

AULA 04

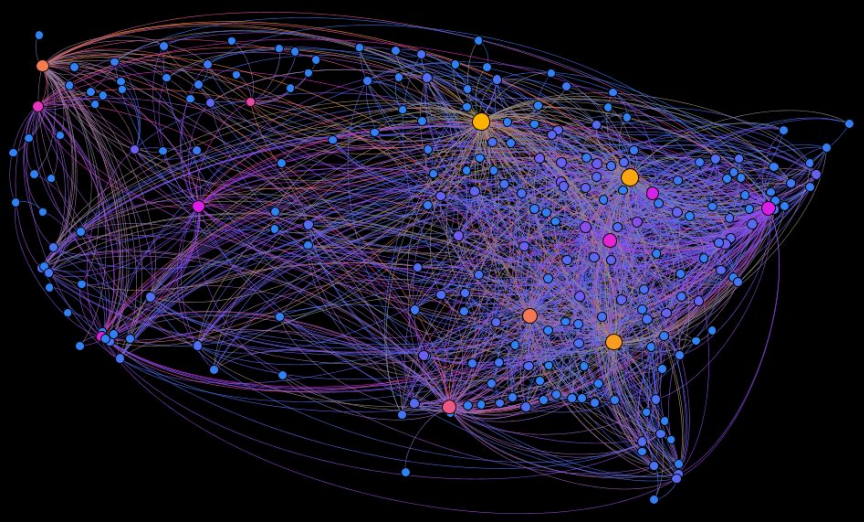
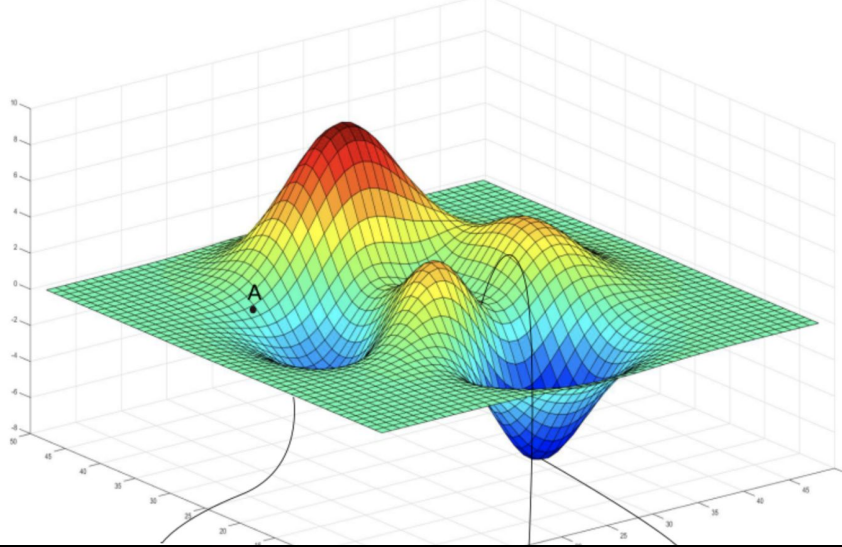
Busca Local

CAMILA LARANJEIRA

mila.laranjeira@gmail.com



PUC Minas



Agenda

- Busca Local
- Métodos de Busca
 - Hill Climbing / Gradiente Descendente
 - Simulated annealing
 - Beam search
 - Algoritmos genéticos

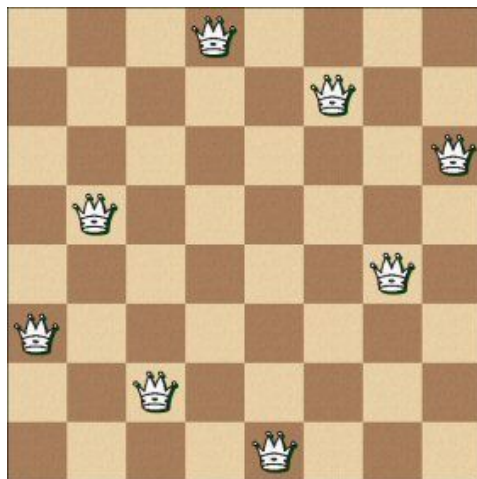
Sobre os slides

Esses slides usam material de:

