UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE
KOPER

Cepljeni Genetski Algoritmi in Problem Potujočega Obiskovalca
(Grafted Genetic Algorithm and the Traveling Visitor Problem)

DISPOZICIJA DISERTACIJE

Ime in Priimek: Milan Đorđević.
Znanstveno področje: Računalništvo in informatika.
Študijski program: Računalništvo in informatika, 3. stopnje.
Predlagani mentor: prof. dr. Andrej Brodnik.

Koper, Februar 01, 2011

1 Motivacija, opredelitev problema in znanstveno ozadje

Ko sem prišel leta 2007 na postdiplomski doktorski študij računalništva, iz Beograda v Koper, sem prišel z veliko željo, da spoznam mesto, v katerem bom preživel naslednja štiri leta. Mestno jedro mi je bilo takoj všeč predvsem zaradi številnih znamenitosti, natančno 55, ki se nahajajo tudi na turističnem zemljevidu Kopra. Ker so doktorski študiji naporni in nisem imel veliko prostega časa, sem se začel spraševati kako bi bilo, če bi lahko svoj obhod po mestnih znamenitostih optimiziral na tak način, da porabim najmanj možnih korakov in tako prihranim nekaj časa. Problem sem poimenoval *problem potujočega obiskovalca* (angl. *Traveling Visitor Problem, (TVP)*). Problem potujočega obiskovalca je izpeljan iz *problema trgovskega potnika* (angl. *Traveling Salesman Problem, (TSP)*) [34, 43, 5, 29, 31, 36, 39, 51, 54], pri čemer velja pravilo, da obiskovalec izbira samo med potmi, ki jih je možno prehoditi. To pomeni, da so evklidske razdalje [30, 62], kot jih poznamo v TSP, v našem primeru nemogoče. Obiskovalci uporabljajo sprehajalne poti in območja za pešce, ki so različno dolge. Te omejitve določajo težo povezav, ki povezujejo vozlišča v grafu.

Definicija TVP je sledeča: Imamo graf $G = (V, E, c)$, kjer je množica vozlišč $V = S \cup X$ in $S \cap X = \emptyset$, te sta S zanimivosti mesta in X križišča, E niz povezav te c cena povezav. Cilj je poiskati najkrajši zaprt sprehod skozi vsa vozlišča S (glede na c) v grafu G, pri čemer se lahko sprehodimo skozi X.

V zgodnjih 30. letih 20. stoletja, je avstrijski matematik Karl Menger izzval takratno raziskovalno skupnost, naj z matematičnega vidika preuči, sledeč problem [55]: Glasnik želi obiskati vsako mesto s seznama na katerem je m mest natanko enkrat in se nato vrniti v svoje mesto pri tem so cene potovanj iz mesta i v mesto j znane vnaprej. Vprašanje je torej kateri obhod je najcenejši? Primer TSP je formalno definiran na polnemu grafu G, na množici vozlišč $V = \{v_1, v_2, ..., v_m\}$, za neko celo število m in s ceno povezav $c_{i,j}$ za povezavo (v_i, v_j) za vse i in j v G.

TSP lahko obravnavamo tudi kot problem permutacij. Naj bo P_m množica vseh permutacij iz množice $\{1, 2, ..., m\}$. Potem je problem trgovskega potnika poiskati $\pi = (\pi(1), \pi(2), ..., \pi(m))$ v P_m, za katero velja, da je $c_{\pi(m)\pi(1)} + \sum_{i=1}^{m-1} c_{\pi(i)\pi(i+1)}$ minimalen.

TSP je eden izmed najpomembnejših predstavnikov večje množice problemov, imenovane kombinatorični optimizacijski problemi [37]. Ker spada TSP v razred NP-težkih (angl. *NP-Hard*) problemov [44], učinkovitega algoritma za TSP ne poznamo. Natančneje, takšen algoritem obstaja če in samo če se razreda P in NP prekrivata. S praktičnega vidika to pomeni, da ne poznamo natančnega algoritma za katerikoli TSP primer z m vozlišči, ki se obnaša značilno bolje, kot algoritem, ki izračuna vseh $(m-1)!$ možnih obhodov in vrne obhod z najmanjšo ceno.

