
ИНФОРМАТИКА

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

УПРАВЛЕНИЕ

*НЕСТЕРЕНКОВ С. Н., кандидат технических наук, начальник
отдела информационных технологий центра информатизации
и инновационных разработок Белорусского государственного
университета информатики и радиозлектроники*

*ЛАПИЦКАЯ Н. В., кандидат технических наук, доцент, завкафедрой
программного обеспечения информационных технологий
Белорусского государственного университета информатики
и радиозлектроники*

*ШАТИЛОВА О. О., ассистент кафедры вычислительных методов
и программирования Белорусского государственного университета
информатики и радиозлектроники*

Сетевая модель и алгоритм составления расписания учебных занятий на основе данных прошлых периодов

В статье предложена сетевая модель и алгоритм поиска базовой части учебного расписания на основе данных прошлых периодов, базирующаяся на теории графов. В основу модели положены принципы поиска изоморфизма сетей. Объекты модели описаны в терминах реляционной алгебры. Для сетей, описывающих расписание занятий, удалось уменьшить сложность поиска изоморфных частей за счет применения разработанного алгоритма.

The article considers a network model and an algorithm for searching the basic part of the training schedule based on past historical data, based on graph theory, are proposed. The model is based on the principles of the search for network isomorphism. The objects of the model are described in terms of relational algebra. For networks describing the schedule of lessons, it was possible to reduce the complexity of searching for isomorphic parts due to the application of the developed algorithm.

Введение. Задача составления расписания учебных занятий (далее – УЗ) относится к исследованию операций и пересекается с теорией расписаний. В общем случае задача заключается в принятии решений по упорядочиванию каких-либо событий во времени и некотором пространстве, учитывая некоторую целевую функцию оптимизации и различного рода ограничения [1].

Проблеме составления расписания УЗ посвящено достаточно большое количество работ как отечественных, так и зарубежных авторов, например, Е. Р. Гафарова, И. Бурке и других. В современных условиях повсеместной глобальной автоматизации образо-

вательного процесса (далее – ОП) жизненно важно применение научных подходов к данному процессу. Для этого необходимо разрабатывать и применять модели и методы, позволяющие в значительной степени формализовать процедуру подготовки учебного расписания в учреждениях высшего образования (далее – УВО).

Цель статьи – разработка модели и алгоритма сокращения пространства поиска возможных вариантов при составлении расписания учебных занятий за счет выделения базовой части на основе данных прошлого периода.

Основная часть. В наиболее общей форме задачу составления расписания УЗ при ограниченных ресурсах предлагается сформулировать следующим образом:

Пусть даны следующие множества объектов:

1) преподаватель описывается тернарным кортежем:

$$T = \{t_i\}, t_i = \langle t_i^{fio}, t_i^{rank}, t_i^{degree} \rangle, \quad (1)$$

где t_i^{fio} – имя, фамилия, отчество;

t_i^{rank} – ученое звание;

t_i^{degree} – ученая степень;

2) группа описывается тернарным кортежем:

$$G = \{g_i\}, g_i = \langle g_i^{course}, g_i^{spec}, g_i^{number} \rangle, \quad (2)$$

где g_i^{course} – курс, $g_i^{course} = \overline{1, N_c}$;

g_i^{spec} – специальность, $g_i^{spec} = \overline{1, N_s}$;

g_i^{number} – номер группы, $g_i^{number} = \overline{1, N_n}$.

В данном случае N_c – количество курсов, N_s – количество специальностей, N_n – количество групп;

3) дисциплина представлена унарным кортежем:

$$S = \{s_i\}, s_i = \langle s_i^{name} \rangle, \quad (3)$$

где s_i^{name} – название дисциплины;

4) тип занятий представлен унарным кортежем:

$$L = \{l_i\}, l_i = \langle l_i^{name} \rangle, \quad (4)$$

где l_i^{name} – название типа занятий.

5) время проведения занятий представлено тернарным кортежем:

$$P = \{p_i\}, p_i = \langle p_i^{name}, p_i^{start}, p_i^{end} \rangle, \quad (5)$$

где p_i^{name} – интервал проведения занятия;

p_i^{start} – время начала, $p_i^{start} = \overline{1, N_{st}}$;

p_i^{end} – время окончания, $p_i^{end} = \overline{1, N_e}$.