- José Augusto Baranauskas do Departamento de Computação e Matemática – FFCLRP-USP
- Lecture 4: Informed Search: Local Search | Berkeley CS188: AI (Spring 2022)
 - <https://inst.eecs.berkeley.edu/~cs188/sp22/assets/slides/Lecture4.pdf>

Busca Local

- Em muitos problemas de otimização, o caminho é irrelevante; o estado objetivo é a solução
- Exemplo: Problema das 8 rainhas



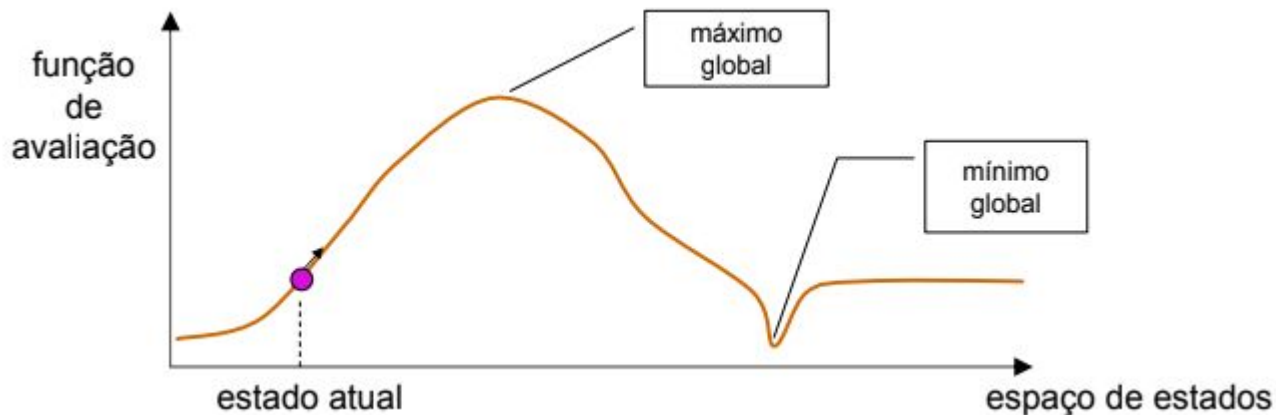
o que importa é a configuração final
no tabuleiro e não a ordem em que
as rainhas são acrescentadas

Busca Local

- Em muitos problemas de otimização, o caminho é irrelevante; o estado objetivo é a solução
- Exemplo: Problema das 8 rainhas, caixeiro viajante
- Nesses casos, pode-se usar algoritmos de melhoria iterativos: manter um único estado “atual”, tentar melhorá-lo
 - Se você pensou em aprendizado de máquina, pensou certo, é nessa linha!
- Embora os algoritmos de busca local não sejam sistemáticos, eles apresentam vantagens:
 - Utilizam pouca memória (em geral, um valor constante)
 - Podem encontrar soluções razoáveis em espaços muito grande ou infinito, para os quais os algoritmos sistemáticos não são adequados

