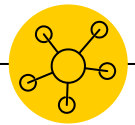
Metaheurísticas:
Uma breve introdução



1

Motivação

Por que metaheurísticas são importantes?

Inteligência Artificial (AI) tem desenvolvido um grande número de ferramentas para resolver os problemas de busca e otimização mais difíceis na ciência da computação e pesquisa operacional.

Inteligência computacional (CI) é um sub-divisão da AI, definida como o estudo de mecanismos adaptativos para permitir ou facilitar o comportamento inteligente em ambientes complexos e/ou em constante mudança.

Tais mecanismos incluem os paradigmas da AI que exibem a habilidade de aprender ou adaptar-se a novas situações, generalizar, abstrair, descobrir e associar.

Os quatro principais paradigmas da IC são as redes neurais artificiais (NN), sistemas fuzzy (FS), inteligência de enxame (SI) e computação evolucionária (EC).

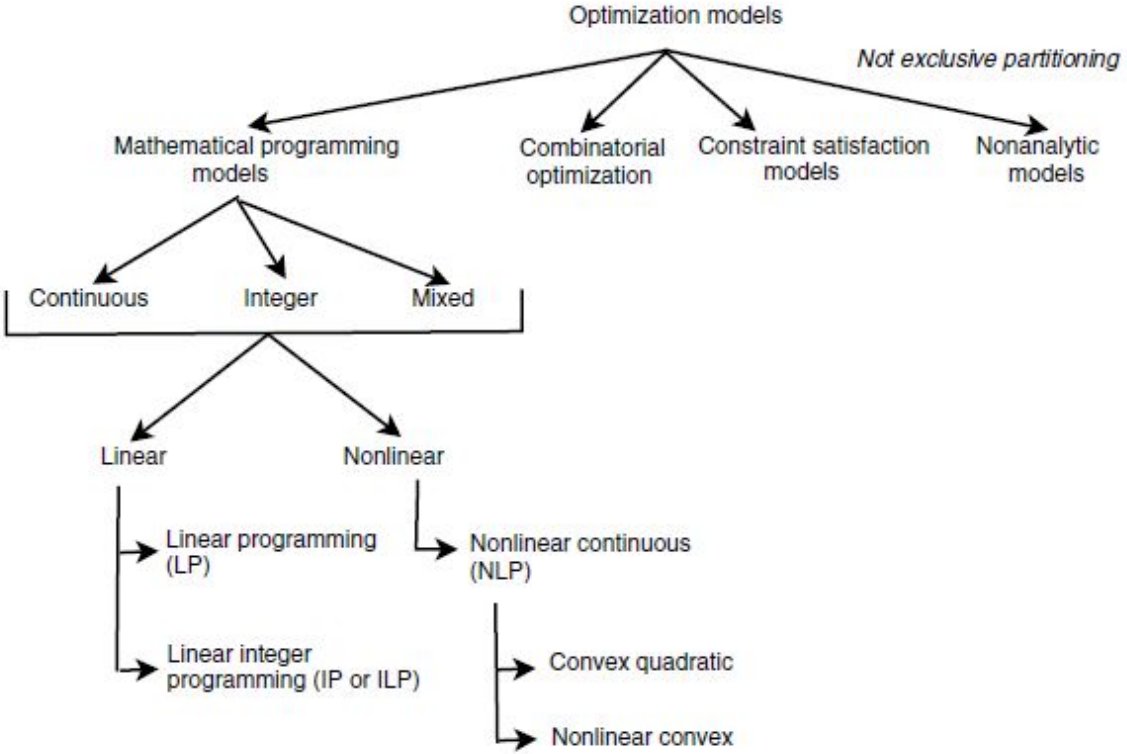
SI e EC são normalmente chamadas de metaheurísticas, e são propostas principalmente simulando a natureza ou invocando procedimentos inteligentes aprendidos.

2

Conceitos gerais

Vamos falar um pouco sobre otimização.

Modelos clássicos de otimização



Definição. *Uma solução* $s^* \in S$ *é um ótimo global se tem uma função objetivo melhor que todas as outras soluções no espaço de busca, isto é,*

$$\forall s \in S, f(s^*) \square f(s).$$

Complexidade de algoritmos

Definição 1. Notação Big-O. *Um algoritmo tem complexidade* $f(n) = O(g(n))$ *se existem constantes positivas* n_0 *e* c *nas quais* $\forall\, n < n_0, f(n) \leq c.g(n)$. *Ou seja, a complexidade de* $f(n)$ *é limitada superiormente por* $g(n)$.