V praksi lahko za reševanje enakega problema uporabimo tudi drugačen pristop. Določeni TSP primer, z m vozlišči ima lahko katerikoli obhod, ki poteka skozi vsa vozlišča m in predstavlja možno rešitev, ki je zgornja meja (angl. *upper bound*) za najnižjo možno ceno. Algoritem, ki v polinomskem času (angl. *polynominal time*) konstruira možne rešitve s to zgornjo mejo se imenuje hevristika [8, 67]. Načeloma, ti algoritmi proizvajajo rešitve, vendar brez zagotovila o kakovosti rešitve glede na razliko med njihovo ceno in optimalno ceno.

Poznamo dve vrsti TSP: simetrični TSP in asimetrični TSP. V simetrični obliki, znani pod imenom STSP [42, 41, 52, 53], je razdalja med vozliščema i in j enaka razdalji med vozliščema j in i. V primeru asimetričnega TSP(ATSP) [9, 11, 12, 14], takšna simetrija ne obstaja. Poleg tega obstaja še vrsta različnih variacij TSP, ki so opisane in raziskane v literaturi ter izhajajo iz vsakodnevnega življenja. Spodaj povzemam nekatere izmed njih.

Grupirani TSP (angl. *Clustered TSP*) [35], ozko-grlni TSP (angl. *Bottleneck TSP*) [34], posplošen TSP (angl. *Generalized TSP*) [33, 46], problem glasnika (angl. *Messenger Problem*) [55], ki je znan tudi kot problem izgubljenega prodajalca (angl. *Wondering Salesman Problem*) [45], problem zamenjave (angl. *The swapping problem*) [2], problem minimalne latentnosti (angl. *Minimum Latency Problem*) [7] znan tudi kot problem dostavljalca (angl. *Delivery Man Problem*) [34] ali problem potujočega mojstra (angl. *Traveling Repairman Problem*) [28], problem seizmičnih plovil (angl. *Seismic Vessel Problem*) [32], ki je posplošitev problema skladiščnega dvigala (angl. *Stacker Crane Problem*) [15], problem potujočega turnirja (angl. *Traveling Tournament Problem*) [22], problem lokacije objekta (angl. *Facility Location Problem*) [21]. In končno problem, ki bo podrobno opisan, raziskovan in rešen v doktorski disertaciji, problem potujočega obiskovalca, za katerega ne poznamo nobenega vira v literaturi.

Prvi koraki v reševanju TSP so bili klasični poskusi. Te metode so sestavljene iz natančnih algoritmov in hevristike. Hevristične metode, kot so presek ravnine (angl. *cutting planes*) [63], vejitev in povezovanje (angl. *branch and bound*) [63, 16], lahko optimalno rešijo relativno majhne probleme (v odvisnosti od velikosti m), med tem ko metode, kot so različne variante Lin- Kernighan algoritma [6, 25, 40, 46], Concorde tehnike [4, 3, 5] nam dajo relativno dobre rezultate, tudi za večje probleme. Posamezni algoritmi, zasnovani na požrešnih principih, kot sta najbližji sosed (angl. *nearest neigbour*) [34] in vpeto drevo (angl. *spanning tree*) [39], se prav tako uporabljajo za reševanje TSP.

Natančne metode za reševanje TSP rezultirajo z eksponentnimi računskimi kompleksnostmi, tako da so v izogib obstoječim slabostim potrebne nove metode. Te metode vključujejo različne principe optimizacijskih tehnik, naravno orientirani optimizacijski algoritmi, populacijsko orientirani optimizacijski algoritmi, ter drugi. Različna bitja in naravni sistemi, ki se razvijajo v naravi so zanimivi in dragoceni izvori inspiracije, za raziskovanje in ustvarjanje novih sistemov in algoritmov za reševanje TSP, ter njegovih variacij. Naj jih naštejemo nekaj.