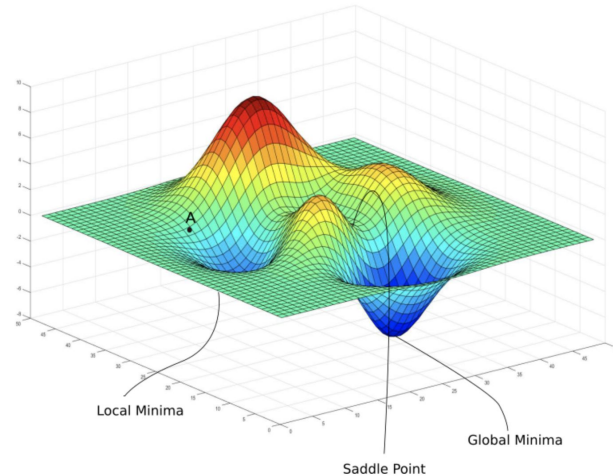
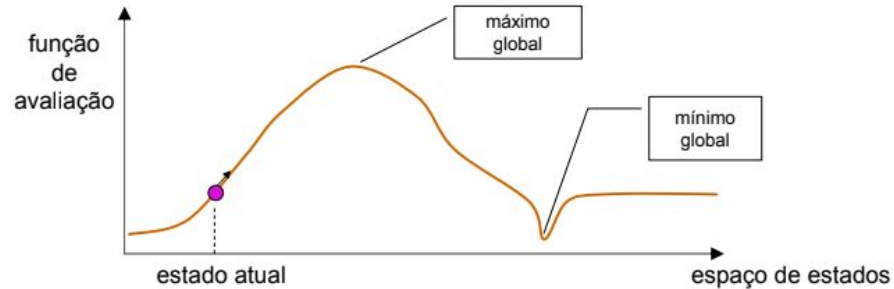
Espaço de Estados

- Considere a topologia do espaço de estados
 - eixo x: diferentes estados
 - eixo y: função de avaliação
 - Se a função é o **custo**, queremos o **mínimo global**. Se é **qualidade**, queremos o **máximo global**.



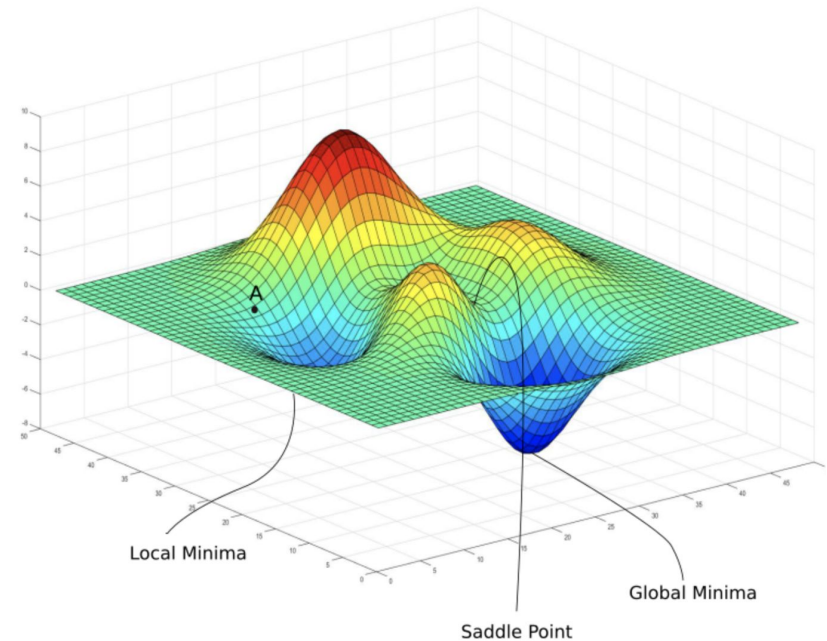
Espaço de Estados

- Considere a topologia do espaço de estados
 - A “altura” sempre representa a função de avaliação, mas o espaço de estados pode ter um número n qualquer de dimensões



Espaço de Estados

- O espaço de estados pode ter inúmeros mínimos/máximos.
 - Global: ponto mais alto/mais baixo do espaço de estados (melhor solução)
 - Local: ponto mais alto/mais baixo que todos os seus vizinhos