В данном случае N_{st} – количество возможных времен начала занятия, N_e – количество возможных времен конца занятия;

6) день проведения занятий представлен бинарным кортежем:

$$D = \{d_i\}, d_i = \langle d_i^{name}, d_i^{number} \rangle, \quad (6)$$

где d_i^{name} – день проведения занятий;

d_i^{number} – номер дня недели, $d_i^{number} = \overline{1, 7}$;

7) аудитория представлена тернарным кортежем:

$$C = \{c_i\}, c_i = \langle c_i^{name}, c_i^{type}, c_i^{build} \rangle. \quad (7)$$

где c_i^{name} – название аудитории, $c_i^{name} = \overline{1, N_n}$;

$c_i^{type} = \overline{1, N_{type}}$;

c_i^{build} – корпус, в котором находится аудитория, $c_i^{build} = \overline{1, N_{build}}$.

В данном случае N_n – количество возможных аудиторий, N_{type} – количество возможных типов аудиторий, N_b – количество корпусов.

Также необходимо выделить такой агрегированный объект, как «учебное занятие», включающий в себя другие объекты.

Учебное занятие a_i представляет собой семикомпонентный кортеж, а множество A – учебное расписание:

$$A = \{a_i\}, a_i = \langle a_i^t, a_i^g, a_i^s, a_i^l, a_i^d, a_i^p, a_i^c \rangle, \quad (8)$$

где a_i^t – преподаватель, ведущий занятие, $a_i^t = \overline{1, N_t}$;

a_i^g – группа, в которой проводится занятие, $a_i^g = \overline{1, N_g}$;

a_i^s – учебная дисциплина, по которой проводится занятие, $a_i^s = \overline{1, N_s}$;

a_i^l – тип проводимого занятия, $a_i^l = \overline{1, N_l}$;

a_i^d – день проведения занятия, $a_i^d = \overline{1, N_d}$;

a_i^p – время проведения занятия, $a_i^p = \overline{1, N_p}$;

a_i^c – аудитория, в которой проводятся занятия, $a_i^c = \overline{1, N_c}$;

8) библиотека расписаний прошлых лет представлена следующим образом:

$$A^* = \{A_i\}; \quad (9)$$

9) «Сведения к расписанию» представлены следующим образом:

$$W = \{w_i\}, w_i = \langle w_i^t, w_i^g, w_i^s, w_i^l \rangle, \quad (10)$$

где w_i^t – преподаватель, ведущий занятие, $w_i^t = \overline{1, N_t}$;

w_i^g – группа, в которой проводится занятие, $w_i^g = \overline{1, N_g}$;

w_i^s – учебная дисциплина, по которой проводится занятие, $w_i^s = \overline{1, N_s}$;

w_i^l – тип проводимого занятия, $w_i^l = \overline{1, N_l}$.

В данном случае N_t – количество возможных преподавателей, N_g – количество возможных учебных групп, N_s – количество возможных учебных дисциплин, N_l – количество возможных типов проводимых учебных занятий.

В классической интерпретации модель построения расписания УЗ имеет так называемые «жесткие» и «мягкие» ограничения [2]. В предлагаемой модели данные типы ограничений учтены и дополнены. Модель имеет следующие типы ограничений: типовые ограничения, пожелания, ограничения конкретного УВО. Таким образом, решение задачи сводится к нахождению (8) на основе (1)–(7), (9)–(10) с учетом имеющихся в УВО ограничений. Ввиду трудоемкости решения поставленной задачи путем прямого

перебора возможных вариантов решений процесс ее решения предлагается разбить на два этапа. Первый – это нахождение аналогий в составленных ранее расписаниях. Данные аналогии обязательно будут присутствовать, так как учебные планы (далее – УП), по которым происходит обучение студентов в УВО, из года в год изменяются слабо. Например, в БГУИР для специальностей, по которым проходят обучение на факультете компьютерных систем и сетей по дневной форме обучения, расхождения в УП для 2014 и 2015 гг. набора незначительные (табл. 1).

