HEURÍSTICA DE BACKTRACKING PARA O PROBLEMA DA ROTULAÇÃO CARTOGRÁFICA DE PONTOS.

Celso Oliveira, Sebastián Urrutia, Thiago F. Noronha
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha - Belo Horizonte - MG CEP 31270-901
{ celso-olv,surrutia,tfn} @dcc-ufmg.br

RESUMO

O problema de rotulação cartográfica de pontos - PRCP consiste em posicionar rótulos em regiões de um mapa cartográfico proporcionando boa visualização, através da redução do número de sobreposições entre rótulos. Este trabalho estuda diferentes heurísticas construtivas para o problema e propõe uma heurística de busca local com backtracking. Os experimentos computacionais mostraram que a heurística proposta é mais rápida e encontra resultados equivalentes aos melhores trabalhos na literatura.

Palavras-chave: Rotulação cartográfica, Heurísticas, backtraking.

ABSTRACT

The point feature label placement problem (PFLP) consists in placing point feature entity labels in cartographic maps maximizing the map's legibility by minimizing the number of label overlaps. This work approaches the PFCP as a combinatorial optimization problem in a conflict graph. A heuristic based on a backtracking local search procedure is proposed. Computational experiments showed that the proposed heuristic outperforms the previous works in the literature for the classic test instances available in the literature.

Keywords: Point-feature label placement, Backtracking, Heuristics.

1. Introdução

O problema de rotulação cartográfica de pontos – PRCP consiste em posicionar rótulos em regiões de um mapa cartográfico, tais como estados, cidades, edificações, etc. Para proporcionar clareza na identificação dos pontos cartográficos é necessário evitar sobreposições dos rótulos e respeitar as padronizações cartográficas Yamamoto(2005) Christensen et al (1995).

A regiões dos mapas são denominadas pontos cartográficos. As posições no mapa onde os rótulos dos pontos cartográficos podem ser posicionados são chamadas de posições candidatas e são fornecidas a priori. Dependendo da estrutura do mapa, podem ocorrer sobreposições entre duas ou mais posições candidatas.

A Figura 1 ilustra um exemplo com seis pontos cartográficos, cada um com quatro posições candidatas. O respectivo grafo de conflitos *G=(V, E, Q)* é apresentado na Figura 2, onde V é o conjunto de posições candidatas, E é o conjunto de arestas entre posições candidatas em conflito e Q é uma partição dos vértices de V de tal forma que todas as posições candidatas referentes ao mesmo ponto cartográfico estão no mesmo subconjunto da partição. O PRCP pode ser descrito como selecionar uma única posição candidata em cada subconjunto de vértices em Q de forma a maximizar o número total de vértices que não estão envolvidos em algum conflito.

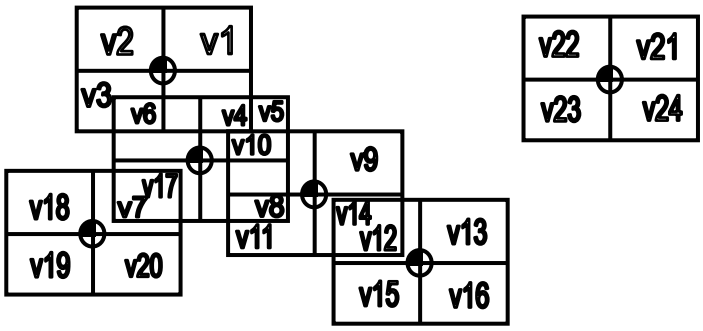

Figura 1 – Exemplo de um problema de rotulação cartográfica.