Hill Climbing / Gradient Descent

- Por simplicidade, vamos considerar que estamos buscando o mínimo global



Hill Climbing / Gradient Descent

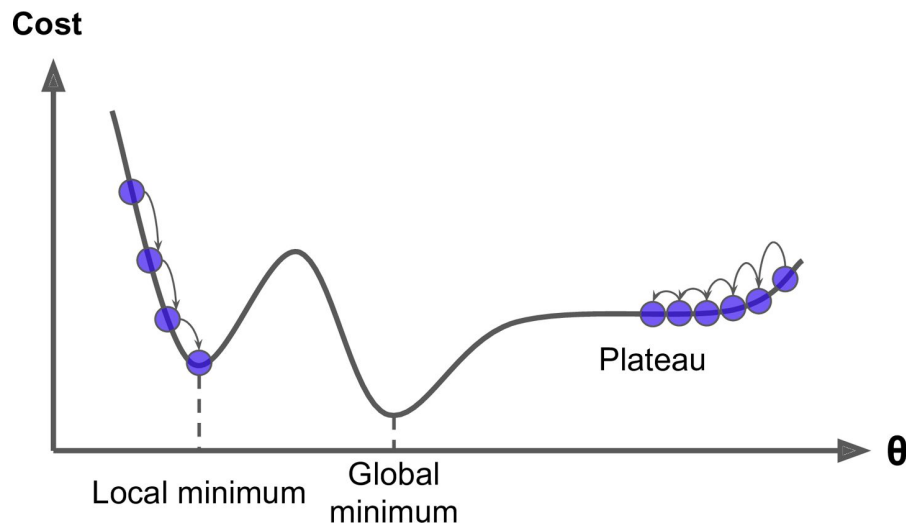
- Idéia geral
 - Inicialize em um estado qualquer (aleatório, estado inicial, etc.)
 - Repita: se mova na direção do melhor vizinho
 - Se nenhum vizinho é melhor, retorne o estado atual como solução



Hill Climbing / Gradient Descent

- Problemas

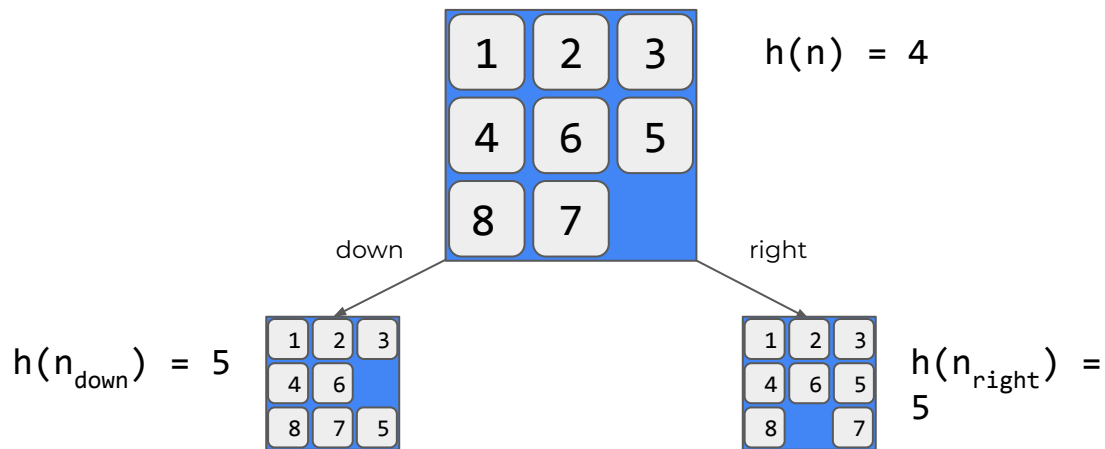
- Otimizações locais: o algoritmo termina mesmo que a solução esteja longe de ser satisfatória
- Platôs: a função de avaliação é essencialmente plana; não há vizinhos melhores



Hill Climbing / Gradient Descent

- Problemas

- Otimizações locais: o algoritmo termina mesmo que a solução esteja longe de ser satisfatória
- Platôs: a função de avaliação é essencialmente plana; não há vizinhos melhores

