

А. Б. Сидорин, Л. В. Ликучева, А. М. Дворянкин

**МЕТОДЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ
ЧАСТЬ 2. ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ**

Волгоградский государственный технический университет
sidorinanton@mail.ru, LikuchevaLarisa@mail.ru, dvam@vstu.ru

Данная работа посвящена методам составления расписания занятий в учебных заведениях. В работе описаны эвристические методы составления расписания: метод, основанный на ограничениях; метод, основанный на нейронных сетях и т. д., а также, их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: расписание учебных занятий, методы составления расписания, эвристика, нейронные сети, генетический алгоритм.

A. B. Sidorin, L. V. Likucheva, A. M. Dvoryankin

**METHODS OF AUTOMATION OF DRAWING UP OF THE SCHEDULE OF EMPLOYMENT
PART 2. HEURISTIC METHODS OF OPTIMIZATION**

The given work is devoted methods of drawing up of the schedule of employment in educational institutions. In work heuristic methods of drawing up of the schedule are described: a method based on restrictions; a method based on neural networks etc., and also, their merits and demerits.

Key words: the schedule of studies, methods of drawing up of the schedule, heuristics, neural networks, genetic algorithm.

В основе эвристических методов, как правило, лежит использование различного рода эвристик или эвристических алгоритмов, при раз-

работке которых используются интуитивные предположения, не подкрепленные соответствующим математическим обоснованием. Фор-

мирование расписания занятий с помощью некоторых правил (эвристик) позволяет несколько ускорить поиск «наилучшего» расписания, но использование таких алгоритмов в большинстве случаев гарантирует лишь нахождение приближенного решения (достижение локального экстремума). В этом случае возникает проблема оценки близости найденного локального экстремума к глобальному экстремуму.

В ряде работ эта проблема решается путем сравнения расписания, полученного эвристическим методом и расписания, полученного методом перебора для близкой задачи малой размерности. Несмотря на указанный недостаток, эвристические алгоритмы продолжают оставаться достаточно эффективным инструментом поиска «лучшего» в некотором смысле решения в тех случаях, когда нахождение наилучшего решения крайне затруднено или невозможно.

Также для решения задачи составления расписания используют методы, основанные на ограничениях [12, 13].

Задача составления расписания сводится к задаче удовлетворения ограничений. Процесс составления расписания представляется как процесс распределения времени и места между занятиями таким образом, чтобы выполнялось множество ограничений. Обычно для этого задается множество правил.

Данный метод предполагает «жесткие» (hard) и «мягкие» (soft) ограничения. Выполнение «жестких» ограничений обязательно, а «мягких» желательно. На каждом шаге расставляется одна группа или курс. Если на каком-то шаге невозможно назначить время или аудиторию таким образом, чтобы не нарушились ограничения, то ослабляется одно из «мягких» ограничений. И так повторяется до тех пор, пока не станет возможным назначить время или аудиторию без нарушений оставшихся ограничений.

Недостатком этого метода является то, что не всегда можно расставить группу или курс и поэтому это приходится делать вручную.

Основным плюсом данного метода является сокращение пространства поиска.

Другой подход к решению сложных комбинаторных задач целочисленного программирования, к классу которых относится и задача составления расписания учебных занятий, описывается в работе [1, 5, 6, 7, 8, 9]. В рамках данного подхода решение оптимизационной задачи осуществляется с помощью нейронных сетей

(НС), где каждой целочисленной переменной x_{ij} решаемой задачи ставится в соответствие выходной сигнал ij -го нейрона V_{ij} , стоящего в i -й строке и j -м столбце матрицы, т. е. строится отображение. Далее с учетом полученного отображения интерпретируются ограничения и целевая функция и строится энергетическая функция НС.

На следующем этапе определяются параметры НС: матрица синаптических связей и вектор внешних смещений. В конечном итоге, поиск решения задачи с помощью данного метода сводится к реализации динамического процесса перехода НС из некоторого начального состояния в некоторое конечное состояние, которое и принимается за решение задачи.

Недостатком данного метода является сложность выбора начального состояния НС. Поэтому при наличии достаточного временного ресурса на поиск решения следует реализовывать многократный переходный процесс сети и в качестве решения принимать наилучший из результатов.

Одним из распространенных эвристических методов, который применяется для составления расписания занятий является метод имитации отжига [10, 11].