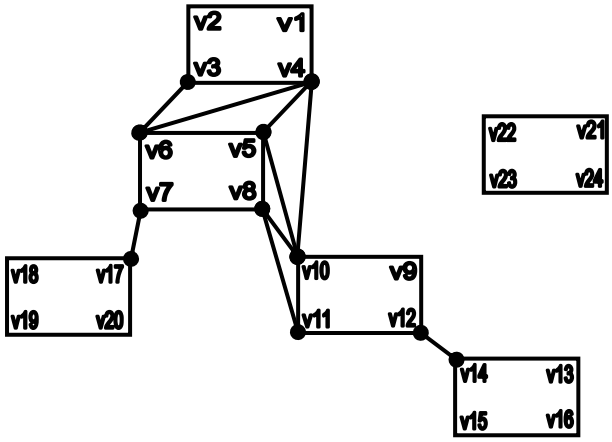

Figura 2 – Grafo de conflitos correspondente ao problema da Figura 1.

2. Revisão bibliográfica

O PRCP é NP-difícil Scheiber (1991). Zoraster (1991) apresentou uma relaxação lagrangeana baseada em uma formulação por programação linear inteira 0-1. Christensen e outros (1993,1995) propuseram algoritmos de busca exaustiva, heurísticas gulosas e heurísticas de simulated anneling. Algoritmos genéticos foram propostos em Verner e outros (1997) e uma heurística de busca tabu foi proposta em Yamamoto e outros (2002).

Uma abordagem de solução tratando o problema como um problema de minimização do número de conflitos foi apresentada por Ribeiro e Lorena (2004). Uma nova formulação matemática foi proposta em Ribeiro e Lorena (2005). Cravo e outros (2006) apresentaram um algoritmo guloso e uma heurística GRASP alcançando excelentes resultados para as instâncias utilizadas.

Alvim e Taillard (2009) apresentaram uma heurística que a partir de uma solução inicial divide o problema em sub-problemas e efetua a otimização através de uma heurística baseada em Busca Tabu. Ribeiro e outros (2009) apresentaram uma solução por programação linear inteira baseada numa extensão da formulação de *node packing* proposta em Murray e Church (1996).

3. Estratégia da solução

A estratégia de solução proposta neste artigo é composta de três etapas. A primeira consiste na aplicação de um algoritmo de pré-processamento. Na segunda etapa, uma solução inicial é produzida por uma heurística construtiva. Por fim, um algoritmo de busca local com backtracking é executado para refinar a solução inicial.

3.1. Pré-processamento

O objetivo do pré-processamento é reduzir o tamanho do grafo de conflitos. O algoritmo utilizado foi proposto por Wagner (2001). Ele consiste na aplicação exaustiva das três regras abaixo aos vértices do grafo de conflitos:

(a) Dado um ponto cartográfico p, se p_i é uma posição candidata $\in$ a um rótulo cartográfico e não possui arestas de conflitos, declare p_i como parte da solução e elimine todas as outras candidatas de p.

(b) Dado dois pontos p e q, se p_i é uma posição candidata de p que esteja em conflito com apenas uma posição q_k de q e o ponto q possui a posição q_j *(j?k)* que esta sobreposta somente por p_l $(l \neq i)$, então adicione p_i e q_j a solução e elimine todas as outras posições candidatas de p e q.

(c) Dado um ponto p, se p possui apenas uma posição candidata p_i restante e as posições que sobrepõem p_i formam um clique, adicione p_i a solução e elimine todas as posições que sobrepõe p_i.

3.2 Heurísticas construtivas

Quatro heurísticas construtivas foram estudadas. Na heurística de Construção Aleatória - HA, seleciona-se aleatoriamente uma posição candidata para cada ponto cartográfico Ás três heurísticas seguintes, primeiramente é criada uma lista ordenada dos pontos cartográficos e em seguida esta lista é percorrida atribuindo-se a cada ponto cartográfico a posição candidata que acarreta no menor incremento no número de conflitos.

Na heurística de **Construção Ordenada Crescente - HC**, a lista de pontos cartográficos é ordenada em ordem crescente do grau de cada ponto cartográfico, onde o grau de um ponto cartográfico p é definido como o número de pontos cartográficos que tem pelo menos uma posição candidata conflitante com uma das posições candidatas de p. Na heurística de **Construção Ordenada Decrescente - HD**, a lista de pontos cartográficos é ordenada em ordem decrescente do grau dos pontos cartográficos. Já na heurística de **Construção Ordenada por**

Média - HM, a lista de pontos cartográficos é ordenada em ordem decrescente da média do grau dos pontos cartográficos adjacentes de cada ponto.