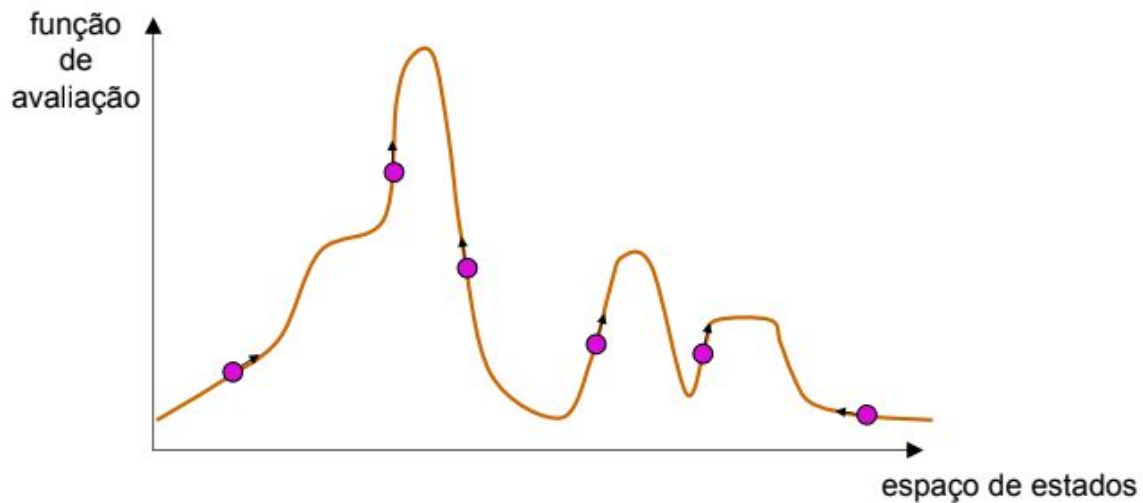


Hill Climbing / Gradient Descent

- Variações
 - Estocástico: nem sempre escolhe o melhor vizinho
 - Falaremos do Stochastic Gradient Descent (SGD) no futuro
 - Primeira escolha: escolhe o primeiro bom vizinho que encontrar
 - Reinício aleatório: Conduz múltiplas buscas partindo de estados aleatórios. O melhor resultado dentre todas as buscas é retornado

Hill Climbing / Gradient Descent

- Reinício aleatório, assumindo o hill climbing (maximização da função)



Hill Climbing / Gradient Descent

- Variações
 - Estocástico: nem sempre escolhe o melhor vizinho
 - Falaremos do Stochastic Gradient Descent (SGD) no futuro
 - Primeira escolha: escolhe o primeiro bom vizinho que encontrar
 - Reinício aleatório: Conduz múltiplas buscas partindo de estados aleatórios. O melhor resultado dentre todas as buscas é retornado
 - Simulated annealing (“têmpera” simulada)

Simulated annealing

- Termo utilizado em metalurgia
- O aquecimento provoca movimento das moléculas de metal para localizações indesejáveis
- Durante o resfriamento, as moléculas reduzem seus movimentos e situam-se em uma localização mais estável

Ou seja,

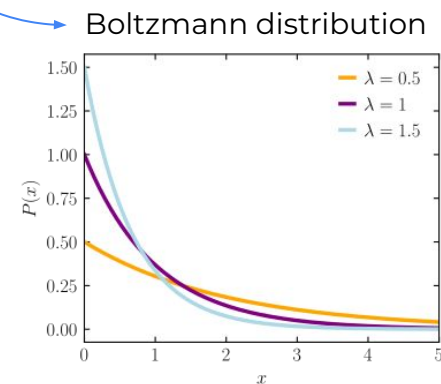
- Métricas de **energia** e **temperatura** regulam a probabilidade de aceitar movimentos ruins
 - Altas temperaturas ajudam a fugir de otimizações locais

