operadores utilizam uma caracterização da qualidade de cada indivíduo como solução do problema em questão chamada de avaliação do indivíduo (fitness).
- É gerado um processo de evolução natural destes indivíduos.

Algoritmos Genéticos

- Definição de um problema em algoritmos genéticos:
 - É necessário definir uma maneira de codificar os **indivíduos**.
 - Definir os **operadores genéticos** que serão utilizados.
 - Definir uma **função de avaliação** para medir a capacidade de sobrevivência de cada indivíduo.

Algoritmos Genéticos

Processo:

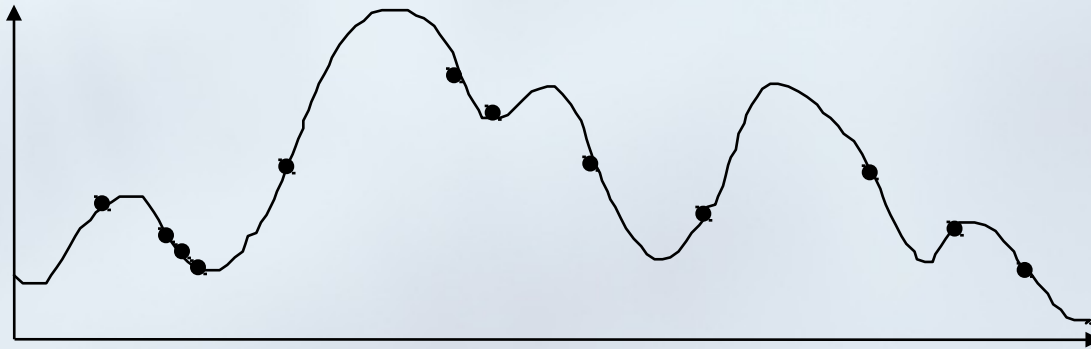
- 1) Inicialize a população de indivíduos.
- 2) Avalie cada indivíduos na população.
- 3) Selecione os melhores pais para gerar novos indivíduos. Aplique os operadores de recombinação e mutação a estes pais de forma a gerar os indivíduos da nova geração.
- 4) Apague os velhos membros da população.
- 5) Avalie todos os novos indivíduos e insira-os na população
- 6) Se o tempo acabou, ou o melhor indivíduos satisfaz os requerimentos da solução do problema, retorne-o, caso contrário volte para o passo 3.

Algoritmos Genéticos

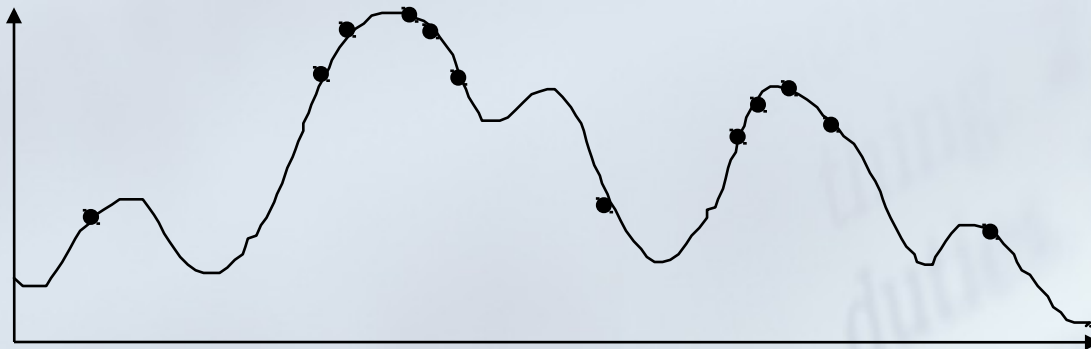
Algorithm 1 Algoritmo Genético Clássico

```
1:  $t \leftarrow 0$   
2: Inicializar População( $t$ )  
3: while condição de término não for satisfeita do  
4:    $t \leftarrow t + 1$   
5:   Seleciona População( $t$ ) da População( $t - 1$ )  
6:   Cruzamento População( $t$ )  
7:   Mutação População( $t$ )  
8:   Avaliação da População( $t$ )  
9: end while
```

Algoritmos Genéticos



Distribuição dos indivíduos na Geração 0



Distribuição dos indivíduos na Geração N

Algoritmos Genéticos

Para criar um algoritmo genéticos é necessário:

Definir uma maneira de codificar a **população de indivíduos**.