Evolutivno računanje (angl. *Evolutionary Computation*) [70, 60, 76, 56], genetski algoritmi (angl. *Genetic Algorithms*) [24, 26, 27, 57, 61, 66, 68, 72, 74, 75, 78, 77], memetični algoritmi (angl. *Memetic Algorithms*) [33, 48, 49, 50, 58, 62], nevronske mreže (angl. *Neural Networks*) [38], časovno prilagojeni samoorganizirajoči zemljevidi (angl. *Time Adaptive Self-organizing Maps*) [69], sistemi mravelj (angl. *Ant Systems*) [20], simulirano ohlajanje (angl. *Simulated Annealing*) [47], optimizacija roja delcev (angl. *Particle Swarm Optimization*) [23], kolonije čebel (*angl. Bee Colony Optimization*) [71], DNK računanje (angl. *DNA Computing*) [1, 59] in naposled *cepljeni genetski algoritmi* (angl. *Grafted Genetic Algorithms*) [19, 18]. Slednji predstavljajo vrsto hibridnih genetskih algoritmov in bodo raziskani, podrobno opisani ter demonstrirani v doktorski disertaciji.

2 Načrt, raziskovalni cilji, hipoteze

V doktorski disertaciji bosta obdelani dve temi iz teoretičnega računalništva. Optimizacijsko hevristična metoda imenovana cepljeni genetski algoritmi s pomočjo katere bomo reševali nov problem, imenovan problem potujočega obiskovalca (TVP). Cilji doktorske disertacije so naslednji:

Cepljeni genetski algoritmi: Cilj je pokazati kakovost dobljenih rešitev in hitrost izvajanja cepljenega genetskega algoritma, kadar se uporablja za probleme Simetričnih TSP-jev, ki so na voljo na svetovnem spletu, v obliki splošno priznanih primerjalnih primerov (angl. *benchmarks*), kot tudi dejanskih primerov, nastalih za problem potujočega obiskovalca.

Problem potujočega obiskovalca: Cilj je opisati in definirati problem iz realnega življenja, ustvariti realne primere za mesta v okolici in rešiti primere problemov z uporabo nove metode ter znanih metod, ki bodo skupaj prikazane v doktorski disertaciji. Raziskovalni cilj disertacije je dokazovanje spodaj navedenih Hipotez 1 in 2.
Hipoteza 1: Metoda za reševanje TSP, sestavljena iz dveh neodvisnih metod, genetskega algoritma in 2-opt hevristike, združuje kakovosti obeh metod na takšen način, da ju znatno prekaša, glede na kakovost rešitve.

Hipoteza 2: Glede na kakovost rešitve posebna metoda za reševanje problema potujočega obiskovalca, prekaša splošne algoritme za reševanje problema trgovskega potnika, ko jih uporabimo za reševanje problema potujočega obiskovalca.

3 Pričakovani rezultati in doprinos k znanosti

Doprinos k znanosti predstavljajo naslednji pričakovani rezultati:

- Izdelava cepljenega genetskega algoritma za reševanje problema trgovskega potnika in problema potujočega obiskovalca.
- Preverjanje, da problem trgovskega potnika lahko uspešno rešimo z uporabo cepljenega genetskega algoritma.
- Izdelava posebne metode za reševanje problema potujočega obiskovalca.
- Izdelava realnih primerov problema potujočega obiskovalca za mesta Koper, Beograd in Benetke.
- Preverjanje da vsak primer problema potujočega obiskovalca, ki je rešen z posebno metodo, predstavlja zelo zadovoljivo rešitev.

Rezultati doktorske disertacije bodo predstavljali doprinos k premoščanju razlike med teoretičnim računalništvom in njegovo uporabo v praksi: boljšemu razumevanju in modeliranju realnih problemov iz gospodarstva, predstavljenih kot NP-polni problemi v teoriji grafov, kot tudi doprinos optimizacijskim metodam za reševanje omenjenih problemov.

4 Metodologija

Glavno orodje za opis in definicijo problema potujočega obiskovalca je teorija grafov. Za realistično predstavitev vozlišč našega grafa, kot tudi povezav ter cen je uporabljen geografski informacijski sistem „Google Earth“, čigar podatkovo bazo bomo uporabili za pridobitev mestnih znamenitosti, križišč in sprehajalnih poti. Pomembno vlogo za dokazovanje hipoteze 1 ima platforma za raziskovanje genetskih algoritmov „EA Visualizer" [10], aplikacija napisana v programskem jeziku Java.