Алгоритм имитации отжига (англ. *Simulated annealing*) основывается на имитации физического процесса. Этот процесс происходит при кристаллизации вещества из жидкого состояния в твердое. Предполагается, что существуют допустимые переходы отдельных атомов из одной ячейки в другую, даже когда атомы уже выстроились в кристаллическую решетку. Этот процесс протекает при постепенно понижающейся температуре. Атом переходит из одной ячейки в другую с некоторой вероятностью, причем вероятность уменьшается с понижением температуры. Устойчивая кристаллическая решетка соответствует минимуму энергии атомов, поэтому атом либо переходит в состояние с меньшим уровнем энергии, либо остается на месте.

Данный алгоритм для задачи составления расписания можно представить следующим образом:

1. На первой итерации алгоритм генерирует некоторое начальное корректное решение Z^0 (оно считается текущим $Z = Z^0$) и для этого решения задается начальное высокое значение контрольного параметра *температура* T^0 .

2. Далее происходит мутация расписания: может изменяться время проведения занятия или аудитория или перестановка занятий в расписании. В итоге генерируется новое корректное расписание Z' .

3. Вычисляется целевая функция $\Delta f = f(Z') - f(Z)$. Если новое решение лучше предыдущего ($\Delta f \leq 0$), то оно его заменяет. Если же оно хуже ($\Delta f > 0$), то вероятность того, что оно заменит предыдущее определяется формулой $p = e^{-\Delta f/T}$.

4. Происходит изменение текущей температуры. Температура, а вместе с ней и вероятность замены старого решения новым уменьшается с каждой итерацией (или через несколько итераций).

5. Пока не выполнен критерий останова переход к пункту 2. В качестве критерия останова можно использовать заданное число итераций без улучшения значения целевой функции.

Такой метод эффективен для составления небольших расписаний.

Интенсивно развиваются в последнее время методы решения большеразмерных задач целочисленного программирования, объединенных термином «генетические алгоритмы» [4, 11, 14]. Основные отличия и преимущества генетических алгоритмов в сравнении с классическими методами заключаются в следующем:

- генетический алгоритм (ГА) работает с кодами, в которых представлен набор параметров, напрямую зависящих от аргументов целевой функции;

- в процессе поиска ГА использует несколько точек поискового пространства (процесс распараллеливается), а не переходит от точки к точке, как это происходит в традиционных методах, т. е. ГА оперирует со всей совокупностью допустимых решений;

- ГА в процессе работы не использует дополнительной информации, что повышает скорость его работы;

- ГА использует как вероятностные правила для порождения новых точек поиска, так и детерминированные правила для перехода от одних точек к другим и др.

Генетический алгоритм состоит из следующих компонент:

- Хромосома. В качестве хромосомы выступает решение рассматриваемой задачи. Хромосома состоит из совокупности генов – параметров.

- Начальная популяция хромосом.

- Набор операторов для генерации нового поколения. Генетическими операторами являются оператор кроссовера (*crossover operator*) и оператор мутации (*mutation operator*). За счет кроссовера производится обмен генами между особями, то есть процесс скрещивания особей. Пусть имеются две родительские особи с хромосомами $X = \{xi, i = 1, N\}$ и $Y = \{yi, i = 1, N\}$. Случайным образом определяется точка разрыва (*crossover point*), внутри хромосомы, в которой обе хромосомы делятся на две части и обмениваются ими.

- Оператор мутации инвертирует случайно выбранный бит (ген) в хромосоме.

- Целевая функция для оценки приспособленности (*fitness*) решения.

ГА – это итерационный процесс, который продолжается до тех пор, пока не выполняются критерий останова (например, заданное число поколений). На каждом поколении ГА реализуется отбор (селекция), кроссовер и мутация.

Данный алгоритм можно представить следующей схемой:

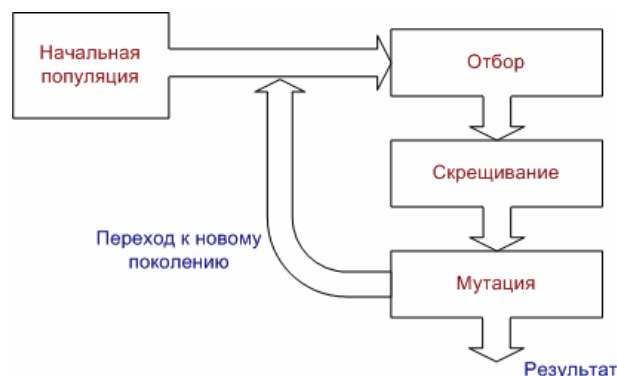


Рис. 1. Схема работы классического генетического алгоритма

Генетические алгоритмы имеют недостатки, которые можно представить в виде трех групп: к первой группе относится недостаточное разнообразие хромосом в популяции, которое может привести к преждевременному окончанию работы алгоритма и, как следствие, к получению «некорректного» расписания. Далее, завершение работы генетического алгоритма происходит по достижению заданного (не всегда обоснованного) числа итераций, что в ряде случаев препятствует поиску лучшего расписания.