3.3 Busca local com backtracking

A heurística proposta consiste em buscar um bom resultado para o problema caminhando por ótimos locais, efetuando a troca sistematicamente de vizinhança. Para tal a heurística seleciona diferentes posições candidatas para os pontos cartográficos e realiza uma busca local em backtracking. As novas soluções são aceitas caso o número de conflitos seja menor ou igual ao atual. Neste sentido a heurística proposta explora que, aceitando novas soluções que não modificam o número de conflitos, ótimos locais melhores que o atual, possam ser alcançados pela busca local em backtracking.

Uma solução S é um conjunto contendo uma posição candidata de cada ponto cartográfico do problema. Um vizinho da solução S é a solução S', sendo a distância entre S e S' fornecida pelo número de posições candidatas diferentes entre S e S', neste contexto soluções próximas possuem poucas posições candidatas diferentes enquanto soluções distantes possuem muitas posições candidatas diferentes.

A estratégia adotada pela heurística de backtracking foi resolver os conflitos a partir dos pontos cartográficos em conflitos, construindo progressivamente uma lista de pontos a serem processados. Para isto a heurística seleciona em uma lista de processamento o fecho transitivo direto dos pontos cartográficos em conflitos, em um dado número de etapas. Para a etapa 0 (zero) são selecionados os pontos cartográficos em conflitos, para etapa 1 (um) são adicionados os pontos adjacentes, na etapa 2 os pontos adjacentes aos pontos adjacentes e assim sucessivamente.

A busca local é executada para cada ponto cartográfico na lista de processamento e caso nenhum conflito seja resolvido uma nova lista é criada incrementando-se o número de etapas. O nível de recursividade do backtracking é iniciado 0 (zero) sendo limitado por um parâmetro global de execução. Para cada lista de processamento criada, um contador de listas é incrementado, tendo seu limite fornecido pela expressão n* log(ncp) onde ncp é o somatório do grau dos pontos em conflitos e n o número de posições candidatas por ponto.

Quando o contador de listas atinge seu limite, o nível de recursividade do backtracking é incrementado e o contador de listas zerado. Desta maneira o nível de recursividade do backtracking aumenta caso o número de conflitos não seja reduzido em um determinado número de vezes que as listas de pontos são processadas. Em contrapartida quando o número de conflitos é reduzido o número de etapas do fecho transitivo direto, o nível de recursividade do Backtracking e o contador de listas processadas são iniciados com 0 (zero).

4. Resultados computacionais.

Os testes foram realizados com o conjunto de instâncias proposto por L.A.N (Lorena 2003). Um resumo destas instâncias é apresentado na Tabela 1.

Nº de pontos cartográficos	250	500	750	1000
Nº de instâncias	25	25	25	25

Tabela 1. Resumo das instâncias de L.A.N (Lorena 2003)

Quatro heurísticas foram implementadas: HA-BL, HC-BL, HD-BL e HM-BL, onde HA-BL, HC-BL, HD-BL e HM-BL denotam as heurísticas HA, HC, HD e HM seguidas da aplicação da heurística de busca local descrita na Seção 3.3. As quatro heurísticas foram implementadas na linguagem C e compiladas com GCC V4.4.1. Os experimentos foram realizados em um PC com processador Pentium IV 3.0 Ghz com 1 Gb de memória RAM e sistema operacional Linux SlackWare. As heurísticas foram executadas 10 vezes, variando-se a

semente de números aleatórios. O tempo limite de execução foi fixado em 120 segundos.

A Figura 3 apresenta um gráfico da evolução no tempo da melhor solução encontrada na média para as quatro heurísticas propostas (em termos do número de rótulos em conflito). Pode-se observar que as três heurísticas construtivas ordenadas (HC, HD e HM) produzem soluções iniciais para a busca local muito melhores que a heurística de construção aleatória (HA), sendo que a heurística HC obteve os melhores resultados na média dentre as heurísticas construtivas estudadas. Entretanto, pode-se observar também que o algoritmo de busca local proposto converge para as mesmas soluções na média independentemente da solução inicial fornecida pela heurística construtiva. Neste caso, nós recomendamos a utilização da heurística HA-BL, já que a heurística construtiva aleatória é mais fácil de ser implementada.

