

TEKNIK UNTUK MEMBANGUNKAN JADUAL WAKTU SEKOLAH DENGAN MENGGUNAKAN KOMPUTER

ABSTRAK

Penjadualan waktu sekolah adalah masalah yang berhubung dengan jadual mingguan bagi kesemua kelas disesebuah sekolah. Masalah ini merangkumi cara bagaimana menentukan semua mata pelajaran diajar mengikut waktu yang akan ditetapkan dengan mengambil kira tiada guru atau kelas bertembung dalam satu-satu masa. Kehendak asas ini biasanya akan melibatkan banyak lagi perkara lain seperti masa pengajaran bagi sesebuah mata pelajaran mestilah tersebar dalam masa seminggu.

Tujuan utama kertas kerja ini adalah untuk memahami had-had *keupayaan Algoritma Genetik* dan potensinya dalam menangani masalah yang mempunyai kekangan yang tinggi. Dalam masalah pengoptimuman, sebarang perubahan kecil kepada penyelesaian yang *feasible* akan menjana kepada satu penyelesaian yang tidak *feasible*. Dalam kertas kerja ini, masalah jadual waktu sekolah telah dipilih sebagai ujian kerana ianya diketahui sebagai *NP-hard*. Ianya juga amat praktikal kerana banyak penyelidikan telah dibuat berkaitan dengan masalah ini.

1. Pengenalan

Penjadualan adalah dikenalpasti sebagai masalah yang paling sukar untuk diselesaikan tetapi pada masa yang sama ianya adalah masalah yang paling menarik minat para penyelidik dalam bidang Penyelidikan Operasi dan Kepintaran Buatan. Masalah ini diketahui juga sebagai *NP-complete*, iaitu masa yang diperlukan untuk menyelesaikan masalah tersebut adalah dijangkakan meningkat secara eksponen berbanding dengan saiznya [EK95].

Algoritma Genetik (AG) adalah mirip kepada keadaan semulajadi yang terdapat dalam pembiakan haiwan atau tumbuhan. Individu atau kromosom adalah dipilih daripada populasi awal atau dipanggil sebagai *parents* dan akan dibiakkan (mated) melalui proses penyilangan (*crossover*) bagi membentuk individu yang baru (*child*). Individu yang baru lahir ini akan mewarisi ciri-ciri *parents* (gen) dan digabungkan bagi membentuk kromosom yang baru. Kromosom tersebut akan berubah jika berlaku mutasi (*mutation*) di mana ciri-ciri yang berlainan dengan *parents* akan terhasil. Tahap kecergasan kromosom akan diuji, jika didapati sesuai dengan persekitaran, maka peluang untuk terus hidup adalah cerah, tetapi jika sebaliknya, ia akan mati dan terkeluar dari generasi yang akan datang [AA92].

Jadual Waktu

Jadual waktu adalah masalah penjadualan yang sangat istimewa kerana sifatnya yang mempunyai kekangan yang tinggi. Teknik carian yang menggunakan kaedah heuristik (kaedah cuba jaya) telah banyak digunakan dengan menghasilkan kejayaan yang baik tetapi ianya tidak menjamin penyelesaian yang optimal [TB95].

Hasil kertas kerja ini menunjukkan, pendekatan AG dapat menyelesaikan seberapa banyak kekangan yang hampir membawa kepada penyelesaian yang optimal. Ini dapat dilakukan kerana AG akan membuat carian berdasarkan ruang yang terdapat dalam jadual waktu yang *feasible*.

2. Masalah Jadual Waktu Sekolah

Kajian kes ini dibuat di Sekolah Menengah Jitra, Kedah yang mempunyai kelas pada sesi pagi dan petang. Sebagai kajian awal dalam penyelidikan ini, tumpuan hanya diberikan kepada penjana jadual waktu bagi tingkatan 3 hingga 5 yang dianggap paling kritikal oleh guru yang bertanggungjawab dalam masalah ini.

Sebanyak 28 buah kelas dan seramai 60 orang guru mengajar dalam pelbagai subjek dalam tempoh 45 waktu seminggu. Hasil perbincangan yang diadakan dengan guru terbabit, adalah lebih baik jika maklumat awal bagi penjana ini diambil dari maklumat yang sedia ada. Maklumat Guru-Subjek-Kelas (GSK) adalah data manual yang dibuat berdasarkan kepada pengalaman, kekananan dan mengambil kira semua aspek keperluan sekolah seperti nisbah bilangan murid dan guru serta lain-lain faktor.

