METAHEURÍSTICAS DE BUSCA LOCAL

DCE770 - Heurísticas e Metaheurísticas

Atualizado em: 29 de novembro de 2022

Iago Carvalho

Departamento de Ciência da Computação

GREEDY RANDOMIZED ADAPTIVE SEARCH PROCEDURE

O algoritmo GRASP foi proposto por Fao e Resende (1995)

- Feo, T. A. e Resende, M. G. C. Greedy Randomized Adaptive Search Procedures. Journal of Global Optimization, 6:109-133, 1995 ▸ Link

O algoritmo é iterativo, e cada iteração é composta por duas fases

1. Construção
   - Constroi uma solução de forma parcialmente gulosa, semi-aleatória
2. Refinamento
   - Utiliza buscas locais para melhorar a solução inicial obtida

GRASP - FASE DE CONSTRUÇÃO

A fase de construção é parcialmente gulosa e parcialmente aleatória

A parte gulosa é necessária para

- Gerar soluções de boa qualidade
- Acelerar a convergência a ótimos locais (e possivelmente globais)

Necessário inserir aleatoriedade devido a natureza iterativa do algoritmo

- A cada iteração, deve-se gerar uma solução diferente
- Desta forma, é possível explorar, de forma efetiva, o espaço de soluções

GRASP - FASE DE REFINAMENTO

Aplica um algoritmo de busca local para refinar a solução obtida anteriormente

Inicialmente, realiza um *hill climbing* utilizando um único esquema de vizinhança

Entretanto, outras estratégias mais inteligentes podem ser utilizadas

- VNS
- ILS
- Guided local search
- *ldots*

Veremos algumas destas estratégias mais a frente

GRASP - PSEUDOCÓGIDO

procedimento $GRASP(f(.), g(.), N(.), GRASPmax, s)$
1 $f^\star \leftarrow \infty$;
2 para $(Iter = 1, 2, \ldots, GRASPmax)$ faça
3 $Construcao(g(.), \alpha, s)$;
4 $BuscaLocal(f(.), N(.), s)$;
5 se $(f(s) < f^\star)$ então
6 $s^\star \leftarrow s$;
7 $f^\star \leftarrow f(s)$;
8 fim-se;
9 fim-para;
10 $s \leftarrow s^\star$;
11 Retorne s;
fim $GRASP$

GRASP - PARÂMETROS

O GRASP conta com dois parâmetros

1. *GRASPmax*: Define o número máximo de iterações a ser realizada pelo algoritmo
2. α: Fator de aleatoriedade da heurística construtiva

VARIABLE NEIGHBORHOOD DESCENT

O algoritmo VND foi proposto por Mladenovic e Hansen (1997)

- Mladenović N, Hansen P. Variable neighborhood search. Computers operations research. 1997 Nov 1;24(11):1097-100. ▸ Link
- Uma melhor e mais completa referência pode ser encontrada em ▸ Link

Explora diversas estruturas de vizinhança de forma iterativa

- Normalmente, explora vizinhanças gradativamente mais complexas
- Sempre que há uma melhora, retorna-se a vizinhança de menor complexidade