Definir uma **função de avaliação**.

Definir um método de **seleção dos pais**.

Definir os **operadores genéticos**:

Recombinação.

Mutação.

Codificação da População

- A representação dos cromossomos é fundamental para a codificação do algoritmo genético.
- Consiste em uma maneira de traduzir a informação do problema em uma maneira viável de ser tratada pelo computador.
- Cada pedaço indivisível desta representação é chamado de um gene, por analogia aos genes que compõem um cromossomo biológico.

Codificação da População

- É importante notar que a representação computacional dos cromossomos é completamente arbitrária.
- Cromossomos podem ser:
 - Strings de bits (0101 ... 1100)
 - Números reais (43.2 -33.1 ... 0.0 89.2)
 - Listas de regras (R1 R2 R3 ... R22 R23)
 - Qualquer estrutura de dados imaginável!

Exemplo - População

Objetivo: Encontrar o máximo da função $f(x)=x^2$ no intervalo $[0,31]$.

Os indivíduos da população precisam armazenar o valor de uma variável inteira.

$x=20$

1	0	1	0	0
---	---	---	---	---

Podemos codificar cada indivíduo da população como uma sequência de 5 bits.

$x=3$

0	0	0	1	1
---	---	---	---	---

Função de Avaliação

- A função de avaliação é a maneira utilizada pelos algoritmos genéticos para determinar a qualidade de um indivíduo como solução do problema em questão.
- A função de avaliação deve ser escolhida cuidadosamente. Ela deve embutir todo o conhecimento que se possui sobre o problema a ser resolvido.

Exemplo - Função de Avaliação

Objetivo: Encontrar o máximo da função $f(x)=x^2$ no intervalo $[0,31]$.

A função de avaliação para este caso consiste simplesmente em converter o número de binário para inteiro e depois elevá-lo ao quadrado.

Indivíduos que tiverem maiores valores na função de avaliação são os mais aptos.

Seleção dos Pais

- O método de seleção de pais deve tentar simular o mecanismo de seleção natural que atua sobre as espécies biológicas.
 - Os pais mais capazes geram mais filhos, mas os menos aptos também podem gerar descendentes.
 - Temos que privilegiar os indivíduos com função de avaliação alta, sem desprezar completamente aqueles indivíduos com função de avaliação extremamente baixa.
 - Isto ocorre pois até indivíduos com péssima avaliação podem ter características genéticas que sejam favoráveis à criação de um "super indivíduo".

Seleção dos Pais

- Método mais comum de seleção de pais: Roleta.
- Cria-se uma roleta (virtual) na qual cada cromossomo recebe um pedaço proporcional à sua avaliação.
- Roda-se a roleta para sortear os indivíduos que serão pais de um novo indivíduo.

Exemplo - Seleção dos Pais

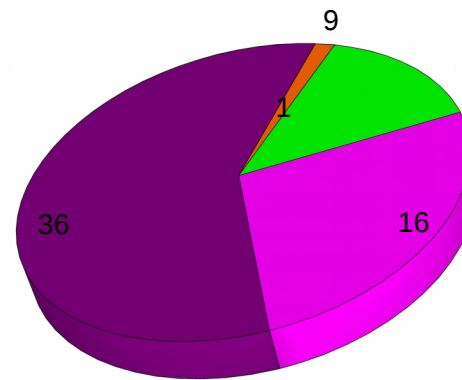
- Considerando a seguinte população gerada aleatoriamente para o problema de maximização de $f(x)=x^2$ no intervalo $[0,31]$

Indivíduo	Avaliação	Pedaço da roleta (%)	Pedaço da roleta (°)
00001	1	1.61	5.8
00011	9	14.51	52.2
00100	16	25.81	92.9
00110	36	58.07	209.1
Total	62	100.00	360.0

Exemplo - Seleção dos Pais

Roleta para População Exemplo

sub-title



"00001" "00011" "00100" "00110"