Таблица 1

Процент расхождения в дисциплинах УП

Специальность	Сравниваемые года набора	% аналогий между годами	% аналогий на специальности	% аналогий на факультете
ВМСиС	2015/2014	100%	69%	67%
ВМСиС	2014/2013	90%		
ВМСиС	2013/2012	6%		
ВМСиС	2012/2011	90%		
ВМСиС	2011/2010	100%		
ИиТП	2015/2014	100%	63%	
ИиТП	2014/2013	60%		
ИиТП	2013/2012	30%		
ИиТП	2012/2011	66%		
ПОИТ	2015/2014	100%	61%	
ПОИТ	2014/2013	70%		
ПОИТ	2013/2012	5%		
ПОИТ	2012/2011	77%		
ПОИТ	2011/2010	100%		
ЭВС	2015/2014	100%	74%	
ЭВС	2014/2013	90%		
ЭВС	2013/2012	7%		
ЭВС	2012/2011	88%		
ЭВС	2011/2010	100%		

Источник: собственная разработка

Основные различия наблюдаются при смене образовательных стандартов для планов 2013 г. набора. В этом случае поиск аналогий в ранее составленных расписаниях является нецелесообразным [3].

Второй этап – анализ и дополнение базового расписания до вида, удовлетворяющего текущим потребностям УВО [4].

Предлагаемая модель описывает первый этап, то есть процесс нахождения аналогий в составленных ранее расписаниях.

При решении поставленной задачи на первом этапе для нахождения аналогий в составленных ранее расписаниях предлагается использовать теорию графов, так как процесс поиска аналогий можно представить как процедуру поиска изоморфизма сетей. Определим сеть как граф, в котором узлы имеют некоторые количественные характеристики.

Во время подготовки учебного расписания в диспетчерскую ОП УВО от каждой из кафедр поступают исходные данные – W , которые предлагается представить в виде сети

[3]. Под сетью в данном случае будем понимать совокупность двух множеств вершин V и ребер $E \subset V \times V$. Множество вершин и множество ребер сети G обозначим как $V(G)$, $E(G)$ соответственно. Построим сеть $G_1(V_1, E_1)$ на основе одного из имеющихся расписаний предыдущих лет A , находящихся в библиотеке расписаний A^* , где V_1 – множество вершин, а в качестве ребер E_1 – ограничения, накладываемые на одновременное проведение занятий. При построении сети G_1 отбросим такую важную информацию, как время проведения занятий и место проведения (аудиторию). Подобную сеть $G_2(V_2, E_2)$ можно получить на основании W , предъявляя к нему те же требования, что и к G_1 . Таким образом, при такой формулировке задача сводится к поиску изоморфизма подсетей. Максимальным общим подграфом (*Maximum Common Edge Subgraph (MCES)*) двух графов $G_1(V_1, E_1)$ и $G_2(V_2, E_2)$ называется такой граф $G_{1,2}$, который является одновременно изоморфным подграфом как для G_1 , так и для G_2 , содержит при этом максимально возможное количество ребер.

Для решения задачи предлагается использовать следующий подход. Допустим, если известен перечень занятий в W , то тогда можно значительно упростить задачу нахождения изоморфных инвариантов. Для этого, как в G_1 , так и в G_2 выбираются идентичные занятия, присутствующие в обеих сетях, они и будут составлять перечень вершин. Далее производим упорядочивание этого списка по дисциплине, типу занятий и преподавателю. Упорядочив обе сети, можно построить матрицы смежности и найти их пересечение. Вершины, вошедшие в данное пересечение, принимаются за основу, то есть базовое расписание УЗ готово. Далее, согласно второму этапу, требуется дополнить расписание до полного вида.