VND - PRINCÍPIOS BÁSICOS

Diferentes vizinhanças induzem a diferentes ótimos locais

- Explorar diversas vizinhanças pode levar a ótimos locais de melhor qualidae

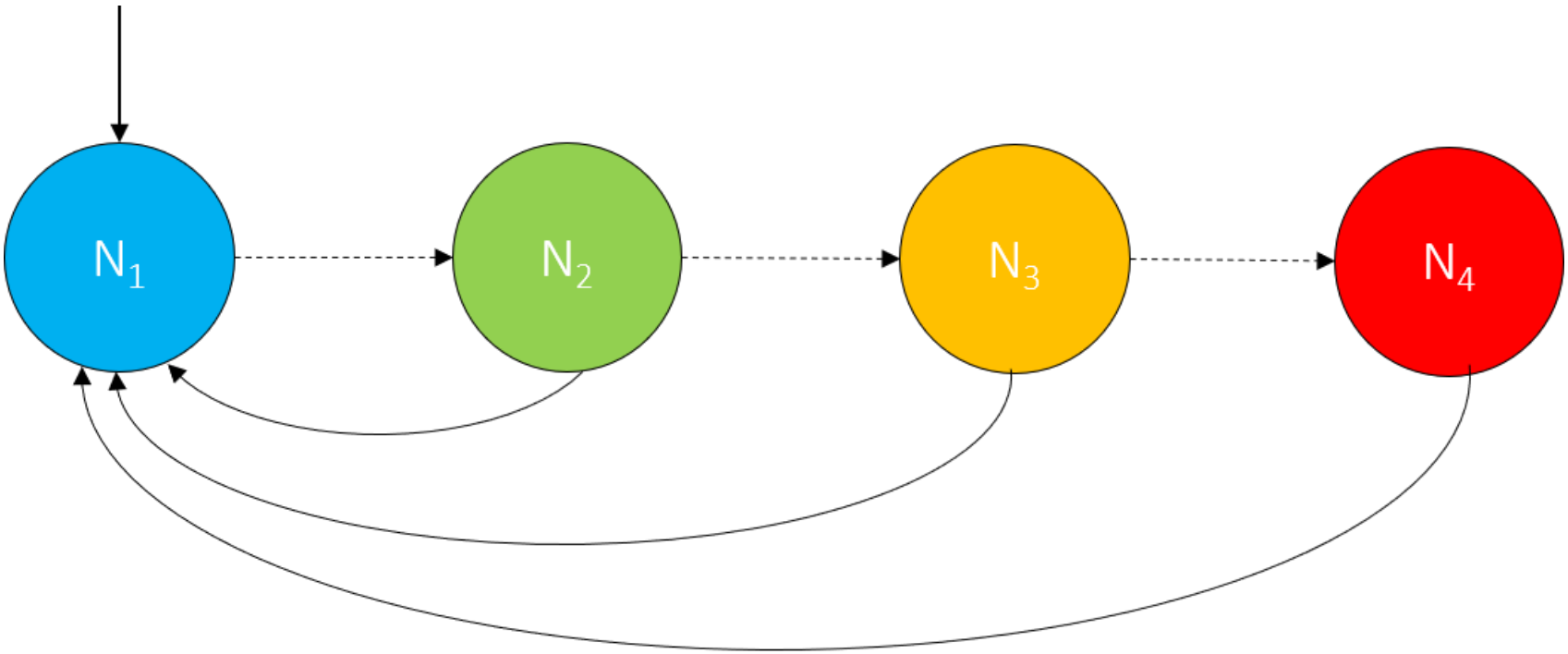
Preocupação com o tempo de execução

- Vizinhanças menos complexas são exploradas primeiro
- Vizinhanças complexas são pouco exploradas
  - Utilizadas como *último recurso* para sair de um ótimo local

