

Busca Adaptativa em Grandes Vizinhanças Aplicada à Determinação de Leiautes de Circuitos Eletrônicos

Vinicius Gandra Martins Santos

Universidade Federal de Ouro Preto

gandra.vinicius@gmail.com

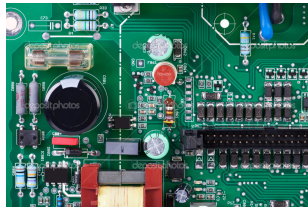
31 de Julho de 2017

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Desenvolvimento
- 4 Experimentos
- 5 Conclusão

Circuitos Integrados

- Interconexão de componentes (diodos, transistores, capacitores, etc);
- Componentes ligados por fios condutores;
- Componentes dispostos sobre um substrato fino de material semiconductor;
- Diferentes disposições dos componentes geram diferentes leiautes.



Circuitos Integrados de Larga Escala

- Circuitos compostos por milhares de componentes;
- Disposição dos componentes influenciam no tamanho do circuito;
- Circuitos menores, com leiaute mais compactos, são mais rápidos e baratos.

Representação

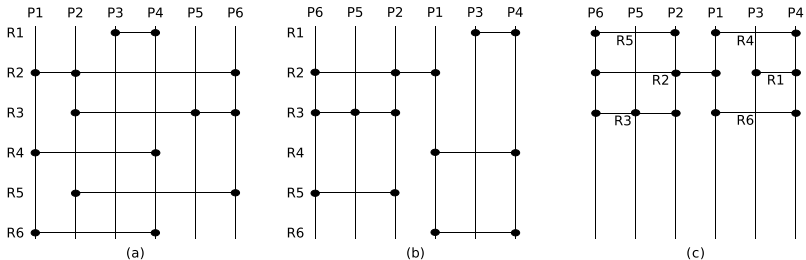


Figura: Matriz de portas programáveis (a) original, permutada (b), e compactada (c).

Determinação de Leiautes de Matrizes de Portas

O Problema de Determinação de Leiaute de Matrizes de Portas (GMLP, do inglês *Gate Matrix Layout Problem*) consiste em determinar a permutação ótima de portas de modo a minimizar a quantidade de trilhas necessárias para implementar o circuito integrado correspondente e consequentemente minimizar a área e custo de produção do mesmo.

Motivação e Objetivos

Motivação

- O problema possui aplicações práticas na engenharia e indústria;
- Este problema tem equivalência com outros problemas na literatura;
- O GMLP é um problema NP-Difícil.

Objetivos

- Realizar pesquisa para geração de embasamento teórico e revisão bibliográfica sobre o GMLP e o ALNS;
- Implementar o ALNS e avaliar os resultados obtidos com os melhores resultados da literatura.

Instância

Matriz $m \times n$ $M = m_{ij} \rightarrow \{1, 0\}$

$$m_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se somente se, a rede } i \text{ incluir a porta } j, \\ 0 & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (1)$$

	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>P5</i>
<i>R1</i>	0	0	0	1	1
<i>R2</i>	1	0	0	0	1
<i>R3</i>	0	0	1	0	1
<i>R4</i>	0	0	1	1	0
<i>R5</i>	1	0	0	0	0
<i>R6</i>	0	1	0	0	0

Propriedade dos 1s Consecutivos

	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>P5</i>
<i>R1</i>	0	0	0	1	1
<i>R2</i>	1	0	0	0	1
<i>R3</i>	0	0	1	0	1
<i>R4</i>	0	0	1	1	0
<i>R5</i>	1	0	0	0	0
<i>R6</i>	0	1	0	0	0

(a)

	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>P5</i>
<i>R1</i>	0	0	0	1	1
<i>R2</i>	1	1	1	1	1
<i>R3</i>	0	0	1	1	1
<i>R4</i>	0	0	1	1	0
<i>R5</i>	1	0	0	0	0
<i>R6</i>	0	1	0	0	0

(b)

Função de Avaliação

$$Z_{GMLP}(M^\pi) = \max_{j \in \{1, \dots, n\}} \sum_{i=1}^m m_{ij}^\pi \quad (2)$$

