

Uma heurística para resolver um problema bi-objetivo de roteiros turísticos multi-período com janelas de tempo

Angelo Aliano Filho¹

Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos
Vitória Pureza²

Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos
Reinaldo Morabito³

Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos

O presente trabalho aborda um problema de construção de itinerários (roteiros) turísticos, multi-período, com janelas de tempo e bi-objetivo. Este foi um problema abordado por [1] em uma versão mais simples, que considerava apenas um período para a programação de uma agenda de visitas e uma função-objetivo agregada que considerava a minimização de custos e prêmios de prioridades. Tal problema tem relação com o Caixeiro Viajante com Prêmios de Prioridades (CVP-PP), abordado em [2], onde a ordem da visita em cada nó tem uma importância.

Em linhas gerais, o problema é descrito da seguinte maneira. Consideramos um grafo com n nós, $G = (V, A)$ onde $V = \{1, 2, \dots, n\}$ é o conjunto dos nós e $A = \{(i, j) \in G | 1 \leq i, j \leq n\}$ conjunto das arestas. O nó $i = 1$ é definido como o início e término do roteiro turístico (aeroporto, rodoviária, porto, etc) num horizonte de planejamento de múltiplos períodos (frequentemente definido por dias). O roteiro deve iniciar no primeiro e terminar no último período neste nó. Cada aresta (i, j) tem uma distância c_{ij} e leva um tempo e_{ij} para ser percorrida. Cada nó i no período t precisa ser visitado como uma atração turística. O período mais cedo (tarde) para visitá-lo é dado por a_{it} (b_{it}), cuja duração da visita é dado por d_i . Em cada período, o número mínimo (máximo) de atrações devem ser visitadas deve ser igual a α_t (β_t). Além disso, é dado um prêmio q_i caso o nó i seja visitado, somado com um bônus de p_{ki} caso ele seja visitado na ordem k do percurso. Deve-se, também inserir no itinerário a obrigação de visitar um restaurante e hotel para descanso. Em cada período, há um conjunto R_t e H_t de possíveis restaurantes e hotéis.

As variáveis de decisão deste problema são:

x_{ij}	1, se o arco $(i, j) \in A$ é percorrido, 0 em caso contrário;
y_{ki}	1, se o nó $i \in V$ é visitado na ordem $k \in V$, 0 em caso contrário;
ϕ_{it}	1, se o nó $i \in V$ é visitado no período $t \in T$, 0 em caso contrário;
w_i	não-negativa, indica o tempo de início de visita do nó $i \in V$.

Os objetivos deste problema consistem em obter um roteiro que (i) que minimize a distância total percorrida (objetivo custo) e (ii) maximize o prêmio total recebido com as visitas (qualidade do serviço). Esses objetivos entram em conflito entre si, isto é, é impossível encontrar um roteiro que os otimize concomitantemente. Conforme minimizamos a distância, a solução tende a visitar

¹angeloalio@utfpr.edu.br

²vmpureza@gmail.com

³morabito@dep.ufscar.br

menos nós, piorando a qualidade do serviço, e vice-versa. Assim, é possível com abordagem bi-objetiva tratar estas metas separadamente, gerando um conjunto não-unitário de soluções ditas *eficientes no senso de Pareto*. Tais soluções não podem ser melhoradas num objetivo sem que o outro seja prejudicado. Estas soluções são igualmente importantes para o problema, e o decisor pode escolher aquela que balanceia os objetivos que melhor lhe satisfaz. Aplicamos a técnica da escalarização de *Tchebycheff* (ver em [3]) para gerar estas soluções.

O problema não pôde ser resolvido por um solver comercial, mesmo numa dimensão pequena. Os autores propuseram uma nova heurística de duas fases para gerar soluções de boa qualidade com esforço computacional moderado, inspirada na *relax-and-fix* e *fix-and-optimize*. A primeira fase (H1) é construtiva, decompõe o problema, e constrói uma rota para cada período, partindo de uma fixação das variáveis determinadas no período anterior. Ao final deste procedimento, temos um roteiro completo factível. A segunda fase, H2 e melhorativa, fixa todas as variáveis do problema exceto as que definem o roteiro para dois períodos seguidos e tenta melhorar esta solução. Para certifi-la, testes computacionais com instâncias aleatórias foram realizados. Resultados preliminares estão apresentados na tabela 2. O valor de λ indica o peso do objetivo qualidade do serviço.

Tabela 2: Resultados comparativos para as duas fases da heurística e para o solver para o MIP: valores objetivos, esforço computacional e gaps de otimalidade

Instance	λ	z_1 (satisfação)			z_2 (km)			CPU (sec.)			Gap (%)
		H1 (med.)	H2 (med.)	% of desvios do MIP (med.)	H1 (med.)	H2 (med.)	% of desvios do MIP (med.)	H1 (med.)	H2 (med.)	MIP (med.)	MIP (med.)
I1	0.0	95.77	96.93	0.40	20.15	19.44	-1.99	0.16	3.84	16.65	0.00
	0.2	120.83	139.74	2.43	29.31	29.93	-2.84	0.21	32.39	3600.00	7.45
	0.5	156.82	178.30	0.46	39.94	39.30	-1.09	0.22	63.42	3600.00	26.95
	0.8	175.48	200.08	0.95	52.23	57.30	-7.02	0.23	50.51	3600.00	22.56
	1.0	191.76	216.92	1.47	83.58	88.34	-0.51	0.11	12.62	658.11	0.79
I2	0.0	173.34	170.52	0.90	41.62	39.89	-3.42	0.37	38.43	3600.00	34.57
	0.2	218.01	239.03	3.44	51.76	52.05	-1.85	0.77	269.35	3600.00	21.57
	0.5	251.27	282.98	1.73	63.96	65.91	-5.84	0.83	168.46	3600.00	20.78
	0.8	276.88	308.20	1.11	82.59	88.09	-3.54	0.62	190.93	3600.00	21.75
	1.0	313.69	329.66	2.69	131.72	134.22	-0.33	0.21	8.21	3600.00	4.27
I3	0.0	210.30	209.93	0.17	42.70	39.20	-1.87	1.23	358.63	3600.00	52.15
	0.2	289.19	316.96	0.78	51.38	52.40	-1.45	2.01	498.70	3600.00	37.26
	0.5	333.43	371.56	1.46	64.25	69.26	-3.84	2.04	443.23	3600.00	37.16
	0.8	366.68	407.69	1.00	80.69	95.85	-2.86	1.80	329.98	3600.00	38.25
	1.0	418.52	435.32	2.31	151.38	154.38	-0.73	0.45	58.49	3600.00	5.41

Legend: H1 (Heuristic 1) and H2 (Heuristic 2)

Resultados computacionais mostraram pouco esforço computacional desta heurística, e boa qualidade das soluções determinadas, comparadas com as geradas pelo MIP (ver as colunas 5 e 8) em 1 hora. Outros testes e análises serão apresentadas no evento, mostrando um uso prático e imediato de tal metodologia.

Referências

- [1] A. A. da Silva, R. Morabito e V. Pureza. Optimization approaches to support the planning and analysis of travel itineraries. *Expert Systems with Applications*. 112, 321–330, 2018.
- [2] E. Balas. The prize collecting traveling salesman problem. *Networks*. 19(6), 621-636, (1989).
- [3] Y. Nikulin, K. Miettinen, & M. M. Mäkelä. (2012). A new achievement scalarizing function based on parameterization in multiobjective optimization. *OR spectrum*. 34, 69-87.