Maklumat GSK ini mempunyai kod yang unik bagi setiap GSK yang dikenalpasti. Contohnya, kod GSK 1 mempunyai maklumat kod guru 18 (Ali), mengajar dikelas kod 3 (3Agama3) dan mengajar subjek kod 2 (Matematik). Maklumat GSK ini mestilah dibuat berdasarkan jumlah waktu yang diambil oleh setiap guru yang mengajar subjek tersebut. Contohnya, bagi subjek Matematik di Tingkatan Tiga, ianya mempunyai 5 waktu seminggu dengan susunan 2-2-1. Oleh itu GSK akan dipecahkan kepada dua kod, contohnya kod GSK 2, untuk subjek matematik dua waktu dan kod GSK 3, untuk subjek matematik satu waktu. Tujuannya ialah untuk mengelakkan kesukaran menjana jadual yang membabitkan jumlah masa yang tidak sama di mana subjek yang mempunyai dua waktu akan diberi keutamaan yang tinggi dalam proses penjana. Selain dari itu maklumat kelas gabung dan kelas yang dijalankan secara serentak serta makmal juga perlu dimasukkan dalam GSK.

3. Populasi Awal

Penjana populasi awal adalah secara rawak, seperti yang dicadangkan oleh Colorni et al. [CDM91]. Disamping itu, untuk mendapatkan sebuah jadual waktu yang *feasible*, kriteria berikut mesti dipenuhi:

- setiap guru dan kelas mesti dijadualkan mengikut jumlah waktu yang telah ditetapkan.
- tidak boleh lebih dari seorang guru dalam sesebuah kelas.

- tidak boleh ada guru berada di dua buah kelas pada masa yang sama.
- tidak ada waktu yang tidak mempunyai guru dalam sesebuah kelas.
- Subjek yang diajar serentak di dalam kelas yang berlainan atau beberapa kelas digabungkan perlu disetkan mengikut waktu yang dikehendaki.

Semua maklumat GSK adalah diumpukkan secara rawak mengikut kelas kod 1 hinggalah kelas kod terakhir. Populasi awal ini mengandungi satu matrik R iaitu $m \times n$, di mana $r_{ij} \in \text{GSK}$. Setiap baris adalah mewakili guru dan lajur adalah mewakili slot dari 1 hingga 45. Setiap elemen r_{ij} (GSK) dalam matrik R adalah gen, dan nilai *allele* adalah bergantung kepada maklumat dalam GSK. Populasi awal atau matrik R ini akan digunakan oleh AG dalam mencari jadual waktu yang optimum.

Tujuan kriteria-kriteria tersebut digunakan ialah bagi menjamin setiap jadual yang dijana adalah *feasible*, iaitu mirip kepada jadual sebenar. Ini adalah kerana dalam sesebuah kelas, ia mempunyai jumlah waktu yang tetap iaitu 9 waktu sehari, dan setiap subjek pula perlu diumpukkan mengikut jumlah waktu yang telah ditetapkan. Oleh itu jadual waktu yang *feasible* akan memudahkan lagi penggunaan Operator Genetik kerana kesemua GSK telah lengkap berada dalam jadual. Penggunaan GSK ini akan mengurangkan *complexity* tugas penjadualan [Ab,91].

4. Analisa Masalah dan Perlaksanaan

Keberkesanan penggunaan AG adalah berdasarkan kepada teknik pengiraan kos objektif atau kos fungsi bagi matrik R yang ditentukan dengan tepat bagi menilai sesebuah jadual waktu. Fungsi ini adalah menjadi kayu pengukur sejauh mana kualiti jadual waktu yang dihasilkan. Pengiraan fungsi kos adalah berdasarkan beberapa jenis kekangan.

4.1 Kekangan Utama

Mengira jumlah *infeasibilities* (A) dalam matrik R :

- tidak boleh lebih dari seorang guru dalam sesebuah kelas.
- tidak boleh ada seorang guru berada di dua buah kelas pada masa yang sama.
- tidak ada waktu yang tidak mempunyai guru dalam sesebuah kelas.