Complexidade de algoritmos

Definição 2. Algoritmo de tempo polinomial. *Um algoritmo é considerado de tempo polinomial se sua complexidade é* $O(p(n))$*, em que* $p(n)$ *é uma função polinomial de* n*.*

Definição 3. Algoritmo de tempo exponencial. *Um algoritmo é considerado de tempo exponencial se sua complexidade é* $O(c^n)$*, onde* c *é uma constante estritamente maior que 1.*

Complexidade de problemas

A complexidade de um problema é equivalente à complexidade do melhor algoritmo que resolve aquele problema. Um problema é tratável (ou fácil) se existe um algoritmo de tempo polinomial para resolvê-lo. Um problema é intratável se não existe algoritmo de tempo polinomial para resolver o problema.

Complexidade de problemas

Há duas classes de complexidade: **P** e **NP**. **P** representa o conjunto de todos os problemas que podem ser resolvidos por um algoritmo determinístico em tempo polinomial. **NP** representa o conjunto de problemas que podem ser resolvidos por um algoritmo não-determinístico em tempo polinomial.

Métodos de otimização

Métodos exatos

Obtém soluções ótimas e garantem a otimalidade delas. Para problemas NP, só são viáveis para pequenas instâncias.

Programação dinâmica, A*, *Branch and Bound etc.*

Métodos aproximativos

Geram soluções de alta qualidade em um tempo adequado para uso prático. Mas não há garantias de que a solução ótima global seja encontrada. São específicos ao problema.

Algoritmos aproximativos e Algoritmos heurísticos

Metaheurísticas

Possuem as mesmas características dos métodos aproximativos, exceto por serem aplicáveis a vários problemas. Eficientes para tratar problemas grandes e complexos.

Algotimos genéticos, Busca Tabu, Nuvem de partículas etc.

Quando usar metaheurísticas?

Não

- Nos casos em que os algoritmos exatos fornecem um tempo de busca razoável para as instâncias em questão.
- Se o problema, mesmo NP-Completo, possuir instâncias pequenas, ou instâncias maiores com estruturas que possam ser favoráveis ao método exato.

Sim

- Problemas NP-Completos intratáveis por algoritmos exatos dentro do tempo requerido.
- Problemas polinomiais cuja complexidade é tão grande que instâncias reais não podem ser resolvidas em tempo razoável.
- Problemas não-lineares contínuos (NLP), quando os métodos derivativos falham devido ao espaço de busca ser difícil (ruído, descontinuidades, não-linearidade etc.)
- Aplicações em tempo-real.

3

Metaheurísticas

Classificação e uso

A palavra *heurística* vem do grego antigo *heuriskein*, que significa “a arte de descobrir novas estratégias para resolver problemas”. O sufixo *meta*, também vem do grego, e significa “metodologia de mais alto nível”.

Classificação das metaheurísticas

Busca local

- Realizam buscas em um sub-espaço do espaço de busca, buscando o mínimo local. A busca local é mais utilizada para aumentar a convergência de algoritmos de busca global.

Hill climbing, simulated annealing, busca tabu, variable neighborhood search, GRASP etc.

Busca global

- Realizam buscas em todo o espaço de busca a fim de encontrar o mínimo global.

Simulated annealing, busca tabu, variable neighborhood search, GRASP, colônia de formigas, nuvem de partículas, algoritmos genéticos

Classificação das metaheurísticas

Solução única

- Focam em modificar e melhorar uma única solução candidata.

Simulated annealing, iterated local search, variable neighborhood search, guided local search etc.

Baseadas em população

- Abordam a manutenção e melhoria de múltiplas soluções candidatas, frequentemente usando características da população para guiar a busca.

Colônia de abelhas, path relinking, colônia de formigas, nuvem de partículas, algoritmos genéticos etc.

Classificação das metaheurísticas

Híbridos

Metaheurísticas combinadas com outros métodos de otimização, como programação linear, aprendizagem de máquina, metaheurística de busca local etc.

