

1.02.99 - Ciência da Computação.

USO DE METAHEURÍSTICAS E FERRAMENTAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM PROBLEMAS DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

Jin Uema^{1*}, Arnaldo R. A. Vallim Filho²

1. Estudante de Ciência da Computação da Universidade Presbiteriana Mackenzie (FCI-UPM)
2. Professor da Faculdade de Computação e Informática – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Resumo

Neste projeto, realizou-se uma pesquisa sobre o uso da metaheurística *Artificial Bee Colony – ABC*, no problema de roteirização de veículos (PRV), que é clássico em otimização combinatória. Pela literatura sabe-se que as metaheurísticas têm boa performance em problemas da classe NP-difícil, que é onde se enquadra o PRV. E aqui neste caso, o resultado foi satisfatório, com o desenvolvimento de um modelo que buscou a otimização de rotas veiculares urbanas, especialmente voltadas para as distribuições de carga em múltiplos pontos de entrega. Para a sua implementação, foi utilizada a ferramenta computacional R, bastante utilizada em aprendizagem de máquina, e que se mostrou muito eficaz para esta aplicação. Foram feitos experimentos com 10 instâncias, e os resultados mostraram um percentual médio de redução na distância das rotas geradas em comparação com sua distância inicial, variando de 8% a 25%, demonstrando que o modelo tem potencial para apoio a aplicações logísticas do mundo real.

Palavras-chave: Aprendizagem de Máquina; Otimização Combinatória; Pesquisa Operacional

Trabalho selecionado para a JNIC: UPM – UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

Introdução

Um dos grandes problemas para as cidades de porte é o aumento constante na quantidade de veículos, gerando enorme demanda das ruas e avenidas para comportar tamanho volume, e que geralmente leva a um trânsito lento em muitas de suas vias. Nessas cidades, em todo o mundo, existem grandes empresas de distribuição urbana de produtos, para as quais é crucial a entrega do produto correto, no local correto e no prazo correto, consumindo a menor quantidade de tempo e recursos possíveis.

O problema estudado neste projeto, associado a essa questão, foi o problema da roteirização de veículos (PRV), que é de ampla aplicação prática nos mais diversos tipos de operações (Ballou, 2006; Bodin et al., 1983; Novaes, 2007), como logística urbana para coleta e entrega de carga, coleta de lixo, serviços de manutenção de equipamentos públicos, serviços de atendimento a consumidores, entre outros. E, no caso desta pesquisa foi explorada a solução do PRV por meio de uma metaheurística, que é uma técnica de inteligência artificial, especificamente, o algoritmo de enxame de abelhas (*Artificial Bee Colony - ABC*) foi empregado para resolver o PRV.

Em termos mais amplos, o projeto buscou contribuir com a logística de transportes e entregas urbanas. E de forma mais técnica, seu objetivo geral foi buscar por meio da metaheurística ABC, identificar as melhores rotas em um contexto de transporte urbano, para atender um dado conjunto de pontos de atendimento, buscando-se a minimização de uma função objetivo, que representa a distância total percorrida pelos veículos, dadas múltiplas opções de rotas e restrições a atender.

Sobre os objetivos específicos, o estudo buscou atender aos seguintes pontos:

- Implementar um algoritmo de otimização para solução do PRV, com metaheurística baseada em população de soluções, especificamente, da técnica ABC (Colorni et al., 1997; D’Amico et al., 2002; Boussaïd et al., 2013).
- Aplicar esse algoritmo com o apoio de uma ferramenta computacional largamente utilizada em aprendizado de máquina;
- Desenvolver experimentos com o algoritmo para diferentes cenários utilizando bases de dados públicas de testes disponíveis.

Metodologia

O presente estudo teve uma abordagem quantitativa para seu desenvolvimento, sendo o seu principal objetivo criar uma metodologia, utilizando uma metaheurística, podendo tornar a solução dinâmica para diferentes problemas de roteirização.

Em termos de principais etapas do estudo, tem-se:

1. Pesquisa Bibliográfica
2. Estudo Específico da Metaheurística ABC
3. Levantamento de Bases de Dados Públicas
4. Estudo de Algoritmos em R da Metaheurística ABC
5. Experimentos com as Bases de Dados
6. Análise de Resultados e Documentação

Em termos de meios a utilizar no estudo, foi feita uma revisão bibliográfica do tema. Num primeiro momento,

realizamos o mapeamento dos principais problemas de roteirização existentes e classificamos suas complexidades, depois focou-se na ABC.

Sobre a metaheurística ABC, é um algoritmo para solução de problemas de otimização baseado na metáfora do comportamento de abelhas, que buscam alimento em um dado espaço. A busca do alimento passa a ser, então, a busca de uma solução para o problema em seu espaço de soluções viáveis.