Simulated annealing

1. Escolha um estado inicial do espaço de busca de forma aleatória
 2. $i \leftarrow 1$
 3. $T \leftarrow \text{Temperatura}(i)$
 4. Enquanto $(T > T_f)$ Faça
 5. Escolha um vizinho (sucessor) do estado atual de forma aleatória
 6. $\text{deltaE} \leftarrow \text{energia}(\text{vizinho}) - \text{energia}(\text{atual})$
 7. Se $(\text{deltaE} > 0)$ Então
o movimento é aceito (mova para o vizinho de melhor qualidade)
Senão
o movimento é aceito com probabilidade $\exp(\text{deltaE}/T)$
Fim Se
 8. $i \leftarrow i + 1$
 9. $T \leftarrow \text{Temperatura}(i)$
 10. Fim Enquanto
 11. Retorne o estado atual como sendo a solução
- ❑ **energia(N)** é uma função que calcula a energia do estado N e pode ser vista como qualidade
 - ❑ **Temperatura(i)** é uma função que calcula a temperatura na iteração i, assumindo sempre valores positivos
 - ❑ T_f é a temperatura final (por exemplo, $T_f = 0$)

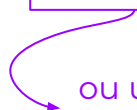
Simulated annealing

1. Escolha um estado inicial do espaço de busca de forma aleatória
2. $i \leftarrow 1$
3. $T \leftarrow \text{Temperatura}(i)$
4. Enquanto $(T > T_f)$ Faça
 5. Escolha um vizinho (sucessor) do estado atual de forma aleatória
 6. $\text{delta}E \leftarrow \text{energia}(\text{vizinho}) - \text{energia}(\text{atual})$
 7. Se $(\text{delta}E > 0)$ Então
o movimento é aceito (mova para o vizinho de melhor qualidade)
Senão
o movimento é aceito com probabilidade $\exp(\text{delta}E/T)$
 8. Fim Se
 9. $i \leftarrow i + 1$
 10. Fim Enquanto
 11. Retorne o estado atual como sendo a solução



Beam Search

- **K** estados são escolhidos aleatoriamente para inicializar a busca
- A cada iteração são gerados todos os sucessores de todos os k estados
 - Se algum deles for o estado final, então o algoritmo termina
 - Senão, os **K** melhores são selecionados para a próxima iteração

 ou uma seleção probabilística
enviesada para os melhores

Beam Search

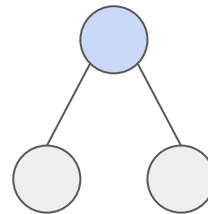
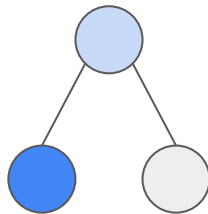
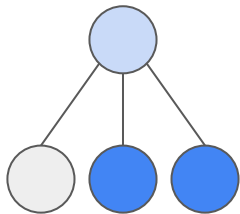
- **K** estados são escolhidos aleatoriamente para inicializar a busca
- A cada iteração são gerados todos os sucessores de todos os k estados
 - Se algum deles for o estado final, então o algoritmo termina
 - Senão, os **K** melhores são selecionados para a próxima iteração
- Como isso é diferente da **K** buscas aleatórias?
 - As buscas “se comunicam”, já que a seleção de estados não é obrigada a incluir os filhos de todas as raízes

Beam Search

- Com **K=3**

Passo i

Passo i+1

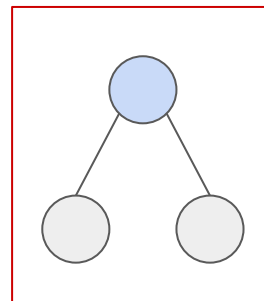
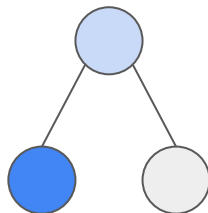
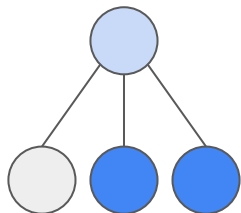