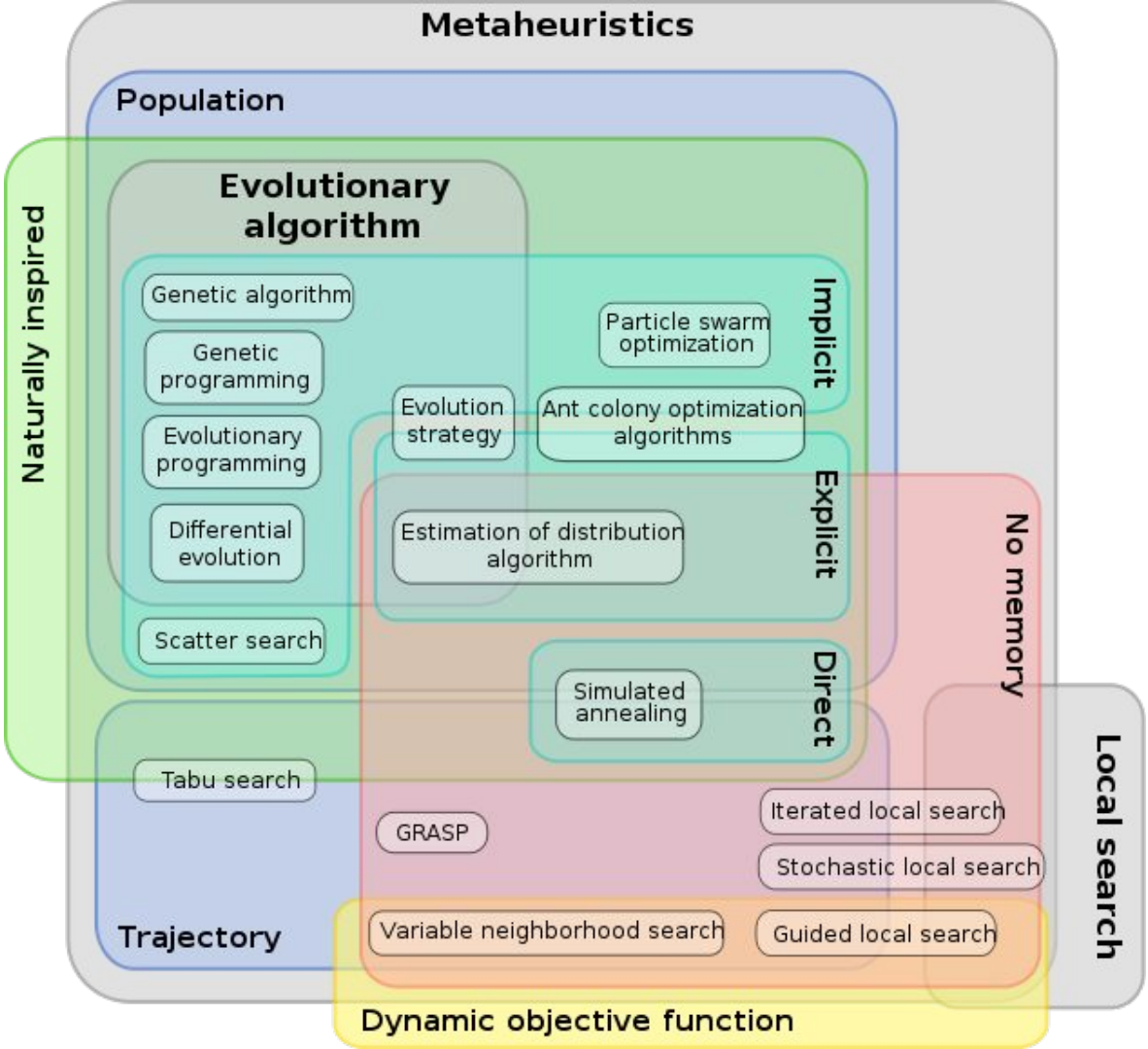
No caso de combinação com **busca local**, é chamado **memético**.

Bio-inspirados

Utilizam metáforas inspiradas em comportamentos observados na natureza para definir suas operações. **Algoritmos genéticos** e de **inteligência de enxame** são exemplos dessa classe.

Paralelos

Usam técnicas de programação paralela para rodar múltiplas buscas em paralelo. Podem variar de simples esquemas de distribuição até buscas concorrentes que interagem entre si para melhorar a solução global.


Metaheuristics
Population
Naturally inspired
Evolutionary algorithm
Genetic algorithm
Genetic programming
Evolutionary programming
Differential evolution
Scatter search
Implicit
Particle swarm optimization
Evolution strategy
Ant colony optimization algorithms
Explicit
Estimation of distribution algorithm
Direct
Simulated annealing
No memory
Local search
Tabu search
GRASP
Iterated local search
Stochastic local search
Trajectory
Variable neighborhood search
Guided local search
Dynamic objective function

4

Alguns exemplos

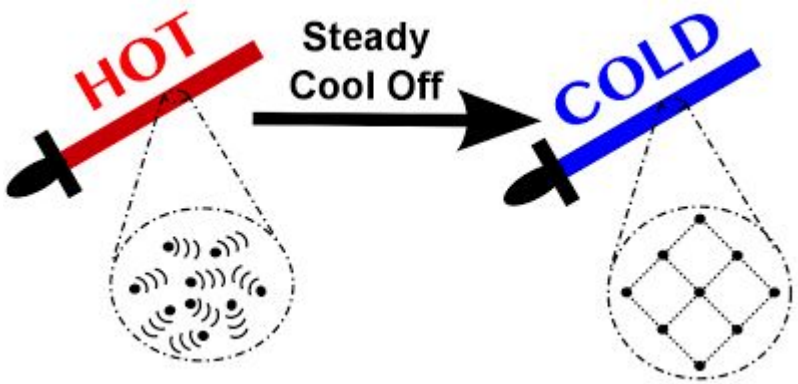
Algumas das metaheurísticas mais comuns

Busca Tabu

A implementação de busca tabu usa estruturas de memória que descrevem as soluções visitadas ou conjuntos fornecidos pelo usuário de regras.