O ABC tem três etapas, cada uma com um tipo de “abelha”:

- **Abelhas Operárias:** cada abelha procura uma nova fonte de alimento (uma solução) na vizinhança da “fonte” atual. Se uma “fonte” melhor é encontrada, ela se torna a nova fonte de alimento (nova solução).
- **Abelhas Observadoras:** estas observam a “dança” das operárias e escolhem uma para seguir, após definido, o mesmo processo das abelhas operárias se repete. A diferença em relação à etapa anterior é que há uma seleção, e é possível uma fonte de alimento ser explorada por mais de uma abelha. A ideia é encontrar fontes de alimento de maior qualidade para intensificar as buscas em regiões promissoras.
- **Abelhas Exploradoras:** caso a fonte de uma operária não seja aprimorada por uma quantidade n de iterações, a abelha se torna uma exploradora, abandonando sua fonte de alimento atual e buscando aleatoriamente uma nova.

O PRV foi modelado de forma que em um único vetor tem-se os pontos a atender e os veículos que irão atender os pontos. Na figura 1 tem-se um exemplo dessa modelagem dos dados, com um vetor de 13 posições, tendo-se 10 pontos a atender (números de 1 a 10) e 3 veículos de atendimento (números de 11 a 13). O conteúdo de cada posição do vetor, após o número de um veículo (11, 12 ou 13), representa os pontos que serão atendidos por aquele veículo. Assim, pela figura 1, tem-se que o veículo 12 irá atender os pontos 10, 7, 9 e 8. O veículo 11, irá atender os pontos 5 e 6, e o veículo 13 irá atender os pontos 1, 3, 2 e 4 (tem-se um processo circular).

Posição no Vetor →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Conteúdo da Posição →	3	2	4	12	10	7	9	8	11	5	6	13	1

Figura 1. Exemplo de Modelagem do PRV baseada em vetor de 13 posições

Uma nova solução via ABC é um rearranjo desse vetor.

As bases de dados públicas usadas, foram geradas por Uchoa et al. (2014).

O modelo considerou frotas com diferentes capacidades, e a função objetivo a ser minimizada representou distância total percorrida nas rotas.

Resultados e Discussão

Foram realizados experimentos com 10 instâncias das bases de dados geradas por Uchoa et al. (2014). A quantidade de pontos de atendimento variou de 100 pontos a 818 pontos (tabela 1).

Para cada instância foram executadas 10 rodadas e foram calculadas as médias das distâncias totais percorridas pelos veículos e os seus desvios padrão, obtendo-se ainda, um nível médio de redução dessas distâncias em relação às distâncias iniciais. Esses resultados são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Resultados dos Experimentos

Instância	Nº de Pontos	Distância Inicial	Distância Final	Redução (%)	Desvio Padrão (%)
X-n101-k25	100	88.213,1	65.975,4	25,21%	9,89%
X-n148-k46	147	138.405,7	108.223,1	21,81%	7,06%
X-n195-k51	194	179.744,9	147.055,0	18,19%	5,78%
X-n242-k48	241	246.733,4	209.133,6	15,24%	4,98%
X-n289-k60	288	293.289,7	248.543,0	15,26%	4,73%
X-n336-k84	335	348.750,9	306.554,3	12,10%	3,67%
X-n420-k130	419	390.711,7	343.534,0	12,07%	3,74%
X-n524-k137	523	535.629,7	484.169,8	9,61%	2,70%
X-n655-k131	654	371.017,3	338.207,5	8,84%	2,63%
X-n819-k171	818	855.309,8	787.242,5	7,96%	2,32%

Ao final dos experimentos, verificou-se que as reduções médias de distâncias variaram entre cerca de 8% a 25%, mostrando a eficácia da ABC. As maiores reduções percentuais se deram nas instâncias com menor número de pontos, embora em termos absolutos, maior quantidade de pontos geram reduções bem superiores. Os desvios mostraram que o nível de dispersão entre as replicações dos experimentos são maiores apenas quando o número de pontos é pequeno, mas para instâncias com quantidades maiores de pontos os valores dos desvios padrão não são elevados, o que mostra que o modelo é consistente nos seus resultados, e dá mais confiabilidade ao modelo.

Conclusões

Esta pesquisa procurou utilizar uma metaheurística clássica, ABC, para a solução do PRV, que é um problema combinatório relevante na área de logística. Para a sua implementação foi utilizada a ferramenta R e bases de dados públicas foram utilizadas para a realização de experimentos com o algoritmo construído.