Приведем основную последовательность шагов по подготовке учебного расписания:

1. Заполнение первичных справочников перечнями учебных дисциплин, должностей, степеней и званий преподавателей, сформированными УП УВО, и др;
2. Ввод перечня учебных занятий, проводившихся в прошлые периоды времени;
3. Ввод типовых ограничений (нормы времени, количество часов на тарифную ставку, принятое в УВО, требования СанПиН и т. д.). Ввод персональных предпочтений, пожеланий и ограничений для каждого из преподавателей;
4. Применение операции «проекция» для исходных данных. На данном этапе происходит отсеивание информации, такой, как номер аудитории или время проведения занятий, необходимой для получения данных в вершинах сети G_1 ;
5. Упорядочивание списка вершин сети G_1 ;
6. Представление данных, полученных на шаге 4, в виде сети G_1 ;
7. Построение матрицы смежности для сети G_1 ;
8. Представление информации о том, какую дисциплину, тип занятий, в какой группе каждый из преподавателей преподает в текущем учебном году в виде сети G_2 ;
9. Поиск изоморфизма сетей G_1 и G_2 ;
10. Получение базового варианта расписания на основании данных из прошлых периодов.

Проведя экспериментальные исследования на данных для первой группы одной специальности одного факультета только разных годов набора (2010 и 2012 гг.) для осеннего семестра, получили следующие результаты: из 14 видов занятий, проводимых в 2010 г., и 13, проводимых в 2012 г., 13 можно принять без изменений; при этом даже преподаватели изменились лишь в 38,5% случаев. Проведя такой же анализ для групп всего потока 2010 и 2012 гг. набора, получили, что 17,85% всех занятий можно принять без изменений.

Дать оценку сокращения объема доработки можно следующим образом:

пусть A – объем аудиторного фонда, T – количество преподавателей, G – количество учебных групп, P – количество временных интервалов для проведения занятий, D – ко-

личество дней, когда проводятся занятия, K – количество занятий, которые необходимо провести. Тогда максимальное количество занятий будет равно

$$V_{\max} = \min(A \cdot P \cdot D; T \cdot P \cdot D; G \cdot P \cdot D) \quad (11)$$

в силу того, что нельзя задействовать преподавателя, группу или аудиторию несколько раз. При этом количество вариантов расстановки занятий равно

$$N = V_{\max} \cdot K. \quad (12)$$

При этом варьируемая часть V_{var} расписания рассчитывается следующим образом:

$$V_{\text{var}} = V_{\max} \cdot K - \Delta, \quad (13)$$

где Δ – количество найденных аналогий.

Для сетей, описывающих расписание занятий в этой задаче, удалось уменьшить сложность за счет описанных выше топологических ограничений на сети, а также реализованных в алгоритме методов, позволяющих значительно сократить пространство поиска.

При подготовке учебного расписания УВО ЛПР может воспользоваться несколькими возможностями: дополнение с помощью модифицированного генетического алгоритма, ранее полученного с использованием модели, реализующей поиск изоморфизма сетей для составления расписания; составление расписания «с нуля» с использованием возможностей модифицированного генетического алгоритма.

В обоих случаях имеется возможность внесения корректировок в составленное расписание в ручном режиме. При первом подходе объем варьируемой части расписания можно рассчитать исходя из того, что расписание занятий представляет собой матрицу (табл. 2).

Таблица 2

Матричное представление расписания

Преподаватель	Группа	Дисциплина	Тип	День	Время	Ауд.
Иванов И.И.	Группа 1	Дисциплина 1	Лекция	Понедельник	8.00-9.35	Ауд 1
Петров П.П.	Группа 1	Дисциплина 2	Лекция	Понедельник	9.45-11.20	Ауд 1
Петров П.П.	Группа 1	Дисциплина 2	Лекция	Понедельник	11.40-13.25	Ауд 3
Петров П.П.	Группа 2	Дисциплина 1	Лекция			
Иванов И.И.	Группа 2	Дисциплина 1	Лекция			

Источник: собственная разработка

Пусть выделенная область представляет собой найденные аналогии, таким образом, задача сводится к внесению недостающей информации (день, время, аудитория). После проведения экспериментальных исследований и сравнения вариантов расписаний УЗ для весеннего семестра разных годов были получены данные, приведенные в табл. 3.