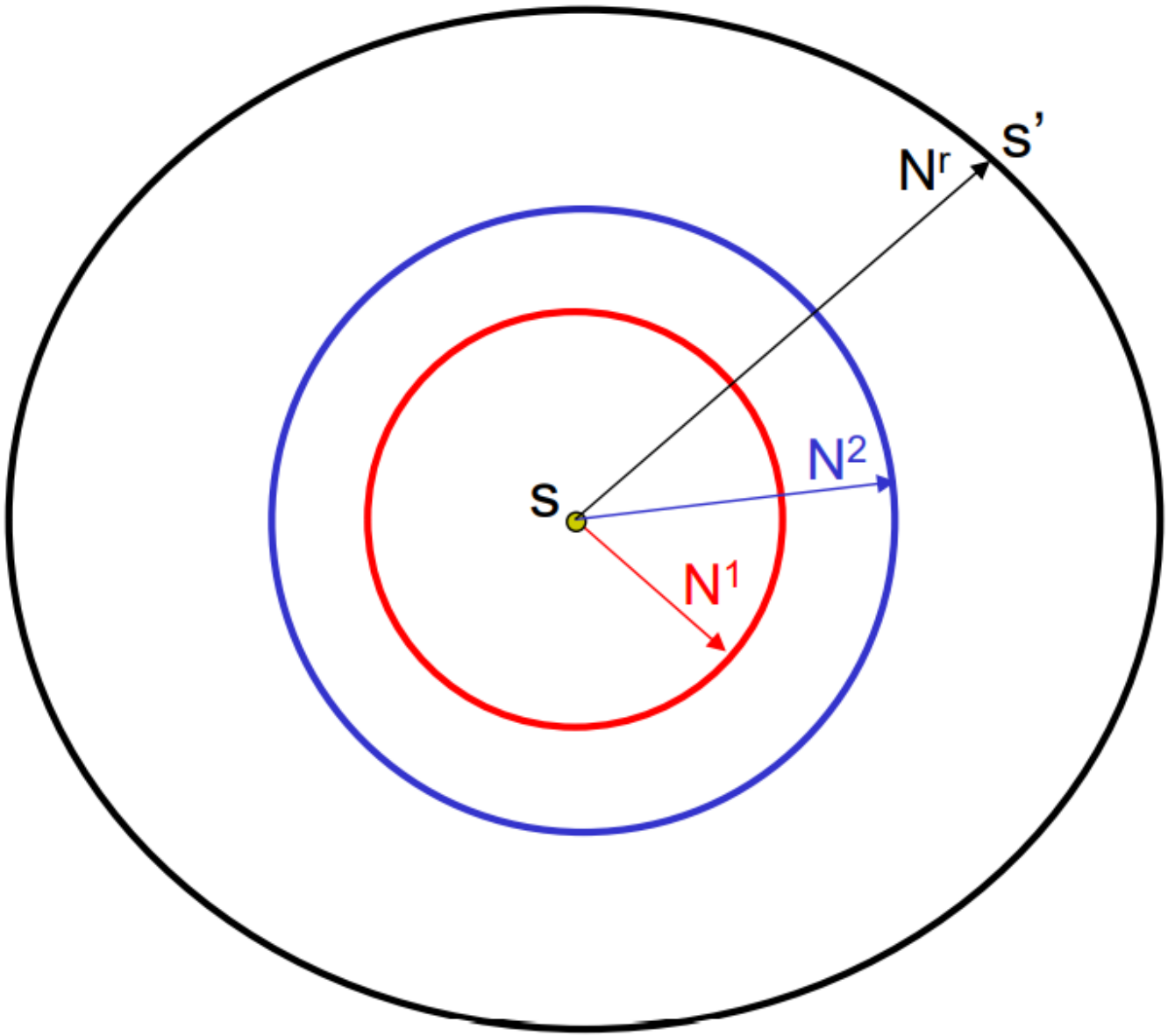
VND - PSEUDO-CÓDIGO

1 Seja s_0 uma solução inicial e r o número de estruturas de vizinhança;
2 $s \leftarrow s_0$; {Solução corrente}
3 $k \leftarrow 1$; {Tipo de estrutura de vizinhança}
4 enquanto ($k \leq r$) faça
5 $s' \leftarrow$ MelhorVizinho(s, k);
6 AltereVizinhança(s, s', k)
7 fim-enquanto;
8 Retorne s;
fim VND;