Beam Search

- Com $K=3$

Passo i

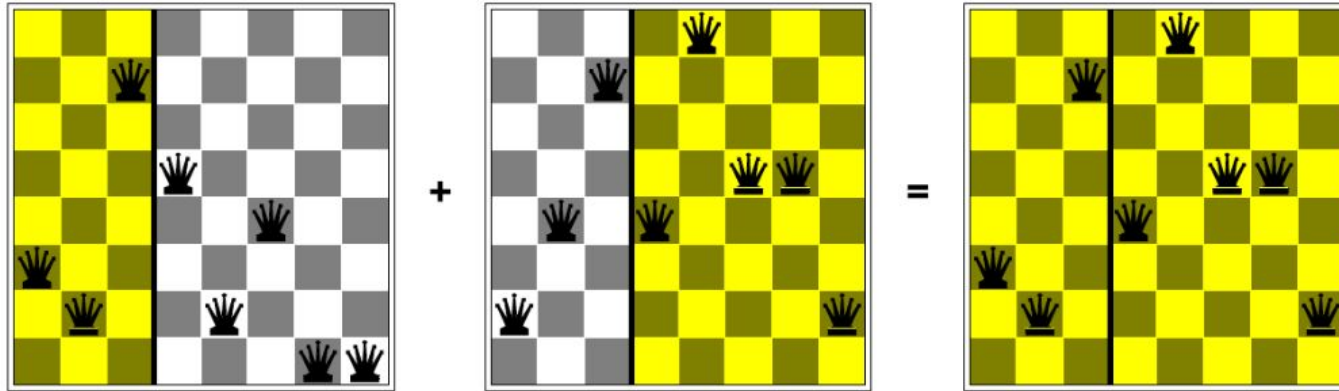
Passo $i+1$



Essa sub-árvore deixa
de ser seguida.

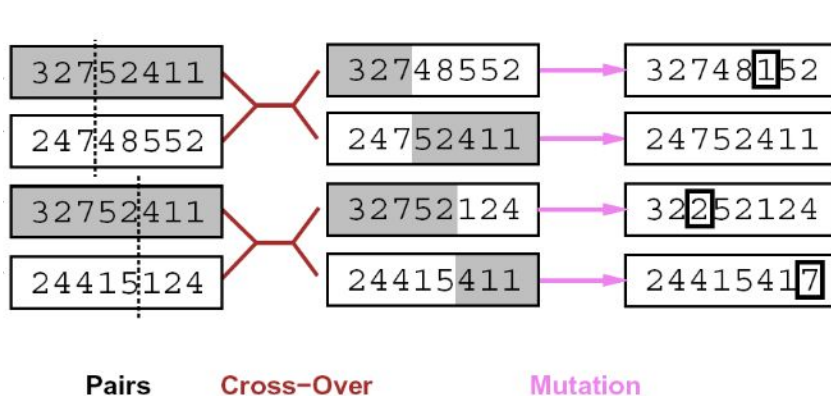
Algoritmos Genéticos

- Alguns problemas permitem a combinação de partes de estados para compor um novo estado. Ex: problema das 8 rainhas.



Algoritmos Genéticos

- Nesses casos, uma abordagem interessante é a evolução!
- Algoritmos genéticos usam uma metáfora de seleção natural
 - Reamostrar K indivíduos em cada etapa (seleção) ponderada pela função de aptidão (fitness)
 - Combinar por operadores de cruzamento de pares, mais mutação para dar variedade



Algoritmos Genéticos

- Conjuntos de estados são chamados de **geração**
- Inicializa com uma geração de indivíduos aleatórios
- A cada iteração
 - Seleciona k indivíduos com base na função de aptidão (métrica de qualidade/custo)
 - Pode ser estocástico ou determinístico
 - Modifique os indivíduos através de recombinação + mutação
- O algoritmo encerra se um dos estados da geração é a solução, ou se atingir o número máximo de gerações.

Resumo

- Muitos problemas de otimização podem ser formulados como busca local
 - Basta que o caminho até a solução não seja relevante
- Muitos algoritmos de aprendizado de máquina são buscas locais (e falaremos mais deles)
- Famílias gerais de algoritmos
 - Hill climbing/Gradient descent
 - Determinístico
 - Simulated annealing e outros métodos estocásticos
 - Beam search
 - Algoritmos genéticos