4.2 Kekangan Rendah

- tidak lebih dari 6 waktu pengajaran sehari bagi setiap guru (pemberat: B1).
- tidak boleh guru yang sama pada waktu terakhir setiap hari (pemberat: B2).
- subjek tersebar secara uniform dalam masa seminggu (pemberat: B3).
- subjek yang mempunyai waktu dua masa (pemberat: B4).
- tidak kurang dari 2 waktu pengajaran sehari bagi setiap guru (pemberat: B5).
- masa rehat bagi selepas setiap pengajaran (pemberat: B6).

4.3 Kekangan Keperluan Guru

- guru yang tidak boleh mengajar di slot yang awal (pemberat: D1).
- guru yang tidak boleh mengajar di slot yang terakhir (pemberat: D2)

Fungsi objektif bagi jadual waktu matrik R adalah :

$$z(R) = P.A + Q1.B + Q2.D$$

Parameter bagi objektif fungsi ialah :

P= 1000	B1=2	B5=1
Q1= 100	B2=1	B6=5
Q2= 300	B3=1	D1=0.5
	B4=6	D2=2

5. Operator Genetik

5.1 Penyilangan (*Crossover*)

Setelah populasi awal dijana, fungsi kos atau *fitness function (f.f)* akan dikira mengikut persekitaran atau kekangan yang telah dikenalpasti. Larian dalam fungsi utama AG adalah bergantung kepada jumlah generasi yang ditetapkan oleh pengguna. Setiap larian akan menyebabkan individu dalam populasi lama dibuang dan individu dalam populasi baru akan menjadi generasi baru.

Algoritma:

```
pilih secara rawak dua individu (parents) dari populasi awal
for setiap individu dan dengan kebarangkalian  $P_c$  do
  begin
    kira l.f.f (local fitness function) setiap baris (guru) dalam kedua-dua
    individu.
    jana dua anak (child) berdasarkan dua individu :
      (anak yang pertama diambil dari individu yang mempunyai f.f
      yang terendah (parent yang terbaik) dan pilih baris yang
      mempunyai l.f.f yang terendah. Baris yang seterusnya diambil
      dari individu yang lemah, iaitu f.f yang tinggi).

      (anak yang kedua diambil dari baris yang tidak digunakan dari
      kedua-dua individu).
  end
```

Proses penyilangan ini adalah berbeza jika dibandingkan dengan teknik tradisional dalam AG yang dipopularkan oleh Goldberg [G089]. Beliau menggunakan satu atau dua titik penyilangan bagi kedua-dua individu. Dalam algoritma ini, kami sependapat dengan Coloni et al. [CDM90] bahawa, dengan memilih baris atau guru yang mempunyai l.f.f terendah, terbukti dapat menghasilkan individu yang lebih baik dan yang lebih penting tidak menyebabkan kerosakan yang teruk (tidak mewarisi ciri-ciri

parents) kepada individu baru yang dihasilkan. Teknik ini menghasilkan individu yang masih mewarisi sedikit sebanyak sifat-sifat yang dimiliki oleh *parents*.

5.2 Mutasi (*Mutation*)

Operator ini berfungsi dengan setiap baris (guru) dalam individu mempunyai kebarangkalian untuk berlaku proses mutasi. Operator ini akan mengambil satu gen (GSK) secara rawak dan silih (*swap*) dengan gen yang berdekatan dalam baris atau kod guru yang sama. Dengan kata lain, dua GSK yang berdekatan akan bertukar slot dalam jadual guru yang sama. Dalam ujian yang dilakukan, kami hanya menumpukan pemilihan gen yang mempunyai dua waktu dan memilih subjek yang tidak mempunyai kelas gabung atau serentak. Ini bagi mengelakkan lebih banyak kerosakkan pada individu baru yang dijana yang akan memberi kesan kepada fungsi kos.

5.3 Filtering (*Genetic Repair*)

Selepas operator genetik berfungsi, hasil ujian mendapati jadual waktu yang dihasilkan adalah tidak *feasible* seperti mana yang dikehendaki mengikut kriteria dalam populasi awal. Oleh itu satu fungsi yang dikenali sebagai *filtering* digunakan untuk menjana semula GSK yang hilang atau wujud lebih dari satu GSK dalam setiap baris individu baru. Ini boleh dilakukan dengan melihat pada lajur matrik, di mana setiap kelas mesti hanya wujud sekali dalam satu-satu lajur.