Za dokazovanje hipoteze 2 bomo uporabili in ustrezno nadgradili Floyd-Warshall-ov algoritem [17], za iskanje najkrajših poti med vsemi pari vozlišč grafa $G = (V, E, c)$. Uporabili bomo tudi znane optimizacijske metode za reševanje simetričnega in asimetričnega problema trgovskega potnika, presek-ravnine [64, 65], na čigar osnovi temeljijo metode Concorde [4, 3, 5] in hevristične metode Lin-Kernighan algoritma [6, 25, 40, 46]. Obe aplikaciji sta pisani v programskem jeziku AnsiC. Poleg tega za dokazovanje hipoteze 2 uporabljamo znanje iz matematičnih modelov znanih kot problem linearnega programiranja (angl. *linear programming problems*) [13, 73], kot tudi simpleks metode (angl. *simplex methods*) [63].

5 Predvidena vsebina disertacije

Predvidoma bo disertacija po Pravilniku o pripravi in zagovoru doktorske disertacije na Univerzi na Primorskem, vsebovala naslednja poglavja:

- Zahvala
- Povzetek
- Kazalo vsebine
- Poglavje 1 - Uvod
- Poglavje 2 - Ozadje
  - 2.1 Problem Trgovskega Potnika
  - 2.2 Optimizacijski Algoritmi
- Poglavje 3 - Cepljeni Genetski Algoritmi
- Poglavje 4 - Problem Potujočega Obiskovalca
- Zaključek
- Literatura
- Kazalo
- Izjava

V poglavju *Ozadje* bomo predstavili osnovne pojme trgovskega potnika in optimizacijskih algoritmov, s pomočjo katerih bodo nadaljnja poglavja disertacije postala razumljiva tudi širšemu krogu bralcev. Preostali poglavji bosta namenjeni predstavitvi doseženih ciljev disertacije. Predvidoma bodo poglavja razdeljena na več podpoglavij.

6 Literatura

References

[1] L.M. Adleman. Molecular computation of solutions to combinatorial problems. *Nature*, 369:40, 1994.

[2] S. Anily and R. Hassin. The swapping problem. *Networks*, 22(4):419–433, 1992.

[3] D. Applegate, R. Bixby, V. Chvatal, and B. Cook. Finding cuts in the TSP. Technical report, Center for Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science, 1995.

[4] D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal, and W. Cook. TSP cuts which do not conform to the template paradigm. In *Computational Combinatorial Optimization*, pages 261–304, 2001.

[5] D. Applegate, R. Bixby, W. Cook, and V. Chvátal. *On the solution of traveling salesman problems*. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universitat Bonn, 1998.

[6] D. Applegate, W. Cook, and A. Rohe. Chained Lin-Kernighan for large traveling salesman problems. *INFORMS Journal on Computing*, 15(1):82–92, 2003.

[7] A. Blum, P. Chalasani, D. Coppersmith, B. Pulleyblank, P. Raghavan, and M. Sudan. The minimum latency problem. In *Proceedings of the twenty-sixth annual ACM symposium on Theory of computing*, pages 163–171. ACM, 1994.

[8] C. Blum and A. Roli. Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 35(3):268–308, 2003.

[9] N. Boland, L. Clarke, and G. Nemhauser. The asymmetric traveling salesman problem with replenishment arcs. *European Journal of Operational Research*, 123(2):408–427, 2000.

[10] P. Bosman and D. Thierens. On the Modelling of Evolutionary Algorithms. In *Proceedings of the Eleventh Belgium–Netherlands Conference on Artificial Intelligence BNAIC*, pages 67–74, 1999.

[11] J. Brest and J. Žerovnik. A heuristic for the asymmetric traveling salesman problem. In *The 6th Metaheuristics International Conference*, pages 145–150, 2005.

[12] G. Carpaneto, M. Dell'Amico, and P. Toth. Exact solution of large-scale, asymmetric traveling salesman problems. *ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS)*, 21(4):394–409, 1995.

[13] V. Chvátal. *Linear programming*. WH Freeman, 1983.

[14] J. Cirasella, D. Johnson, L. McGeoch, and W. Zhang. The asymmetric traveling salesman problem: Algorithms, instance generators, and tests. In *Revised Papers from the Third International Workshop on Algorithm Engineering and Experimentation*, ALENEX '01, pages 32–59, 2001.

[15] A. Coja-Oghlan, S.O. Krumke, and T. Nierhoff. A heuristic for the stacker crane problem on trees which is almost surely exact. *Journal of Algorithms*, 61(1):1–19, 2006.

[16] W. Cook and P. Seymour. Tour merging via branch-decomposition. *INFORMS Journal on Computing*, 15(3):233–248, 2003.

[17] T. Cormen, C. Leiserson, R. Rivest, and C. Stein. *Introduction to Algorithms, Third Edition.* The MIT Press, 3rd edition, 2009.

[18] M. Djordjevic. Influence of Grafting a Hybrid Searcher Into the Evolutionary Algorithm. In *Proceedings of the Seventeenth International Electrotechnical and Computer Science Conference*, pages 115–118. Slovenian Section IEEE, 2008.

[19] M. Djordjevic, M. Tuba, and B. Djordjevic. Impact of Grafting a 2-opt Algorithm Based Local Searcher Into the Genetic Algorithm. In *Proceedings of the 9th WSEAS international conference on Applied informatics and communications*, pages 485–490. World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), 2009.

[20] M. Dorigo, M. Birattari, and T. Stutzle. Ant colony optimization. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 1(4):28–39, 2006.

[21] Z. Drezner. *Facility location: a survey of applications and methods.* Springer Verlag, 1995.

[22] K. Easton, G. Nemhauser, and M. Trick. The traveling tournament problem description and benchmarks. In *Proceedings of the 7th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming*, CP '01, pages 580–584, 2001.

[23] R. Eberhart and J. Kennedy. A new optimizer using particle swarm theory. In *Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, MHS'95.*, pages 39–43. IEEE, 2002.

[24] T.A. El-Mihoub, A.A. Hopgood, L. Nolle, and A. Battersby. Hybrid genetic algorithms: A review. *Engineering Letters*, 13(2):124–137, 2006.

[25] T. Fischer and P. Merz. A distributed chained Lin-Kernighan algorithm for TSP problems. In *Proceedings of the 19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'05) - Papers - Volume 01*, IPDPS '05, pages 162–172, 2005.

[26] B. Freisleben and P. Merz. New genetic local search operators for the traveling salesman problem. In *Proceedings of the 4th International Conference on Parallel Problem Solving from Nature*, PPSN IV, pages 890–899, 1996.

[27] P. Gang, I. Iimura, and S. Nakayama. An Evolutionary Multiple Heuristic with Genetic Local Search for Solving TSP. *International Journal of Information Technology*, 14(2):1–11, 2008.

[28] A. Garcia, P. Jodrá, and J. Tejel. A note on the traveling repairman problem. *Networks*, 40(1):27–31, 2002.

[29] I. Gerace and F. Greco. The travelling salesman problem in symmetric circulant matrices with two stripes. *Mathematical Structures in Computer Science*, 18(01):165–175, 2008.

[30] M.X. Goemans and D.J. Bertsimas. Probabilistic analysis of the Held and Karp lower bound for the Euclidean traveling salesman problem. *Mathematics of operations research*, 16(1):72–89, 1991.

[31] A. Gupta, V. Nagarajan, and R. Ravi. Approximation algorithms for optimal decision trees and adaptive tsp problems. In *Proceedings of the 37th international colloquium conference on Automata, languages and programming*, ICALP'10, pages 690–701, 2010.

[32] G. Gutin, H. Jakubowicz, S. Ronen, and A. Zverovitch. Seismic vessel problem. *Communications in Dependability and Quality Management*, 8(1):13–20, 2005.

[33] G. Gutin and D. Karapetyan. A memetic algorithm for the generalized traveling salesman problem. *Natural Computing*, 9(1):47–60, 2010.

[34] G. Gutin and A.P. Punnen. *The traveling salesman problem and its variations.* Kluwer Academic Pub, 2002.