Как видно из табл. 3, наибольшее пересечение для факультета «В» наблюдается с ним самим. Также достаточно большой процент пересечений виден с факультетами «РЭ» и «ТК», что объясняется наличием на данных факультетах родственных с «В» специальностей. Это свидетельствует о том, что в качестве базового расписания для факультета «В» логично принять расписание факультета «В» предыдущего года. Приняв, что на факультете «В» необходимо провести 1775 занятий, которые могут проводиться

шесть дней в неделю, восемь пар, и при этом задействовано 59 аудиторий, 71 преподаватель, 12 групп в соответствии с формулами (11)–(13), получаем следующую оценку:

$$V_{\max} = 16 \text{ недель} \cdot 6 \text{ дней} \cdot 8 \text{ временных интервалов} \cdot 12 \text{ аудиторий} = 9216 \text{ занятий};$$

$$N = 9216 \cdot 1775 = 16\,358\,400 \text{ вариантов размещения занятий};$$

$$V_{\text{вар}} = 9216 \cdot (1775 - (1775 \cdot 0,44)) = 9216 \cdot 994 = 9\,160\,704 \text{ объем варьируемой части.}$$

Таким образом, объем варьируемой части для текущих данных удалось уменьшить на 7 197 696 вариантов.

Таблица 3

Процент найденных аналогий на одном факультете

Факультет/семестр/учебный год	Число занятий	Совпадения
В Весенний семестр 2015/2016 учебного года	1775	783(44%)
В Весенний семестр 2014/2015 учебного года	2332	
В Весенний семестр 2015/2016 учебного года	1775	51(3%)
ИЭ Весенний семестр 2014/2015 учебного года	8082	
В Весенний семестр 2015/2016 учебного года	1775	81(5%)
ИТиУ Весенний семестр 2014/2015 учебного года	9754	
В Весенний семестр 2015/2016 учебного года	1775	209(12%)
КП Весенний семестр 2014/2015 учебного года	9890	
В Весенний семестр 2015/2016 учебного года	1775	210(12%)
КСиС Весенний семестр 2014/2015 учебного года	11669	
В Весенний семестр 2015/2016 учебного года	1775	603(34%)
РЭ Весенний семестр 2014/2015 учебного года	9890	
В Весенний семестр 2015/2016 учебного года	1775	600(34%)
ТК Весенний семестр 2014/2015 учебного года	9031	

Источник: собственная разработка

Проанализировав все факультеты, получили данные, приведенные в табл. 4. Таким образом, процент аналогий с составленными ранее расписаниями в конкретно взятом УВО в зависимости от факультета составляет 36–44%.

Таблица 4

Процент найденных аналогий на факультетах

Факультет	Процент аналогий
В	44%
ИЭ	42%
ИТиУ	42%
КП	39%
КСиС	44%
РЭ	36%
ТК	43%

Источник: собственная разработка

Заключение. На основании вышеизложенного можно сделать вывод о разработке новой сетевой модели составления расписания УЗ и алгоритме поиска общей базовой части с данными из прошлых периодов за счет выявления изоморфных фрагментов се-

тей, что позволяет уменьшить объем доработки варьируемой части составляемого под конкретные исходные данные расписания в зависимости от факультета на 36–44%.

1. Гафаров, Е. Р. Задачи теории расписаний. Алгоритмы и применение / Е. Р. Гафаров // Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук : тр. 49 науч. конф. МФТИ, Москва, 24–25 нояб. 2006 г. / Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т), Рос. акад. наук, Рос. фонд фундам. исслед. – М., 2006. – Ч. 7 : Управление и прикладная математика. – С. 82–83.

2. Automated university timetabling: the state of the art / E. Burke [et al.] // The Computer J. – 1997. – Vol. 40, iss. 9. – P. 565–571.

3. Нестеренков, С. Н. Модель построения расписания на основе прецедентов / С. Н. Нестеренков // Информатизация образования. – 2015. – № 1. – С. 61–73.

4. Нестеренков, С. Н. Адаптивный поиск вариантов расписания с использованием модифицированного генетического алгоритма / С. Н. Нестеренков // Вести Института современных знаний. – 2015. – № 2. – С. 67–74.

Статья поступила в редакцию 07.09.2018