Вторая группа недостатков вызвана слабым учетом специфики задачи составления распи-

сания учебных занятий при организации ее решения с помощью генетических алгоритмов. Так, в известных генетических алгоритмах составления расписания занятий не учитывается наличие связей между объектами расписания и большое многообразие описаний самих объектов расписания.

Третья группа вызвана недостаточной систематизацией исходных данных как на этапе представления объектов генетической оптимизации, так и при организации генетических операций поиска [2, 3]. Так, расписание учебных занятий образовательных систем массового обучения является сложным информационным объектом, в котором сочетаются свойства учебных групп, дисциплин, преподавателей, аудиторий и т. д. Соответственно, хромосомы, являющиеся информационными моделями расписания, также являются сложными объектами, для которых целесообразно применение агрегативных логических моделей, основанных на рассмотрении хромосомы как многоуровневой системы, с последующей ее декомпозицией.

В данной статье представлены основные методы автоматизации и оптимизации задачи составления расписания занятий. Попытки автоматизации составления расписания занятий классическими методами предпринимались неоднократно, но удовлетворительных результатов не принесли (программные решения «умерли» при попытках внедрения). Так как оптимизация расписания по кажущимся априорно верным математическим выраженным показателями (критериям) оптимальности оказалась малоэффективной (не оптимальной). В настоящее время при составлении оптимального учебного расписания применяются логические правила (эвристики), позволяющие несколько ускорить поиск и качество расписания. Эвристики составляются при участии опытного диспетчера, который учитывает индивидуальные особенности, как преподавателей, так и специфики обучения в ВУЗе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Танаев, В. С.* Теория расписаний [Текст] / В. С. Танаев – М.: Знание, 1988. – 32 с.
2. *Костенко, В. А.* Локально-оптимальные алгоритмы построения расписаний, основанные на использовании сетей Хопфилда [Текст] / В. А. Костенко, А. В. Винокуров // Программирование, 2003, № 4, С. 27–40.
3. *Маслов, М. Г.* Эвристический алгоритм решения задачи составления расписания учебных занятий в вузе [Текст] / М. Г. Маслов // Математические методы в технике и технологиях: Сб. трудов XV Международной научной конференции. В 10-и т. 2 – 4 июня 2002 г. – Тамбов, 2002. – Т. 9. – С. 86–88.
4. *Кабальнов, Ю. С.* Композиционный генетический алгоритм составления расписания учебных занятий [Текст] / Ю. С. Кабальнов, Л. И. Шехтман, Г. Ф. Низамова, Н. А. Земченкова, 2006.
5. *Metaheuristic and Multiobjective Approaches for Space Allocation [Text] / J. D. Landa Silva // PhD Thesis, School of Computer Science and Information Technology, University of Nottingham, 2003.*
6. *Hyper-heuristics: Learning to Combine Simple Heuristics in Bin-packing Problems [Text] / P. Ross, S. Schulenburg, J. G. Marin-Blazquez, E. Hart // Proceedings of the 2002 Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2002) – 2002. – Morgan Kaufmann, pp. 942–948.*
7. *Cooperative Strategies for Solving Bicriteria Sparse Multiple Knapsack Problem [Text] / F. S. Salman, J. R. Kalagnaman, S. Murthy, A. Davenport // Journal of Heuristics – 2002 – Vol. 8, pp. 215–239.*
8. *Development and Application of Hyperheuristics to Personnel Scheduling [Text] / E. Soubeiga // PhD Thesis, School of Computer Science and Information Technology, University of Nottingham, June 2003.*
9. *The Micro Genetic Algorithm 2: Towards Online Adaptation in Evolutionary Multiobjective Optimization [Text] / G. Toscano Pulido, C.A. Coello Coello // Proceedings of the 2nd International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization (EMO 2003), Lecture Notes in Computer Science. – 2003. – Vol. 2632, Springer, pp. 252–266.*
10. *Variants of simulated annealing for the examination timetabling problem. Annals of Operational Research [Text] / J. Thompson, K. Dowsland // 63, 1996.*
11. *Development of University Timetabling System By Using Evolution Strategies and Simulated Annealing [Text] / Endi Wu // 2001.*
12. *Solving the timetabling problem using constraint satisfaction programming [Text] / Lixi Zhang // 2005.*
13. *Interactive Timetabling [Text] / Tomas Müller, Roman Bartak*
14. *Solving Congress Timetabling with Genetic Algorithms and Adaptive Penalty Weights [Text] / Daniel Angel Huerta-Amante, Hugo Terashima-Marin.*