Operadores Genéticos - Recombinação

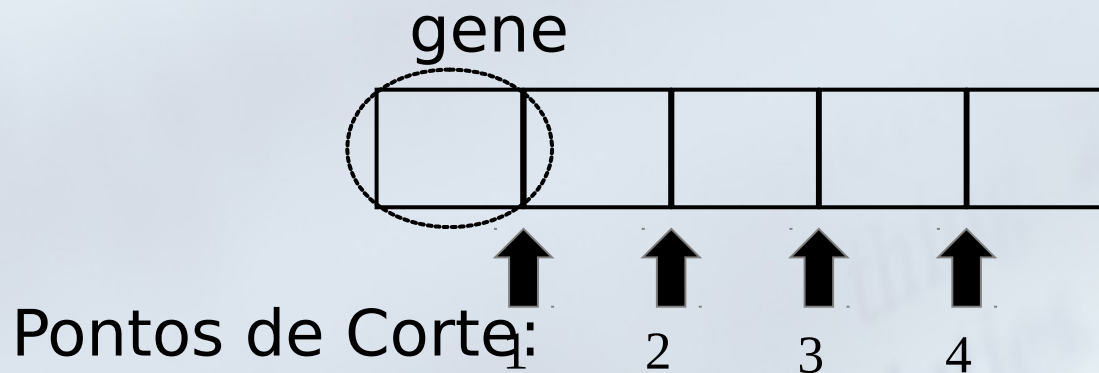
Operador de recombinação de um ponto.

Processo:

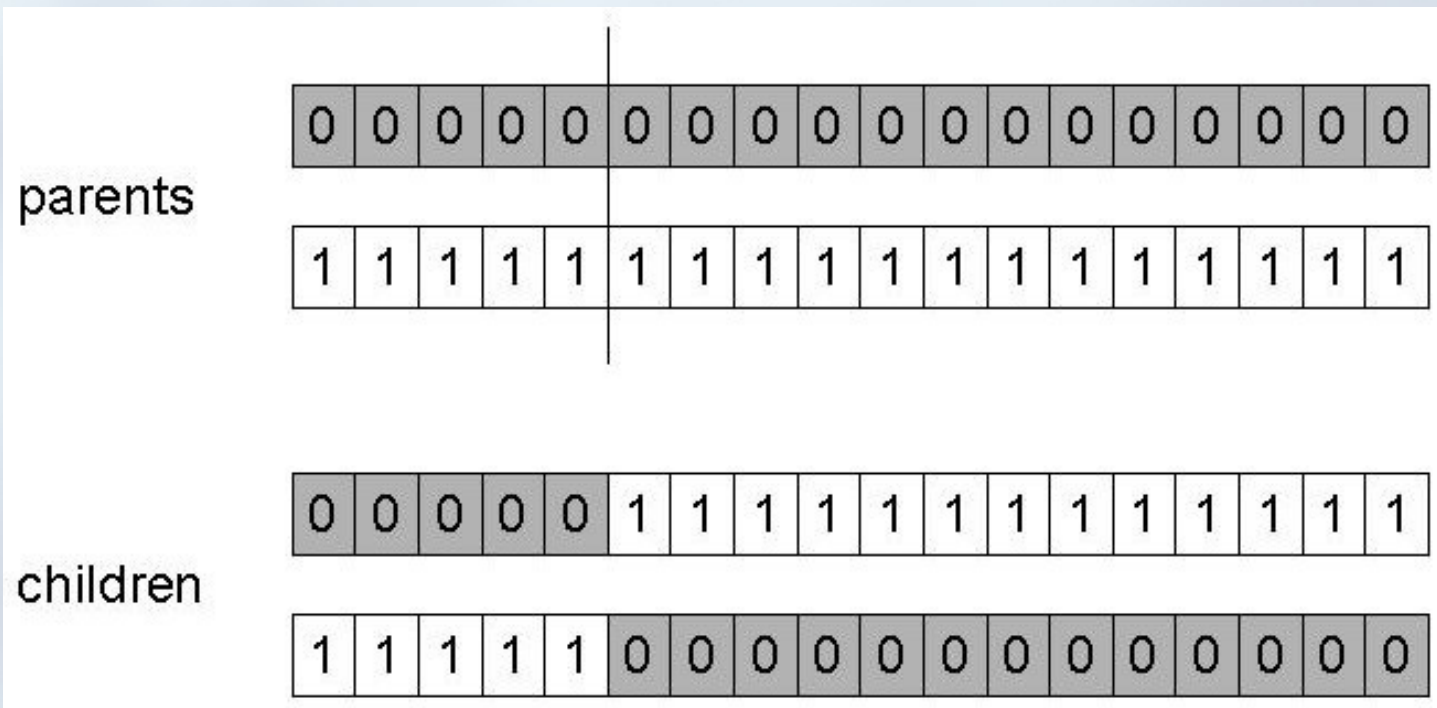
- (1)** Seleciona-se **dois pais** através processo de seleção de pais.
- (2)** Seleciona-se **um ponto de corte** (uma posição entre dois genes de um cromossomo). Este ponto de corte é o ponto de separação entre cada um dos genes que compõem o material genético de cada pai.
- (3)** A metade à esquerda do ponto de corte vai para um filho e a metade à direita vai para outro.