	P6	P1	P2	P5	P4	P3
R1	0	0	0	0	1	1
R2	1	1	1	0	0	0
R3	1	1	1	1	0	0
R4	0	1	1	1	1	0
R5	1	1	1	0	0	0
R6	0	1	1	1	1	0

M^{π_1}

	P6	P1	P2	P5	P3	P4
R1	0	0	0	0	1	1
R2	1	1	1	0	0	0
R3	1	1	1	1	0	0
R4	0	1	1	1	1	1
R5	1	1	1	0	0	0
R6	0	1	1	1	1	1

M^{π_2}

Função de Avaliação

Gonçalves et. al (2016)

$$Z_{MGMLP}(M^{\pi}) = Z_{GMLP}(M) + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n m_{ij}^{\pi}}{Z_{GMLP}(M) \times n} \quad (3)$$

$$Z_{MGMLP}(M^{\pi_1}) = 5 + \frac{3 + 5 + 5 + 3 + 3 + 1}{5 \times 6} = 5,66$$

$$Z_{MGMLP}(M^{\pi_2}) = 5 + \frac{3 + 5 + 5 + 3 + 3 + 3}{5 \times 6} = 5,73$$

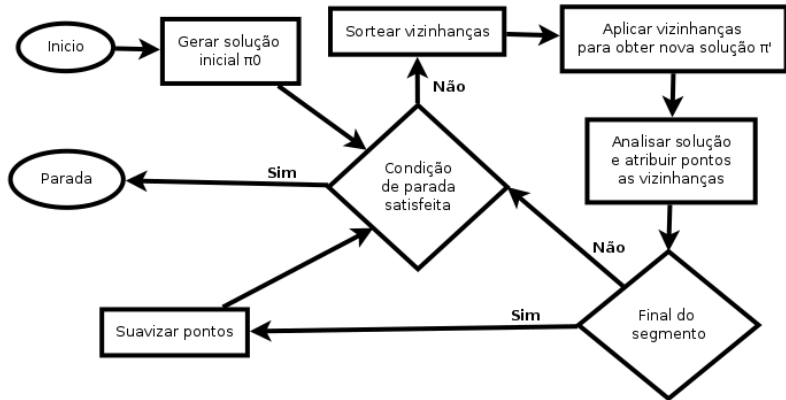
Função Objetivo

$$\min_{\pi \in \Pi} Z_{MGMLP}(M) \quad (4)$$

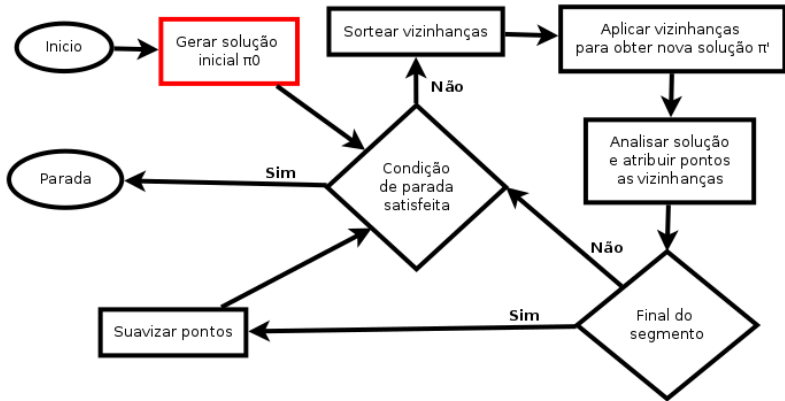
Busca Adaptativa em Grandes Vizinhanças

Ropke e Pisinger (2006) propuseram a metaheurística Busca Adaptativa em Grandes Vizinhanças (Adaptive Large Neighborhood Search, ALNS). O ALNS utiliza buscas locais e perturbações para explorar uma porção ampla das possíveis soluções para problemas combinatórios.