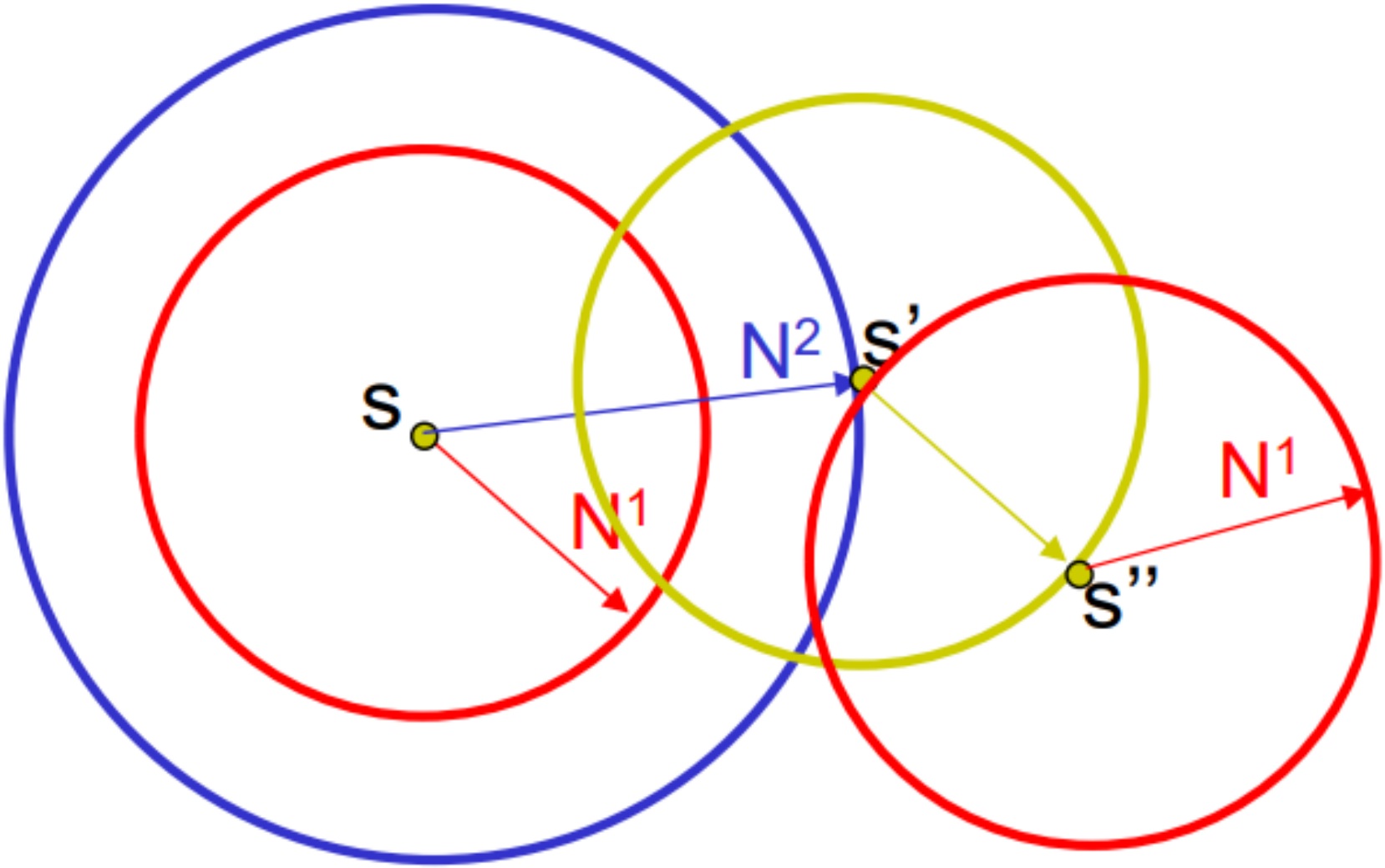
VND - TROCA DE VIZINHANÇAS



VND - VIZINHANCAS MAIS COMPLEXAS



VND - TROCA DE VIZINHANÇAS



VND - PARÂMETROS

O VND possui um único parâmetro

Conjunto r de esquemas de vizinhança

VND - PSEUDO-CÓDIGO MELHORADO

```
1    Seja s0 uma solução inicial e r o número de estruturas de vizinhança;
2    s ← s0;{Solução atual}
3    repita
4        k ← 1;              {Vizinhança corrente}
5        PARE ← false;
6        s' ← s;             {Cópia da solução atual, melhor solução até então}
7        repita
8              s'' ← MelhorVizinho(s, k);
9              AltereVizinhança(s, s'', k);
10       até k = r
11       se ( f(s) ≥ f(s') )
12         então PARE ← true;
13       fim-se;
14   até PARE = true;
15   Retorne s';
fim VND;
```

VND - ALTEREVIZINANÇA

Esta função (linha 9 no pseudo-código do slide anterior) pode ser implementada de diversas formas