A comparação da Heurística HA-BL com as melhores heurísticas na literatura de PRCP é apresentada na Tabela 2. Pode-se observar que a porcentagem de vértices livres (vértices que não estão envolvidos em conflitos) nas soluções obtidas com HA-BL é igual a dos melhores algoritmos da literatura Ribeiro e outros (2006); Mauri, (2008) para as instâncias com 250, 500 e 750 vértices e um pouco melhor para as instâncias com 1000 vértices.

5. Considerações finais

Este trabalho propôs e avaliou quatro heurísticas construtivas e uma de busca local com backtraking para o problema de rotulação cartográfica de pontos. Apesar de serem mais simples do que as melhores heurísticas propostas na literatura, os experimentos computacionais mostraram que as heurísticas propostas são mais rápidas e encontram soluções equivalentes ou melhores do que as das heurísticas publicadas na literatura. A heurística de busca local mostrou-se bastante robusta, dado que chegou as mesmas soluções independentemente da qualidade da solução inicial fornecida pelas heurísticas construtivas. Trabalhos futuros podem aplicar as heurísticas propostas neste trabalho dentro de estratégias mais elaboradas como metaheurísticas.

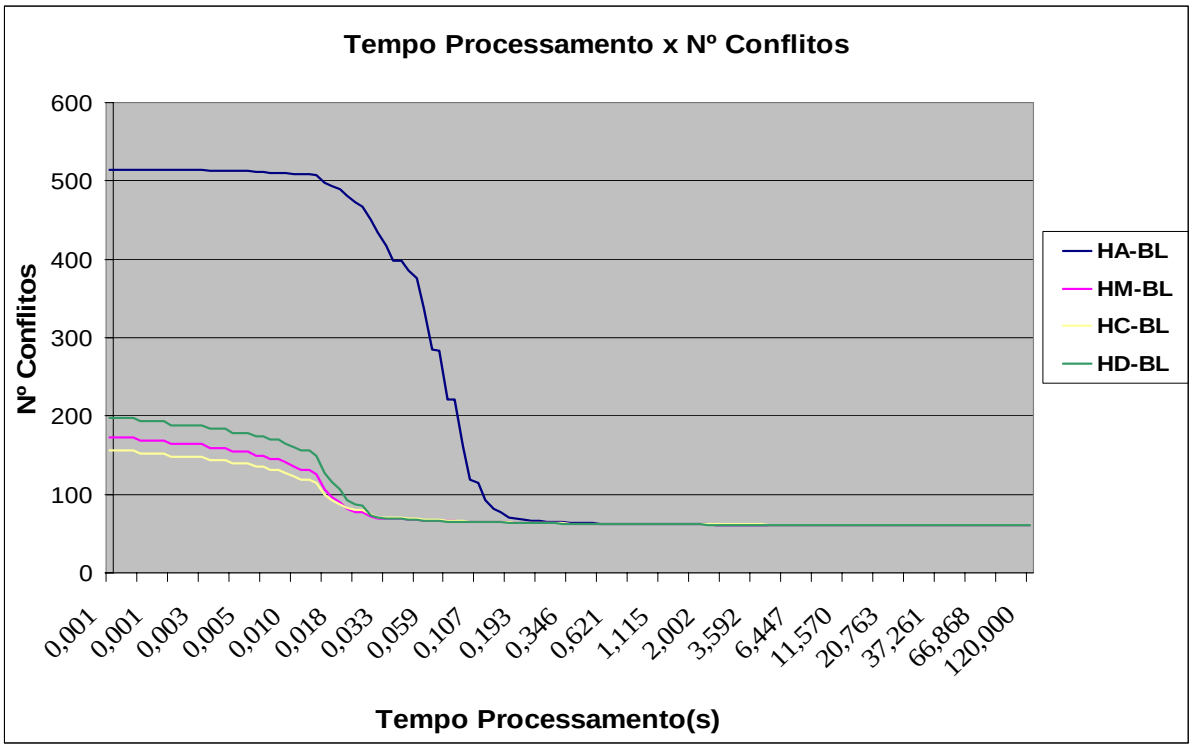

Figura 3. Gráfico da evolução no tempo da melhor solução encontrada na média para as quatro heurísticas propostas (em termos do número de rótulos em conflito).