Recombinação - Ponto de Corte

- Cada indivíduo com n genes possui $n-1$ pontos de corte.
- Em um indivíduo com codificação binária, cada bit é um gene.



Exemplo - Recombinação



Operadores Genéticos - Mutação

- Depois de compostos os filhos, entra em ação o operador de mutação.
- O operador atua com base em uma probabilidade extremamente baixa (da ordem de 5%) de alteração aleatória do valor de um gene ou mais genes dos filhos.
- O valor da probabilidade que decide se o operador de mutação será ou não aplicado é um dos parâmetros do algoritmo genético que pode alterar o resultado alcançado pelo algoritmo.

Exemplo – Mutação

Altere-se cada gene de forma independente com base em uma probabilidade p_m

p_m é denominada taxa de mutação e costuma ser bem baixa.

parent

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

child

0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Outras Técnicas

Recombinação de mais pontos.

Elitismo.

Operadores Genéticos

- É possível aumentar ou diminuir a incidência de cada um dos operadores sobre a população e assim ter mais controle sobre o desenvolvimento dos cromossomos.
- Cada operador pode receber uma avaliação. Normalmente o operador de recombinação recebe um fitness bem maior que o operador de mutação.

Operadores Genéticos

As porcentagem de aplicação de cada operador não precisa ser fixa.

No início queremos executar muita reprodução e pouca mutação, visto que há muita diversidade genética e queremos explorar o máximo possível nosso espaço de soluções.

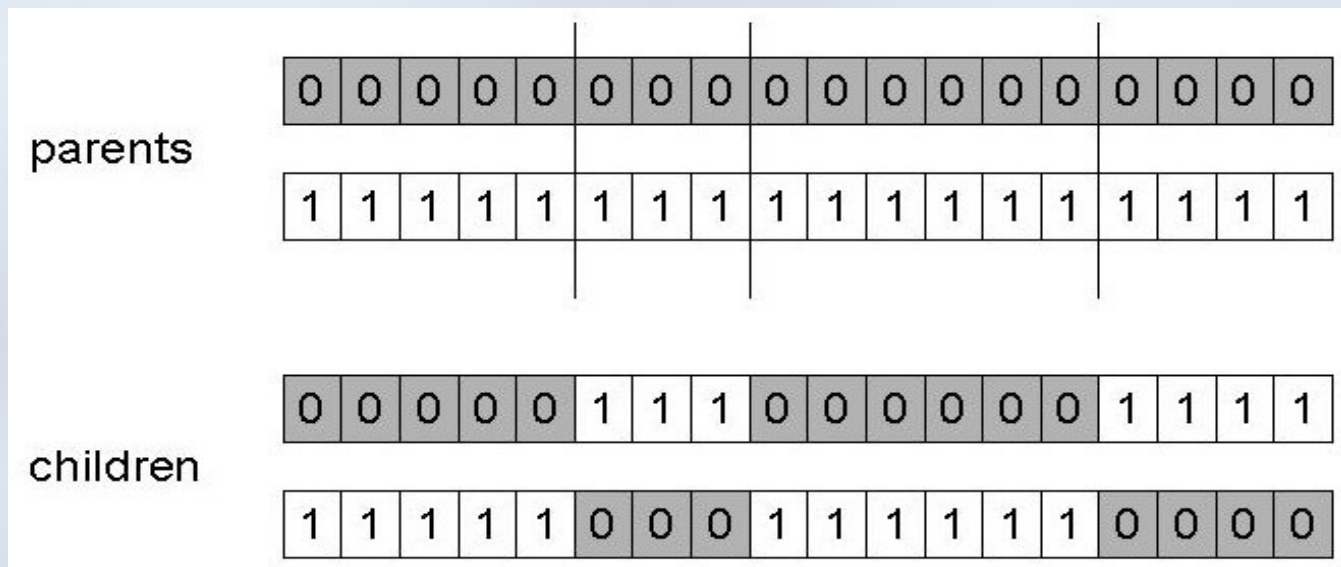
Depois de um grande número de gerações, há pouca diversidade genética na população e seria extremamente interessante que o operador de mutação fosse escolhido mais frequentemente.