Jika wujud lebih dari satu kelas, contohnya lajur 28 atau slot 28, terdapat kelas kod 3 pada baris guru kod 17 tetapi slot 28 juga didapati mempunyai kelas kod 3 pada baris guru kod 65. Ini menunjukkan 2 GSK atau wujud 2 guru dalam satu kelas pada masa yang sama. Jika lajur tidak diwakili oleh salah satu kod kelas, ini menunjukkan terdapat GSK yang hilang dari jadual. Oleh itu tujuan utama filtering ialah untuk menghasilkan jadual waktu yang *feasible* dengan menjanakan semula GSK yang hilang atau wujud lebih dari satu pada satu-satu lajur matrik R .

6. Keputusan dan Kesimpulan

Perisian ini ditulis dengan menggunakan bahasa pengaturcaraan C dan menggunakan komputer peribadi 486 (keserasian komputer peribadi IBM). Ini adalah bertujuan supaya perisian ini dapat digunakan dikebanyakan sekolah yang mempunyai komputer jenis tersebut. Terdapat satu masalah yang timbul iaitu dari segi masa yang diambil untuk menghasilkan jadual yang benar-benar hampir kepada optimum akan memakan masa yang lama.

Ujian awal dibuat berdasarkan sampel data yang kecil membabitkan 22 orang guru dan 8 buah kelas dengan memasukkan kesemua kekangan yang diperlukan. Ujian telah dilakukan berdasarkan kepada kriteria-kriteria berikut.

- Probabiliti pnyilangan dan mutasi yang berlainan.
- Kos bagi *infeasibiliti* disetkan tinggi (1000) dan paling rendah (3). Ini adalah untuk menguji sejauhmana carian tempatan (local search) memberi kesan dalam menghasilkan jadual yang *feasible* dalam keadaan kos *infeasibiliti* yang tinggi dan rendah.

Hasil dari daripada ujian yang dijalankan amat memberansangkan, tetapi masih lagi memerlukan beberapa pengubahsuaian terutama dalam fungsi *genetic repair*. Ini adalah untuk mencari kaedah *filtering* yang dapat meminimakan atau tanpa memburukkan lagi kos kekangan rendah. Untuk ujian seterusnya, data penuh sekolah akan di uji.

Rujukan

I. Jurnal

[AA92] D. Abramson and J. Abela, "A Parallel Genetic Algorithm for Solving the School Timetabling Problem", 15 Australian Computer Science Conference, Hobart, Feb 1992.

[Ab91] D. Abramson, "Constructing School Timetables using Simulated Annealing: Sequential and Parallel Algorithms", Management Science, Vol. 37, No. 1, January 1991, p 98-113.

[CDM90] A. Colomi, M. Dorigo and V. Maniezzo, "Genetic Algorithms: A New Approach to the Timetable Problem", Lecture Notes in Computer Science - NATO ASI Series, Vol. F 82, Combinatorial Optimization, (Ed. M. Akgul and others), Springer-Verlag, p 235-239.

[CDM91] A. Colomi, M. Dorigo and V. Maniezzo, "Genetic Algorithms and HighlyConstrained Problems: The Timetable Case", Proceeding of the First International Workshop on Parallel Problem Solving from Nature, Dortmund, Germany, Lecture Notes in Computer Science 496, Springer-Verlag, p 55-59.

[CDM96] A. Colomi, M. Dorigo and V. Maniezzo, "Metaheuristics for High-School Timetabling", submitted to Computational Optimization and Application Journal.

[CK95] T.B. Cooper and J.H. Kingston, "A Program for Constructing High School Timetables", ICPTAT '95, p 132-143.

[EK95] W. Erben and J. Keppler, "A Genetic Algorithm solving a Weekly Course-Timetabling Problem". ICPTAT '95, p 21-32.

[TB95] Ahmad Tajudin Khader and J.T. Buchanan, "School Timetabling: A Knowledge-based Approach". ICPTAT '95, p 99-111.

[We85a] D. de Werra, "An Introduction to Timetabling", European Journal of Operational Research 19, 1985, p 151-162.

II. Buku

[Go89] D.E. Goldberg. "Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning", Addison-Wesley.

[Ho75] J.H. Holland. "Adaptation in natural and artificial systems", The University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan.