



APLIKASI *SIMULATED ANNEALING* DALAM MENYELESAIKAN MASALAH LOKASI-ALOKASI SELANJAR BERKAPASITI

Rozieana Khairuddin

Fakulti Kejuruteraan Mekanikal,
Universiti Malaysia Pahang,
25000 Kuantan, Pahang
rozieana@ump.edu.my

Norhafizah Md. Sarif

Fakulti Kejuruteraan Elektrik & Elektronik,
Universiti Malaysia Pahang,
25000 Kuantan, Pahang
norhafizah@ump.edu.my

Zaitul Marlizawati Zainuddin

Jabatan Matematik,
Fakulti Sains,
Universiti Teknologi Malaysia,
81310 UTM Skudai, Johor.
zma@mel.fs.utm.my

Abstrak: Analisis lokasi adalah berkaitan dengan pengagihan sumber. Umumnya, lokasi bagi satu atau lebih kemudahan ditentukan dengan memenuhi beberapa kekangan seperti permintaan pelanggan dan meminimalkan jumlah kos. Masalah lokasi-alokasi adalah masalah untuk mendapatkan lokasi bagi satu set kemudahan baru dan memperuntukkan pelanggan-pelanggan kepada kemudahan tersebut dalam satah Euclidean supaya kos pengangkutan dari lokasi kemudahan ke pelanggan dapat diminimalkan. Objektif utama kajian ini adalah menyelesaikan salah satu daripada masalah lokasi-alokasi iaitu masalah lokasi-alokasi selanjar berkapasiti. Masalah ini diselesaikan dengan kaedah heuristic iaitu *Simulated Annealing*. Masalah tersebut diselesaikan untuk dua kemudahan yang kapasiti setiap kemudahan adalah sama. Akhir sekali, keputusan yang diperoleh dengan menggunakan data ujian dipersembahkan dan dibandingkan dengan penyelesaian optima yang terdapat dalam rujukan kajian. Kajian menunjukkan penyelesaian yang diperoleh hampir dengan penyelesaian yang ditunjukkan dalam rujukan kajian. Suatu pengaturcaraan C++ telah dibina bagi menyelesaikan masalah lokasi ini.

Katakunci : lokasi-alokasi; berkapasiti; *Simulated Annealing*; selanjar

1. Pengenalan

Masalah lokasi adalah masalah untuk mendapatkan lokasi bagi objek yang dinamakan kemudahan. Kemudahan ini akan bertindak balas dengan kumpulan objek lain yang mempunyai lokasi tetap, iaitu kemudahan sedia ada (pelanggan, dalam kes ini). Konsep jarak di antara kemudahan yang ingin di cari dan kemudahan sedia ada akan meyumbang kepada pengukuran prestasi. Ini akan membawa kepada fungsi objektif yang boleh digunakan dalam menilai lokasi percubaan kepada kemudahan.

Lokasi sains telah dibangunkan dalam tiga bidang utama[1]. Kategori yang pertama adalah model selanjar yang membenarkan kemudahan lokasi berda di mana-mana satah atau subset kepada satah tersebut. Kategori kedua telah berkembang daripada amalan moden di mana ia menggunakan pengaturcaraan matematik untuk menyelesaikan masalah lokais-alokasi. Ia dikenali sebagai model diskret, lokasi yang paling sesuai dikenal pasti terlebih dahulu dan terhingga dari segi nombor. Kategori ketiga bagi model lokasi adalah berdasarkan graf dan teori rangkaian.

Masalah lokasi biasanya dikategorikan di dalam dua kelas : masalah kemudahan tunggal dan masalah kemudahan pelbagai. Masalah kemudahan tunggal digunakan untuk mendapatkan lokasi bagi kemudahan tunggal dalam sesuatu bentuk, sebagai contoh, satu data yang ditukar ke dalam rangkaian. Masalah kemudahan pelbagai adalah lebih kompleks dan melibatkan dua atau lebih kemudahan untuk mendapatkannya secara serentak. Rangkaian pelbagai tukaran adalah contoh terbaik di mana masalah kemudahan dapat diaplikasikan bagi kes ini. Masalah kemudahan tunggal selalu digunakan sebagai sub-rutin dalam menyelesaikan masalah kemudahan pelbagai. Masalah lokasi/relokasi adalah masalah *NP complete* [2]. Disebabkan gabungan kompleks dalam menyelesaikan masalah ini, beberapa percubaan telah dilakukan untuk mengenalpasti penyelesaian optima terhampir menggunakan kaedah meta-heuristik. Dalam kajian ini, *simulated annealing* (SA) digunakan sebagai kaedah penyelesaian.

SA adalah merupakan pendekatan stokastik bagi menyelesaikan masalah pengoptimuman gabungan, di mana idea asas adalah daripada proses *annealing* bagi pepejal. Kirkpatrick *et al.* [3] adalah yang pertama menggunakan SA untuk menyelesaikan masalah pengoptimuman gabungan ini. SA adalah kaedah meta heuristik yang menerima penyelesaian yang kurang tepat dengan kebarangkalian tertentu. Merujuk kepada Brandeau *et al.* [4], SA telah berjaya digunakan dalam menyelesaikan masalah lokasi.

2. Metodologi

Kebanyakan masalah lokasi adalah dikenali sebagai NP masalah pengoptimuman gabungan keseluruhan. Apabila satu set kemudahan beserta kemudahan tertentu dijumpai, alokasi bagi pelanggan terhadap setiap kemudahan boleh di capai secara optima dengan menyelesaikannya menggunakan Masalah Pengangkutan. Masalah pengangkutan merupakan sub-masalah bagi masalah lokasi berkapasiti. Formulasi matematik dalam masalah pengangkutan adalah seperti berikut:

$$\text{Minimumkan } \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Subjek kepada

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq b_i, \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq w_j, \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (4)$$

Persamaan (1) adalah merupakan fungsi objektif yang meminimalkan kos keseluruhan pengangkutan, kekangan (2) adalah untuk memastikan bekalan tidak *violated* dan kekangan (3) pula adalah supaya kehendak dipenuhi. Kekangan (4) membenarkan kehendak yang dipenuhi tidak semestinya terdiri daripada suatu kemudahan terbuka. Bagi setiap konfigurasi, jika dipilih, ianya harus tersaur. Dalam erti kata lain, keseluruhan kapasiti bagi setiap kemudahan mestilah cukup besar bagi memuatkan semua pelanggan, atau $\sum_{i \in I} b_i \geq \sum_{j \in J} w_j$ (*).

Ini bermakna, setiap konfigurasi yang tidak digunakan (*) akan dihalang daripada diperiksa. Penyelesaian akan seimbang jika $\sum_{i \in I} b_i = \sum_{j \in J} w_j$ dan $b_i > 0$ dan $w_j > 0$. Tujuannya adalah bagi merancang menyediakan kos pengangkutan yang minima bagi kemudahan kepada pelanggan seperti kehendak pelanggan dipenuhi tanpa melebihi bekalan yang terdapat dalam sesuatu kemudahan.

Penerangan bagi algoritma untuk menyelesaikan masalah pengangkutan yang diperkenalkan oleh Zainuddin. Z.M [5] iaitu dengan menggunakan kaedah *Vogel Approximation Method* (VAM) di mana ia memberikan keputusan awal yang baik dan menggunakan bilangan lelaran yang sedikit untuk mencapai keputusan optima. Walaubagaimanapun, masa yang diperlukan untuk menyelesaikan masalah pengangkutan dengan menggunakan kaedah VAM ini agak lama.

2.1 Algoritma 1

Algoritma ini digunakan untuk mendapatkan penyelesaian tersaur yang optima dengan menggunakan kaedah VAM yang telah dibuat penambahbaikan daripada kaedah *least-cost* yang menghasilkan keputusan awal yang baik. Dibawah disertakan prosedur bagi VAM:

Langkah 1: Bagi setiap baris (lajur), dapatkan ukuran penalti dengan menolak elemen kos unit terendah dalam setiap baris (lajur) daripada elemen kos unit terendah dalam lajur yang sama.

Langkah 2: Kenalpasti baris atau lajur yang mempunyai penalti terbesar. Bagi kes seri, pemilihan adalah sebarang. Peruntukkan sebanyak mungkin pembolehkan dengan kos unit yang paling sedikit di dalam baris atau lajur yang dipilih. Sesuaikan bekalan dan kehendak, dan singkir baris atau lajur yang dipenuhi. Sekiranya baris atau lajur dipenuhi serentak, hanya satu daripada akan disingkir, dan baris (lajur) yang tinggal menjadi bekalan permintaan (sifar)

- Langkah 3:** a) Jika hanya satu baris atau lajur dengan bekalan atau permintaan sifar yang disingkir keluar, maka berhenti.
b) Jika satu baris (lajur) dengan bekalan (permintaan) sifar positif kekal tidak tersingkir, tentukan pembolehubah asas dalam baris (lajur) menggunakan kaedah kos terkecil dan berhenti.
c) Jika semua barisan dan lajur yang tidak disingkir keluar mempunyai bekalan dan permintaan sifar, tentukan pembolehubah asas sifar menggunakan kaedah kos terkecil, dan berhenti.
d) Jika tidak, pergi ke langkah 1.

2.2 Algoritma Simulated Annealing

Prosedur bagi asas heuristik SA yang digunakan sepanjang kajian ini.

Langkah 1: Memilih parameter heuristik dan menghasilkan penyelesaian awal dan kos nya. Penyelesaian ini dinamakan penyelesaian semasa.

Dua titik dipilih secara rawak dari 50 titik tetap. Masalah pengangkutan diaplikasikan untuk memperuntukkan setiap pelanggan kepada titik tersebut. Masalah pengangkutan akan memberikan dua set alokasi. Kos bagi alokasi tersebut dikira. Lokasi optima bagi setiap kawasan di cari dengan menggunakan Persamaan Weiszfeld. Kos baru bagi setiap kawasan kemudiannya dikira. Masalah pengangkutan digunakan untuk memperuntukkan semula 50 titik tetap tadi. Kos keseluruhan dikira dan kos di set kan sebagai $F(x)$.

Suhu awal ditetapkan iaitu $T_0 = 1000^\circ C$,

$$T_{k+1} = T_k / 2,$$

Kiraan ulangan = 4 lelaran.

Lelaran = 1 .

Langkah 2: Mendapatkan penyelesaian kejiranan bagi penyelesaian semasa menggunakan teknik local search.

Bagi setiap alokasi, titik tetap kejiranan bagi kemudahan hendaklah dikenalpasti di mana ia menerangkan titik tetap yang berada di dalam sesetengah jejari daripada kemudahan yang diambil, $r_i = d(i, j)/2$ adalah jarak di antara kemudahan i dan kedudukan pelanggan terjauh.

Langkah 3: Membuat perbandingan di antara kos bagi penyelesaian kejiranan dengan kos bagi penyelesaian semasa.

Dengan menggunakan masalah pengangkutan setiap pelanggan akan diletakkan di satu titik baru dan kos bagi alokasi ini akan dikira. Persamaan Weiszfeld digunakan pada alokasi baru dengan kos dikira lagi. Kemudian, masalah pengangkutan digunakan untuk memperuntukkan 50 titik tetap kepada titik yang diperolehi daripada prosedur Weiszfeld. Kos keseluruhan dikira dan ditetapkan sebagai $F(x')$. Jika $F(x') < F(x)$ maka ambil $F(x) = F(x')$

Langkah 4: Kemaskini kaunter dan parameters, serta ulang langkah 2-4, sehingga criteria pemberhentian yang sesuai dicapai.