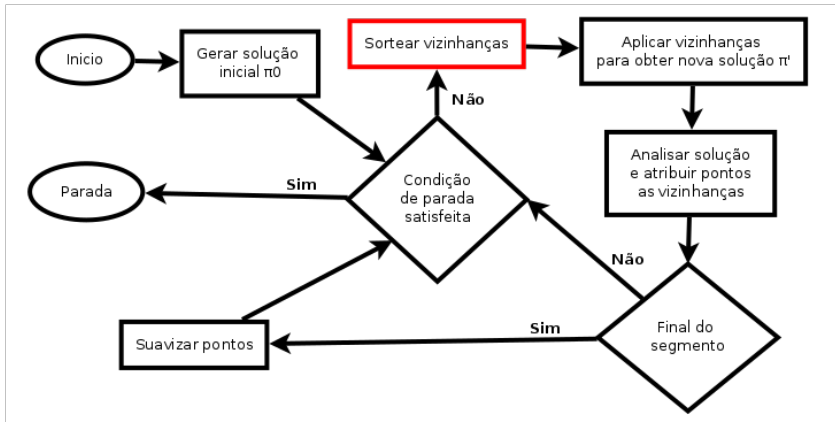
ANLS



ANLS



ANLS



Vizinhanças

Vizinhanças

Conjunto de soluções similares obtidas através de simples movimentos.

Vizinhanças de Remoção

- Recebe solução representada por uma sequência de portas π ;
- Remove q portas da solução.

Vizinhanças de Inserção

- Recebe solução parcial e um conjunto γ de portas para inserção;
- Cada porta de γ é selecionada aleatoriamente e inserida na solução.

Vizinhanças de Remoção

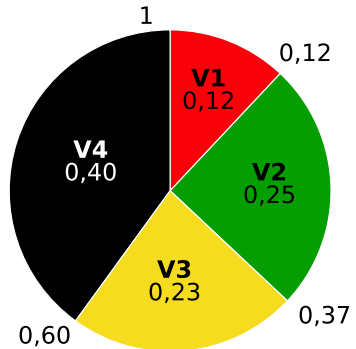
- Remoção de Colunas Críticas;
- Remoção de Uns Consecutivos em Colunas Críticas;
- Remoção de Uns Consecutivos em Linhas;
- Remoção Aleatória;
- Remoção de Portas Relacionadas.

Vizinhanças de Inserção

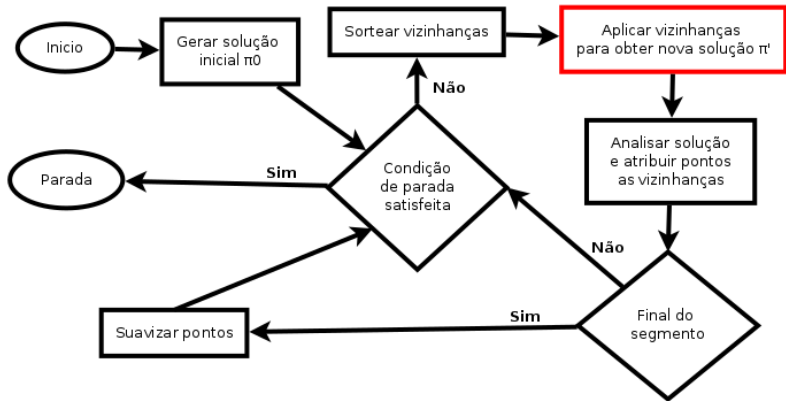
- Inserção Aleatória;
- Inserção Limitada por Coluna;
- Inserção na Melhor Posição;
- Inserção por Arrependimento.

Roleta

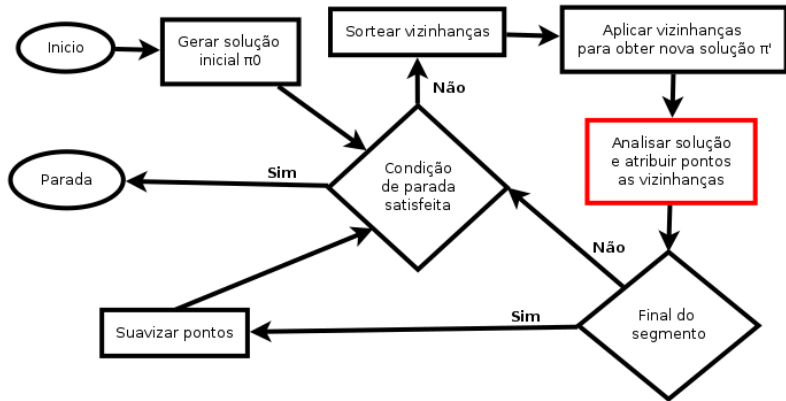
- Roleta é representada no intervalo $R = [0...1] \in \mathbb{R}$;
- Cada vizinhança i recebe uma fatia proporcional à sua probabilidade de ser selecionada;
- $v1 = 60$, $v2 = 125$,
 $v3 = 115$, $v4 = 200$.