É possível piorar uma solução se uma melhoria não está disponível (a busca está presa em um mínimo local).

Se uma solução potencial foi já visitada dentro de um determinado período de curto prazo ou se violou uma regra, ela é marcada como "tabu" (proibido), de modo que o algoritmo não considera essa possibilidade repetidamente.



Simulated Annealing

Baseado na abstração do processo de têmpera.

Funciona substituindo a solução atual por uma solução próxima (vizinhança), escolhida de acordo com uma função objetivo e com uma variável T (Temperatura). Quanto maior for T, maior a componente aleatória que será incluída na próxima solução escolhida. A cada iteração, são gerados novos vizinhos, cuja variação $\Delta = f(s') - f(s)$ do valor da função objetivo, é medida e, quanto menor, maior a probabilidade desta solução ser aceita. O valor de T é, então, decrementado, até o algoritmo a convergir para uma solução ótima local.

GRASP

O Greedy Randomized Adaptive Search Procedure é um algoritmo para geração rápida de soluções.

A solução é construída em duas fases:

– Heurística Construtiva : Geração Gulosa,

Randômica e Adaptativa;

– Busca Local: Busca na solução encontrada.

É dito construtivo por privilegiar a geração de uma solução inicial de melhor qualidade e utilizar a busca local apenas para pequenas melhorias.

É comumente aplicado a problemas de otimização combinatória.

Algoritmos genéticos

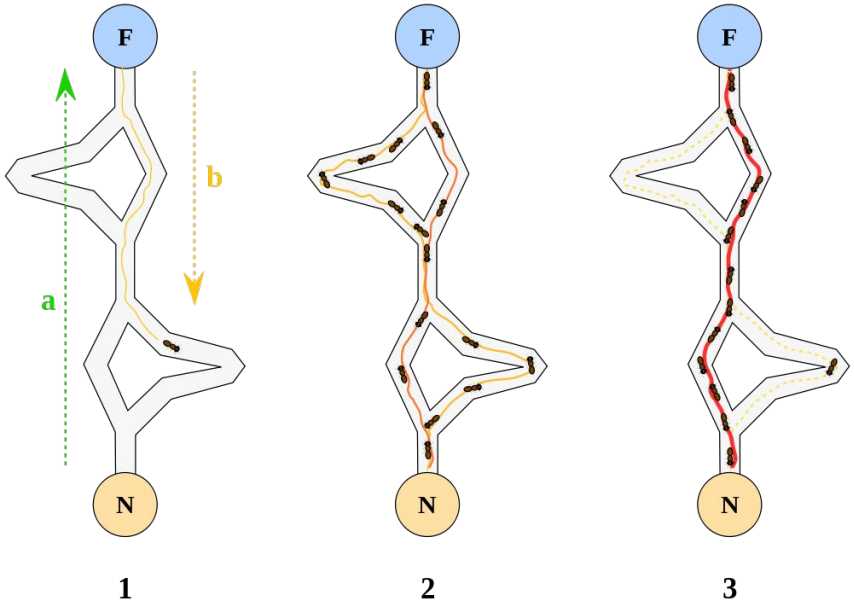
Inspirado na teoria da evolução de Darwin, trata cada solução potencial como um indivíduo de uma população genética, realizando cruzamento dos indivíduos mais aptos (melhores soluções) e realizando pequenas e raras mutações, a fim de gerar soluções de alta qualidade.

Busca global | Baseado em população | Bio-inspirado | Inteligência de Enxames

Nuvem (ou enxame) de partículas

Resolve um problema mantendo uma população de soluções candidatas (partículas) e movendo-as em torno do espaço de busca de acordo com fórmulas matemáticas simples a respeito da posição e velocidade da partícula. O movimento de cada partícula é influenciado pela sua melhor posição no local, mas também é orientado em direção às melhores posições globais, que são as posições melhores encontradas por todas as outras partículas. Com isso, é esperado mover o enxame em direção as melhores soluções.

Busca global | Baseado em população | Bio-inspirado | Inteligência de Enxames



Colônia de Formigas

Meta-heurística inspirada na observação do comportamento das formigas ao saírem de sua colônia para encontrar comida, utilizando comunicação através de rastros de feromônio. A idéia do algoritmo é, então, imitar esse comportamento através de "formigas virtuais" que caminham por um grafo que por sua vez representa o problema a ser resolvido.

Devido à sua natureza dinâmica, é capaz de adaptar-se às mudanças em tempo real.

Indicada para solução de problemas computacionais que envolvem procura de caminhos em grafos.

Thats all, folks!

Alguma pergunta ?

Faça o download dessa apresentação em

https://github.com/iamcarolalbuquerque/slides