[35] N. Guttmann-Beck, R. Hassin, S. Khuller, and B. Raghavachari. Approximation algorithms with bounded performance guarantees for the clustered traveling salesman problem. *Algorithmica*, 28(4):422–437, 2000.

[36] M. Hahsler and K. Hornik. TSP–Infrastructure for the traveling salesperson problem. *Journal of Statistical Software*, 23(2):1–21, 2007.

[37] W.E. Hart. *Adaptive global optimization with local search.* PhD thesis, University of California, San Diego, CA, USA, 1994.

[38] S. Haykin and JN Hwang. Neural networks: a comprehensive foundation. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 6(4):1019–1021, 1995.

[39] M. Held and R.M. Karp. The traveling-salesman problem and minimum spanning trees: Part II. *Mathematical Programming*, 1(1):6–25, 1971.

[40] K. Helsgaun. An effective implementation of the Lin-Kernighan traveling salesman heuristic. *European Journal of Operational Research*, 126(1):106–130, 2000.

[41] L.J. Hubert and F.B. Baker. Applications of combinatorial programming to data analysis: The traveling salesman and related problems. *Psychometrika*, 43(1):81–91, 1978.

[42] D. Johnson and L. McGeoch. Experimental analysis of heuristics for the STSP. In *The traveling salesman problem and its variations*, pages 369–443. Kluwer Academic Pub, 2004.

[43] D.S. Johnson and L.A. McGeoch. The traveling salesman problem: A case study in local optimization. In *Local search in combinatorial optimization*, pages 215–310. 1997.

[44] D.S. Johnson and C.H. Papadimitriou. *Computational complexity and the traveling salesman problem.* Massachusetts Institute of Technology, 1981.

[45] M. Junger, G. Reinelt, and G. Rinaldi. The traveling salesman problem. *Handbooks in Operations Research and Management Science*, 7:225–330, 1995.

[46] D. Karapetyan and G. Gutin. Lin-Kernighan heuristic adaptations for the generalized traveling salesman problem. *European journal of operational research*, 208(3):221–232, 2011.

[47] S. Kirkpatrick. Optimization by simulated annealing: Quantitative studies. *Journal of Statistical Physics*, 34(5):975–986, 1984.

[48] N. Krasnogor. *Studies on the theory and design space of memetic algorithms*. PhD thesis, Faculty of Computing, Engineering and Mathematical Sciences, University of the West of England, 2002.

[49] N. Krasnogor, P. Moscato, and M.G. Norman. A new hybrid heuristic for large geometric traveling salesman problems based on the delaunay triangulation. In *Anais do XXVII Simposio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Vitoria, Brazil, SOBRAPO*, pages 6–8, 1995.

[50] N. Krasnogor and J. Smith. A tutorial for competent memetic algorithms: model, taxonomy, and design issues. *Evolutionary Computation*, 9(5):474–488, 2005.

[51] L.T. Leng. Guided genetic algorithm. *Relation*, 10(148):103–113, 2008.

[52] J.K. Lenstra and A.H.G.R. Kan. Some simple applications of the travelling salesman problem. *Operational Research Quarterly*, 26(4):717–733, 1975.

[53] SB Liu, KM. Ng, and HL. Ong. A new heuristic algorithm for the classical symmetric traveling salesman problem. *International Journal of Mathematical Science*, 37(4):234–238, 2007.

[54] R. Matai and S. Singh. Traveling Salesman Problem: An Overview of Applications, Formulations, and Solution Approaches. *Omega*, 34(3):209–219, 2006.

[55] K. Menger. Das botenproblem. *Ergebnisse eines mathematischen kolloquiums*, 2:11–12, 1932.

[56] M. Mernik, V. Žumer, and M. Črepinšek. A metaevolutionary approach for the traveling salesman problem. In *Information Technology Interfaces, ITI 2000, Proceedings of the 22nd International Conference*, pages 357–362. IEEE, 2000.

[57] P. Merz and B. Freisleben. Genetic Local Search for the TSP: New Results. In *Proceedings of 1997 IEEE International Conference on Evolutionary Computation (ICEC'97)*, pages 159–164. IEEE, 1997.