ANLS



ANLS



Pontuação

- σ_1 , quando as heurísticas (remoção e inserção) resultaram na melhor solução até o momento;
- σ_2 , quando as heurísticas resultaram em uma solução cujo custo seja menor que o da solução corrente; e
- σ_3 , quando as heurísticas resultaram em uma solução que é aceita por um critério de aceitação, porém com o custo maior que o da solução corrente.

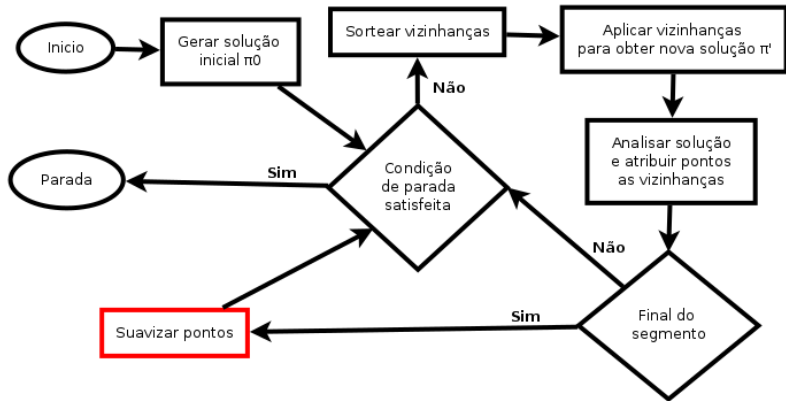
Critério de aceitação

Uma solução π' gerada a partir de outra solução π é aceita com probabilidade calculada de acordo com a Equação:

$$e^{-(f(\pi')-f(\pi))/T} \quad (5)$$

- T – Temperatura;
- $T_{start} = 0,41f(\pi_0)/\ln 2$ – Temperatura inicial;
- $T = T \times c$ – Expressão de resfriamento;
- $c = 0,995$ – Taxa de resfriamento (Pereira et al., 2015).

ANLS



Suavização

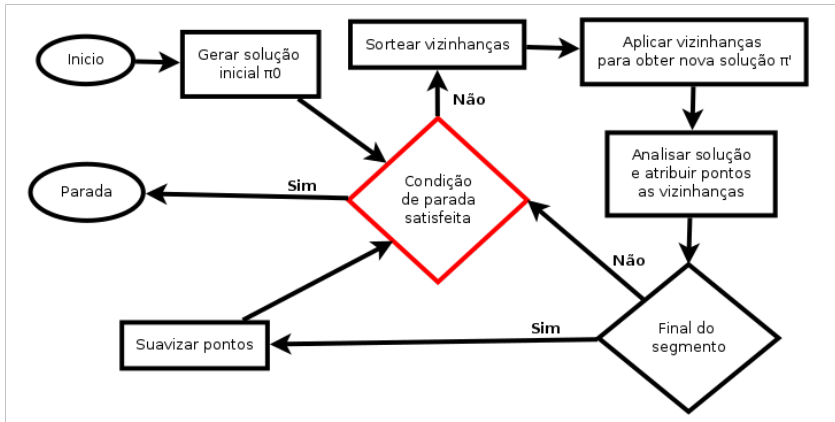
- $r_{i,j}$ são os pontos observados da heurística i no segmento j ;
- a_i é o número de vezes que a heurística i foi chamada durante o segmento j ;
- $\rho \in (0, 1)$ é o fator de reação.

$$r_{i,j+1} = \rho \frac{\bar{r}_{i,j}}{a_i} + (1 - \rho)r_{i,j} \quad (6)$$

$$r_j = [29.48, 3.28, 1.50, 2.69]$$

$$r_{j+1} = [2.56, 1.28, 0.62, 1.17]$$

ANLS



Condição de Parada

- 1 Temperatura T igual ou menor a 0,01;
- 2 Solução igual a um limite inferior;
- 3 Limite de 100 iterações ininterruptas sem que haja melhora na solução.