Recombinação de Dois Pontos

- Existem indivíduos que não podem ser gerados com a recombinação de somente um ponto.
Exemplo: 1*****1.
- Consequentemente, se não mudarmos o operador de recombinação, o algoritmo genético fica limitado na sua capacidade de gerar um certo conjunto de cromossomos.
- Para melhorar essa capacidade é possível introduzir a recombinação de 2 pontos.
- Nele, em vez de sortearmos um só ponto de corte, sorteamos dois.

Recombinação de n Pontos

- Evoluindo a ideia da recombinação de dois pontos, é possível tornar o operador uma recombinação de n pontos.



Elitismo

- A ideia básica por trás do elitismo é a seguinte:
- Os n melhores indivíduos de cada geração não devem "morrer" junto com a sua geração, mas sim passar para a próxima geração para garantir que seus genomas sejam preservado.
- É uma forma de garantir que o algoritmo nunca regrida.

Algoritmos Genéticos

- Questões importantes na definição de um problema em algoritmos genéticos:
 - Representação dos indivíduos.
 - Parâmetros do sistema (tamanho da população, taxa de mutação...).
 - Políticas de seleção e eliminação de indivíduos.
 - Operadores genéticos (recombinação e mutação)
 - Critérios de parada.
 - Função de avaliação (a mais importante e mais complicada de ser definida).

Algoritmos Genéticos

- Questões importantes na definição de um problema em algoritmos genéticos:
 - Representação dos indivíduos.
 - Parâmetros do sistema (tamanho da população, taxa de mutação...).
 - Políticas de seleção e eliminação de indivíduos.
 - Operadores genéticos (recombinação e mutação)
 - Critérios de parada.
 - Função de avaliação (a mais importante e mais complicada de ser definida).

Algoritmos Genéticos

AG são técnicas probabilísticas, e não técnicas determinísticas.

Iniciando um AG com a mesma população inicial e o mesmo conjunto de parâmetros é possível encontrar soluções diferentes a cada vez que se executa o programa.

Algoritmos Genéticos

AG não ficarão estagnados simplesmente pelo fato de terem encontrado uma máximo local;

Eles se parecem com a evolução natural, que só porque encontrou um indivíduo que é instantaneamente o melhor de um certo grupo, não deixa de “procurar” outros indivíduos ainda melhores.

Na evolução natural isto também decorre proveniente de circunstâncias que mudam de um momento para outro.

Algoritmos Genéticos

“Quanto melhor um indivíduo se adaptar ao seu meio ambiente, maior será sua chance de sobreviver e gerar descendentes.”

(DARWIN, 1859)

Bibliografia e Materiais.

Estes slides foram adaptados do Livro:

Russell, S. and Norvig, P. Artificial Intelligence: a Modern Approach, 2nd Edition, Prentice-Hall, 2003. Capítulo 3: Informed Search and Exploration Solving Problems by Searching;

Adaptado das Aulas do Professor: Ederley – PU