Algoritmo	Percentual de rótulos livres			
	Problemas			
	250	500	750	1000
Heurística Backtracking para o PRCP	**100,00**	**99,68**	**97,96**	**93,87**
$PNMRLC_{C2}$(Ribeiro, Constantino, Lorena ,2009)	100,00*	99,68*	97,96	93,86
$PNMRLC_{C1}$(Ribeiro, Constantino, Lorena ,2009)	100,00*	99,68*	97,96	93,86
CPLEX com a Formulação de Mauri (2008)	100,00*	99,68*	97,91	90,19
Decomposição Lagrangiana (Mauri, 2008)	100,00*	99,68*	97,96*	93,74
Heurística ILS para o PRCP (Oliveira,2009)	100,00	99,68	97,95	93,76
Pop(asc) (Alvim e Taillard, 2009)	100,00	99,67	97,72	92,68
Pop(30) (Alvim e Taillard, 2009)	100,00	99,67	97,72	92,54
Pop(70) (Alvim e Taillard, 2009)	100,00	99,67	97,73	92,58
GRASP Melhor, RCL Tamanho = 6	100,00	99,67	97,72	92,20
LagClus (RIBEIRO; LORENA, 2005)	100,00	99,67	97,65	91,42
Algoritmo Guloso Proposto por (Cravo, Ribeiro & Lorena 2006)	100,00	99,62	96,99	90,74
Algoritmo Genético ConstrutivoMelhor (YAMAMOTO; LORENA, 2005)	100,00	99,60	97,10	90,70
Algoritmo Genético ConstrutivoMédia (YAMAMOTO; LORENA, 2005)	100,00	99,60	96,80	90,40
FALP (YAMAMOTO et al., 2005)	100,00	99,50	96,70	90,12
Busca Tabu (YAMAMOTO et al. 2002)	100,00	99,30	96,80	90,00
Algoritmo Genético com Máscara (VERNER et al., 1997)	99,98	98,79	95,99	88,96
Algoritmo Genético (VERNER et al., 1997)	98,40	92,59	82,38	65,70
Simulated Annealing (CHRISTENSEN et al., 1995)	99,90	98,30	92,30	82,09
Zoraster (1991)	99,79	96,21	79,78	53,06
Hirsh (1982)	99,58	95,70	82,04	60,24
3-opt Gradient Descent(CHRISTENSEN et al., 1995)	99,76	97,34	89,44	77,83
2-opt Gradient Descent (CHRISTENSEN et al., 1995)	99,36	95,62	85,60	73,37
Gradient Descent (CHRISTENSEN et al., 1995)	95,47	86,46	72,40	58,29
Algoritmo Guloso (CHRISTENSEN et al., 1995)	88,82	75,15	58,57	43,41

Tabela 2. Comparação com algoritmos da literatura.

6. Referencias Bibliográfica

Alvim, A.C.F., Taillard, E. D., T. POPMUSIC for the point feature label placement problem. European Journal Of Operational Research 192 (2009)396-413

Cravo, G.L.; Ribeiro, M.G. Lorena L.A.N. Heurística gulosa para o problema da rotulação cartográfica de pontos. 2006. Revista Educação Tecnológica, Ano 2, Número 1 Abr/Set 2006– Departamento de Ciência da Computação e Informática Faculdade Aracruz - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

Cravo, G.L.; Ribeiro, M.G. Lorena L.A.N.. Um Grasp eficiente para o problema da rotulação de pontos. 2007. Departamento de Ciência da Computação e Informática Faculdade Aracruz - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.