1. *Sequential neighborhood change*
   - Esquema descrito anteriormente
   - Se houver melhora em uma vizinhança, retorna-se a primeira delas
   - Caso contrário, utiliza a vizinhança seguinte
2. *Pipe Neighborhood change*
   - Se houver melhora em uma vizinhança, não realiza a troca
   - Caso contrário, utiliza a vizinhança seguinte
3. *Cyclic neighborhood change*
   - Utiliza a vizinhança seguinte independente do resultado de melhora ou não
4. *Random neighborhood change*
   - Variação das três anteriores
   - Entretanto, não há uma ordem definida para troca
   - Trocas realizadas de forma aleatória

VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH

O algoritmo VNS foi proposto junto do VND

- Mesmas referências

A principal diferença do VND para o VND é o *shake*

- Mudança aleatória da solução corrente
- Similar a um operador de mutação em algoritmos evolutivos

VNS - PSEUDO-CÓDIGO

```
1  Seja s_0 uma solução inicial, r o número de estruturas de
   vizinhança;
2  s ← s_0;        {Solução atual}
3  enquanto (Critério de parada não satisfeito) faça
4          k ← 1;  {Vizinhança corrente}
5          enquanto (k ≤ r) faça
6                  s' ← Shake(s, k);
7                  s'' ← BuscaLocal(s');
8                  Altere_vizinhança(s, s'', k)
9          fim-enquanto;
10 fim-enquanto;
11 Retorne s;
fim VNS;
```

VNS - VARIAÇÕES

Reduced VNS (RVNS)

- Não existe busca local (linha 7 do slide anterior)
- Escolhe um vizinho de forma aleatória na vizinhança corrente
  - Caso exista melhora, move-se para este vizinho e continua o processo; Caso contrário, troca-se de vizinhança
- Critério de parada idêntico ao do VNS

Skewed VNS (SVNS)

- Aceita soluções de pior custo durante o processo de busca local
- O objetivo é explorar o espaço de buscas de forma mais ampla

Smart VNS

- Aumenta o tamanho do *shake* iterativamente
- Inicialmente, favorece a intensificação
- Após, favorece a exploração do espaço de buscas
- Caso haja melhora, o tamanho do *shake* é novamente reduzido

ITERATED LOCAL SEARCH

O algoritmo ILS foi proposto na tese de doutorado de Thomas Stützle

- Thomas Stützle. Local Search Algorithms for Combinatorial Problems Analysis, Improvements, and New Applications. PhD thesis, Darmstadt University of Technology, Department of Computer Science, Darmstadt, Germany, 1998.
- Uma boa e mais sucinta referência pode ser encontrada em

▸ Link

Baseado em pertubações (*shake*) e buscas locais

- Uma única estrutura de vizinhança
- Pertubações progressivamente mais "fortes"

ILS - PSEUDO-CÓDIGO

```
s0 ← SolucaoInicial();
s ← BuscaLocal(s0);
iter ← 0; MelhorIter ← Iter; nivel ← 1;
enquanto ( iter - melhorIter < ILSmax ) faça
    iter ← iter + 1;
    s' ← perturbacao(s, nivel);
    s'' ← BuscaLocal(s');
    se ( f(s'') < f(s) ) então
        s ← s'';
        melhorIter ← iter;
        nivel ← 1;
    senão
        nivel ← nivel + 1;
    fim-se
fim-enquanto
```

ILS - PSEUDO-CÓDIGO DA PERTUBAÇÃO

```
procedimento perturbação(s, nível)
  s' ← s;
  nmodificacoes ← nivel + 1;
  cont ← 1;
  enquanto ( cont ≤ nmodificacoes ) faça
    Aplique movimento aleatório em s';
    cont ← cont + 1;
  fim-enquanto
retorne s'
```

METAHEURÍSTICAS HÍBRIDAS

É possível combinar as metaheurísticas acima descritas

No geral, altera-se a fase de busca local das heurísticas pelo algoritmo VND

Assim, temos algoritmos como o

- ILS-VND
- GRAPS-VND
- VNS-VND

Diversas outras alterações são possíveis!