[58] P. Merz and B. Freisleben. Memetic algorithms for the traveling salesman problem. *Complex Systems*, 13(4):297–346, 2001.

[59] A.G. Moreno. Solving Travelling Salesman Problem In A Simulation Of Genetic Algorithms With DNA. *Information Theories and Applications*, 15(1):357–368, 1993.

[60] R.E. Mowe and B.A. Julstrom. A Web-Based Evolutionary Algorithm Demonstration using the Traveling Salesman Problem. In *The 34th Annual Midwest Instruction and Computing Symposium*, 2001.

[61] H.D. Nguyen, I. Yoshihara, K. Yamamori, and M. Yasunaga. Implementation of an effective hybrid GA for large-scale traveling salesman problems. *Systems, Man, and Cybernetics*, 37(1):92–99, 2007.

[62] E. Ozcan and M. Erenturk. A brief review of memetic algorithms for solving Euclidean 2D traveling salesrep problem. In *Proc. of the 13th Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks*, pages 99–108, 2004.

[63] G. Padberg et al. Optimization of a 532-city symmetric traveling salesman problem by branch and cut. *Operations Research Letters*, 6(1):1–7, 1987.

[64] M. Padberg and M. Grotschel. Polyhedral computations. EL Lawler, JK Lenstra, AHG Rinnooy Kan, DB Shmoys, eds. *The Traveling Salesman Problem*, 7:307–360, 1985.

[65] M. Padberg and G. Rinaldi. A branch-and-cut algorithm for the resolution of large-scale symmetric traveling salesman problems. *SIAM review*, 33(1):60–100, 1991.

[66] S. Ray, S. Bandyopadhyay, and S. Pal. Genetic operators for combinatorial optimization in TSP and microarray gene ordering. *Applied Intelligence*, 26:183–195, June 2007.

[67] C. Rego and F. Glover. Local search and metaheuristics. In *The traveling salesman problem and its variations*, pages 309–368. Springer, 2004.

[68] H. Sengoku and I. Yoshihara. A fast TSP solver using GA on Java. In *Third International Symposium on Artificial Life, and Robotics (AROB III98)*, 1998.

[69] H. Shah-Hosseini. The time adaptive self-organizing map is a neural network based on Artificial Immune System. In *Neural Networks, 2006. IJCNN'06. International Joint Conference*, pages 1007–1014. IEEE, 2006.

[70] W. Spears, K. De Jong, T. Back, and D. Fogel. An overview of evolutionary computation. In *Machine Learning: ECML-93*, pages 442–459. Springer, 1993.

[71] D. Teodorović and M. DellOrco. Bee colony optimization–a cooperative learning approach to complex transportation problems. In *Proceedings of the 10th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, Poznan, Poland*, pages 51–60, 2005.

[72] A. Uğur, S. Korukoğlu, A. Çalışkan, M. Cinsdikici, and A. Alp. Genetic Algorithm Based Solution for TSP On a Sphere. *Mathematical and Computational Applications*, 14(3):219–228, 2009.

[73] RJ Vanderbei. Linear Programming: Foundations and Extensions. *Journal of the Operational Research Society*, 49(1):93–98, 1998.

[74] M.B. Wall. *A Genetic Algorithm for Resource-Constrained Scheduling.* PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1996.

[75] S. Wang, B. Wang, and X. Li. Grafted genetic algorithm and its application. In *Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design, 2006. CAIDCD'06. 7th International Conference on*, pages 1–4. IEEE, 2007.

[76] C.M. White and G.G. Yen. A hybrid evolutionary algorithm for traveling salesman problem. In *Evolutionary Computation, CEC2004 Congress*, volume 2, pages 1473–1478. IEEE, 2004.

[77] F. Zhao, J. Sun, S. Li, and W. Liu. A Hybrid Genetic Algorithm for the Traveling Salesman Problem with Pickup and Delivery. *International Journal of Automation and Computing*, 6(1):97–102, 2009.

[78] G. Zhao, W. Luo, H. Nie, and C. Li. A Genetic Algorithm Balancing Exploration and Exploitation for the Travelling Salesman Problem. In *Fourth International Conference on Natural Computation*, volume 4, pages 505–509. IEEE, 2008.