Christensen J.; Marks J.; Sheiber S. An empirical study of algorithms for point-feature label placement. ACM Transactions on Graphics, v. 14, n. 3, p. 203-232, 1995.

Freman, H . , (1991) Computer name placement. In: Maguire, D. J.; Goodchild, M. F., Rhind, D. W. eds. Geographic Information Systems: Principles and aplications. New York, Longman Scientific, v 1 , p 445-456.

Hansen P. Mladenovic M. A Tutorial on Varible Neighborhood Search G-2003-46, July ISSN 0711-2440 GERAD and Mathematical Institute, SANU, Belgrade

Hirsch, S.A. (1982). An Algorithm for Automatic name Placement around Point Data. *American Cartographer*, **9**(1), 5-17.

J. Marks, S. Shieber, The Computational Complexity of Cartographic Label Placement. Technical Report [TR-05-91], Center for Research in Computing Technology, Harvard University, 1991

L.A.N. Lorena, Instâncias para o problema de rotulação cartográfica de pontos**.** **<http://www.lac.**inpe.br/lorena/instancias.html> (último acesso 02/2010).

Lourenço, H.R., Martin, O., Stützle, T.. Iterated Local Search. In F. Glover and G. Kochenberger, editors, Handbook of Metaheuristics, pages 321–353. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, 2002

Mauri, G. R., Novas abordagens para representação e obtenção de limitantes e soluções para alguns problemas de Otimização Combinatória, *Thesis,* Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil, 2008.

Murray, A. T., e Church, R. L., (1996) Facets for Node Packing. European Journal of Operational Research 101, p 598-608.

Oliveira C., Urrutia S. Noronha T. Heurística ILS para o problema da Rotulação cartográfica de Pontos , SPOLM 2009, ISSN 2175-6295

Ribeiro G. M., Lorena, L. A. N. (2005), Heuristics for cartographic label placement problems, Computers and GeoSciences, In Press.

Ribeiro M.G.; Constantino, M.F.; Lorena L.A.N. Um estudo sobre desigualdades válidas para

o problema de maximização de rótulos livres. 2009. Universidade Federal do Espírito Santo UFES, - Universidade de Lisboa UL, - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. SBPO 2009

Ribeiro, G. M. Relaxação Lagrangeana com Formação de Clusters Aplicada a Rotulação Cartográfica de Pontos s. Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada , Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.

S. Zoraster, The solution of large 0–1 integer programming problems encountered in automated cartography, Operations Research 38 (5)(1990) 752–759.

Verner O. V., Wainwright R. L., Schoenefeld D. A. (1997), Placing text labels on maps and diagrams Using Genetic Algorithms with Masking, *INFORMS Journal on Computing*, 9, 266-275.

Yamamoto, M. Novos algoritmos para o problema de rotulação cartográfica de pontos. 2003. Tese (Doutorado em Computação em Matemática Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

Yamamoto M.; Camara G.; Lorena L.A.N. Tabu search heuristic point-feature cartographic label placement. GeoInformatica and International Journal on Advances of Computer Science for Geographic Information Systems, Kluwer Academic Publisher, Netherlands, v. 6, n. 1, p. 77-90, 2002.

Yamamoto M.; Lorena L.A.N. A constructive genetic approach to point feature cartographic label placement. In: IBARAKI, T., NONOBE, K.; YAGIURA, M. (Ed.). **Metaheuristics**: progress as real problem solvers. Kluwer Academic Publishers, 2005. p. 285-300.

Yamamoto, M., Câmara, G. e Lorena, L. A. N. (2002), Tabu search heuristic for point-feature cartographic label placement, *GeoInformatica*, 6(1), 77-90.

Wagner, F.; Wolff, A.; Kapoor, V.; Strijk, T. Three rules suffice for good label placement. Algorithmica, n. 30, p. 334-349, 2001.

Wolff, A. e Strijk, T. The map labeling bibliography. URL on June 6th, 2005. http://i11www.ilkd.unikarlsruhe.de/~awolff/map-labeling/bibliography/