$$T_{k+1} = T_k / 2$$

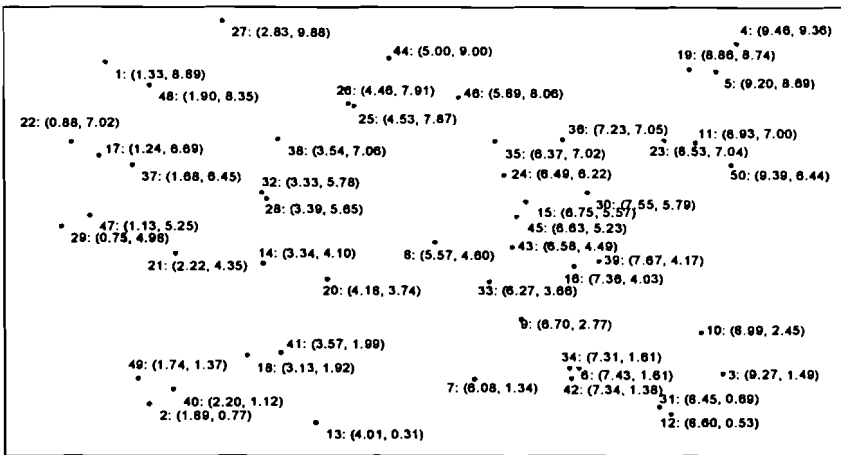
Kiraan ulangan = 4 lelaran

lelaran = 1 .

Bagi tujuan kajian, sebanyak 50 titik tetap digunakan, Eilon et.al [6]. Kemudahan yang akan dikaji dalam kajian ini adalah $M=2$ dengan kapasiti yang sama

$$b = \frac{\sum_{j=1}^n w_j}{2}$$

Satu senarai koordinat dan kehendak bagi 50 data pelanggan digunakan dalam kajian ini, dan rajah dibawah menunjukkan lokasi grafik bagi 50 pelanggan tersebut berdasarkan koordinat.



Rajah 2.1 : Lokasi bagi 50 titik tetap

3. Keputusan komputasi

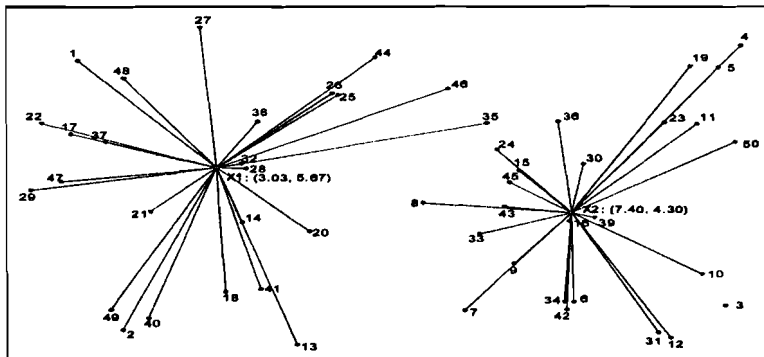
Jadual 3.1 menunjukkan keputusan yang diperolehi dengan menggunakan SA asas bagi masalah kemudahan lokasi selang berkapasiti dengan 50 titik tetap. Program ini ditulis dalam kod C++, bagi tujuan pengujian, 50 titik tetap diuji seperti yang diberi di dalam literature [7]

l	T	Lokasi Kemudahan	$F(x)$	$P(\delta)$	Nombor Rawak	Terima/Tolak
1	1000.0	(2.93,5.49) & (7.36,4.68)	136.957			
2	1000.0	(3.03,5.67) & (7.40,4.30)	136.686			
3	1000.0	(3.03,5.67) & (7.40,4.30)	136.686			
4	1000.0	(3.44,6.62) & (6.91,3.62)	141.639	0.9951	0.0589	Terima
5	500.0	(4.53,7.44) & (6.40,2.84)	140.528			
6	500.0	(5.64,7.25) & (5.73,2.63)	142.109	0.9968	0.6733	Terima
7	500.0	(5.98,2.70) & (5.21,7.37)	141.716			
8	500.0	(6.82,6.41) & (3.81,3.74)	145.022	0.9934	0.4799	Terima
9	250.0	(2.96,5.04) & (7.40,5.29)	139.015			
10	250.0	(3.03,5.67) & (7.40,4.30)	136.686			
11	250.0	(3.03,5.67) & (7.40,4.30)	136.686			
12	250.0	(3.03,5.67) & (7.40,4.30)	136.686			

Jadual 3.1: Keputusan *Simulated Annealing* dalam menyelesaikan masalah lokasi kemudahan berkapasiti selang

l = jumlah lelaran, T = suhu, $F(x)$ = kos, $P(\delta)$ = kebarangkalian penerimaan

Daripada jadual di atas, dapat dilihat bahawa lokasi optima bagi dua kemudahan adalah (3.03, 5.67) dan (7.40, 4.30).