Ao final desta pesquisa, pode-se concluir que a utilização da heurística ABC adaptada à problemas de

roteamento mostrou-se adequada, gerando resultados consistentes para diferentes tipos de instâncias, e que a ferramenta computacional se mostrou de simples utilização e oferecendo todos os recursos necessários para a implementação da metaheurística.

Em termos de resultados dos experimentos, foi possível se obter uma configuração de rotas otimizada para uma dada uma frota veicular heterogênea, atingindo o objetivo de minimização de distâncias percorridas pela frota.

Sobre estudos futuros para dar uma continuidade a este projeto pode-se explorar a aplicação de outros algoritmos na solução do PRV, criando-se um *benchmarking* entre heurísticas existentes na literatura. Pode-se ainda, trabalhar o PRV em um ambiente de rede viária (um grafo), e neste caso pode-se aplicar o algoritmo de menor caminho entre os dois pontos sucessivos de cada trecho de uma rota.

Referências bibliográficas

- AYUMI, V.; RERE, L. M. R.; FANANY, M. I.; ARYMURTHY, A. M. Optimization of convolutional neural network using microcanonical annealing algorithm. 2016 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS), [S.I.], v. 1, n. 2016, p. 506-511, 2016.
- BALLOU, Ronald H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos / Logística empresarial. 5. ed. Porto Alegre, RS: Bookman Editora, 2006.
- BANDARU, Sunith; DEB, Kalyanmoy. Metaheuristic Techniques. Decision Sciences, Suécia, v. 1, n. 1, p. 693-750, 2016.
- BELFIORE, Patrícia Prado; FÁVERO, L. P. L. Problema de Roteirização de veículos com janelas de tempo: revisão da literatura. XIII SIMPEP, Bauru, São Paulo, 2006
- BODIN, L. D. et al. Routing and scheduling of vehicles and crews: Routing and scheduling of vehicles and crews. Computers & Operations Research, v. 10, n. 2, p. 63-211, 1983.
- BOUSSAÏD, Ilhem; LEPAGNOT, Julien; SIARRY, Patrick. A survey on optimization metaheuristics. Information Sciences, [S.I.], v. 237, n. 10, p. 82-117, 2013.
- CATTARUZZA, Diego; ABSI, Nabil; GONZALES-FELIU, Jesus. Vehicle routing problems for city logistics. EURO Journal on Transportation and Logistics, Ecole des Mines de Saint-Etienne and LIMOS UMR CNRS, Gardanne, França, v. 6, n. 1, p. 51-79, 2015.
- COLORNI, A.; DORIGO, M.; MAFFIOLI, F.; MANIEZZO, V.; RIGHINI, G.; TRUBIAN, M. Heuristics from nature for hard combinatorial optimization problems. International Transactions in Operational Research, [S.I.], v. 3, n. 1, p. 1-12, 1996.
- CUNHA, C. B. D.; GUALDA, N. D. F. Uma contribuição para o problema de roteirização de veículos com restrições operacionais. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- D'AMICO, S. J.; WANG, S.; BATTA, R.; RUMP, C. A simulated annealing approach to police district design. Computers & Operations Research, [S.I.], v. 1, n. 29, p. 667-684, 2002.
- EHMKE, Jan Fabian; MATTFELD, André; DIRK, Christian. Advanced routing for city logistics service providers based on time-dependent travel times. Journal of Computational Science, [S.I.], v. 3, n. 4, p. 193-205, jul./2012.
- KIM, G.; ONG, Y. S.; HENG, C. K.; TAN, P. City Vehicle Routing Problem (City VRP): A Review. IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, Seoul, Coréia do Sul, v. 16, n. 4, p. 1654-1666, ago./2015.
- LIMA, Maurício Pimenta. Custos Logísticos na Economia Brasileira. Revista Tecnológica, [S.I.], v. 11, n. 122, p. 64-69, 2006.
- NAZARI, M. OROOJLOOY, A.; SNYDER, L. V.; TAKÁČ, M. Reinforcement Learning for Solving the Vehicle Routing Problem. 32nd Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2018), [S.I.], 2018.
- NOVAES, Antonio Galvão. Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- PERBOLI, Guido; ROSANO, Mariangela; SAINT-GUILLAIN Michael. Simulation-optimisation framework for City Logistics: an application on multimodal last-mile delivery. IET Intelligent Transport Systems, Turin, Italia, v. 12, n. 4, p. 262-269, 2018.
- UCHOA, E. PECIN, D.; PESSOA, A.; POGGI, M.; VIDAL, T.; SUBRAMANIAN, A. New benchmark instances for the Capacitated Vehicle Routing Problem. European Journal of Operational Research, [S.I.], v. 257, n. 3, p. 845-858, mar/2017.