Ambiente Computacional

- Processador *Intel Core i7* 3.6 GHz;
- 16 GB RAM;
- Ubuntu 14.04 LTS;
- Código escrito em C++, compilado com g++ 4.8.4 e opções -O3 e -march=native.

Parâmetros Utilizados

Parâmetros	Valor Escolhido	Intervalo
σ_1	15	[5, 10, ..., 45, 50]
σ_2	25	[5, 10, ..., 45, 50]
σ_3	5	[5, 10, ..., 45, 50]
Percentual de piora ψ	0,41	[0,05 .. 0,50]
Fator de Reação ρ	0,66	[0,00 .. 1,00]
Número de Iterações	800	[300, 400, ..., 900, 1000]
Tamanho de cada Segmento	60	[30, 40, ..., 90, 100]
Número de iterações sem melhora	100	[40, 60, 80, 100]

Conjuntos de Instâncias

- VLSI – 25 instâncias reais;
- SCOOP Consortium – 24 instâncias MOSP reais de duas empresas moveleiras europeias;
- Faggioli & Bentivoglio (F&B) – 300 instâncias artificiais;
- First Constraint Modeling Challenge (C) – 46 instâncias artificiais;
- Instâncias MOSP (CS) – 200 instâncias MOSP de maiores dimensões geradas aleatoriamente por Chu e Stuckey (2009);
- Larger & Harder (L&H) – 150 instâncias com dimensões de 150×150 , 175×175 e 200×200 geradas por Carvalho e Soma (2015).

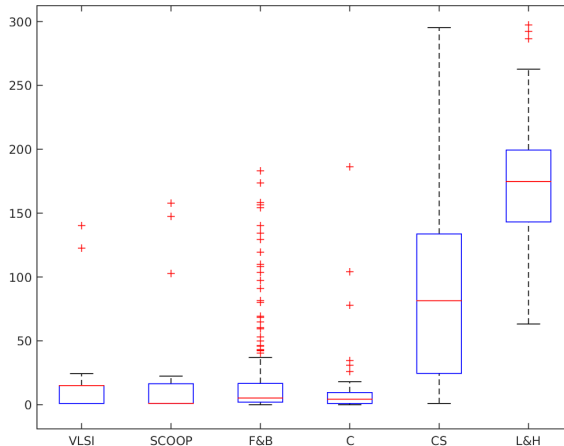
10 testes foram executados para cada conjunto de instâncias.

Resultados Médios

Conjunto	OPT	S^*	S_0	T	σ	gap	P
VLSI	7,12	7,12	9,84	4,12	0,00	0,00	100,00
SCOOP	7,75	7,75	10,16	0,41	0,05	0,00	100,00
F&B	9,30	9,30	11,86	0,67	0,01	0,00	100,00
Challenge	24,35	24,35	26,90	29,00	0,04	0,00	100,00
MOSP	41,15	41,29	48,11	36,20	0,20	0,21	87,50
L&H	96,77	97,56	117,02	493,18	0,62	0,98	33,33

Tabela: $gap = 100 \times (S^* - OPT)/OPT$, P – porcentagem de soluções ótimas

Análise de Convergência



Conclusão

- Este trabalho propôs pela primeira vez a utilização do método ALNS para solução do GMLP. Os resultados foram satisfatórios e demonstraram a eficiência e robustez do método proposto;
- Os experimentos computacionais envolvem 745 instâncias de 6 diferentes conjuntos da literatura, em que o método proposto encontrou aproximadamente 84% (620) das soluções ótimas;
- Os trabalhos futuros incluem a análise de novas heurísticas de inserção e remoção na ALNS, de maneira a aprimorar os resultados para o último conjunto de instâncias.

Fim

	Mono 1		Mono 2	
<i>Conjunto</i>	<i>gap</i>	<i>T</i>	<i>gap</i>	<i>T</i>
VLSI	9,16	40,62	0,00	4,12
SCOOP	3,70	4,24	0,00	0,41
F&B	6,97	4,02	0,00	0,67
Challenge	5,35	391,62	0,00	29,00
MOSP	11,89	513,86	0,21	36,20
L&H	—	—	0,98	493,18