Rajah 3.2: Lokasi kemudahan optima

Kaedah	Penyelesaian Kami	Penyelesaian Sedia Ada	
	BSA	Konstruktif Heuristik	BTS
Kos Optima	136.686	136.645	136.658

BSA: Basic Simulated Annealing,

BTS : Basic Tabu Search

Jadual 4.3 : Perbandingan kos terbaik di antara BSA dan Konstruktif Heuristik dan BTS

Hasil keputusan yang diperolehi menggunakan BSA adalah menghampiri keputusan yang diperolehi dalam [5]. Perbezaan di antara kos optima bagi BSA dan Konstruktif Heuristik adalah 0.041. Manakala perbezaan kos optima BSA dan BTS pula adalah sebnayak 0.028. Oleh kerana nilainya kecil, maka dapat dirumuskan bahawa SA boleh digunakan untuk menyelesaikan masalah apabila dua kemudahan yang perlu ditempatkan dalam masalah 50 titik tetap.

4. Kesimpulan dan Cadangan

Bagi pelaksanaan asas SA, lokasi awal adalah dipilih secara rawak. Masalah pengangkutan kemudiannya digunakan untuk mendapatkan alokasi bagi masalah berkapasiti dengan kos yang dikira. Persamaan Weiszfeld kemudian digunakan kepada alokasi baru untuk menjadikan lokasi ini berada dalam kawasan yang selanjur. Masalah pengangkutan kemudian diselesaikan sekali lagi, ini bagi memastikan sekiranya ada sebarang perubahan di dalam alokasi dan kos juga dikira semula. Kemudian, bagi kemudahan lokasti yang seterusnya di pilih secara random dikalangan titik kejiranan.. Kriteria pemberhentian bagi kes ialah apabila tiada perubahan yang berlaku dalam kos selepas tiga lelaran secara berturut-turut. Kedudukan terbaik yang dijumpai bagi kes ini bagi data yang telah diambil adalah pada (3.03, 5.67) dan (7.40, 4.30) dengan kos sebanyak 136.686.

Perbandingan di antara keputusan Simulated Annealing dengan hasil yang diperolehi dengan menggunakan kaedah heuristik Konstruktif dan Tabu heuristik. Perbezaan bagi nilai kos terbaik di antara SA dan heuristik konstruktif dan jadual tabu adalah kecil iaitu 0.041 dan 0.028. Maka, dapat disimpulkan di sini SA dapat menyelesaikan masalah di mana dua kemudahan yang perlu diperuntukkan bagi 50 titik tetap.

Beberapa cadangan untuk kajian pada masa akan datang adalah supaya masalah yang lebih besar , sebagai contoh menggunakan lebih daripada 50 titik tetap.Selain itu juga, nombor kemudahan juga perlu ditambah untuk menyelesaikan kes yang lebih kompleks.

RUJUKAN

- [1] Polyakov, Y.S .Feedback Algorithm for Switch Location: Analysis of Complexity and Application to Network Design *PhD thesis, New Jersey Institute of Technology, Department of Computer Science,2003*
- [2] Rajagopalan, H.K, Vergara, F.E, Saydam, C. and Xiao, J. Developing Effective meta-heuristics for A probabilistic location model via experimental design. . *European Journal of Operational Research (2006)*
- [3] Kirkpatrick, S., Gelatt, S., and Vecchi, V. Optimization by simulated annealing, *Science* 220 (1983) 671–680.
- [4] Brandeau, M.L., and Chiu, S.S. An Overview of Representative Problems in Location Research. *Management Science*, 35:645-674, 1989
- [5] Zainuddin. Z. M. Constructive And Tabu Search Heuristics for Capacitated Continuous Location-Allocation Problem. *PhD thesis, University of Birmingham, U.K, School of Mathematics and Statistics, 2004.*
- [6] Eilon, S., Watson-Gandy, C.D.T, and Christofields, N. Distribution Management : Mathematical Modelling and Practical Analysis. Hafner, London: Charles Griffin & Company Limited. 1971.
- [7] Zainuddin, Z. M. and S. Salhi. A Perturbation-Based Heuristic for the Capacitated Multisource Weber Problem. *European Journal of Operational Research*, 2006