

УДК (519.854.2)

ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫХ РАСПИСАНИЙ В ВУЗЕ

Е.Р. Гафаров*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН*

Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65

E-mail: axel73@mail.ru**Ключевые слова:** time tabling, расписание, алгоритм, программный продукт

Аннотация: Рассматривается задача назначения ограниченных ресурсов и на операции (работы) и составления расписания выполнения операций. Для частного случая задачи, в котором необходимо составить расписание учебных занятий в вузе, представлена математическая модель и программный продукт для ее решения, планируемый к выпуску совместно с фирмой 1С.

1. Введение

Рассматриваемая задача формулируется следующим образом. Даны множества ресурсов R_1, R_2, \dots, R_k и множество операций J_1, J_2, \dots, J_n , которые нужно выполнить. Для каждой операции задан набор ресурсов, необходимых для ее выполнения, причем ресурсы могут быть однозначно определены (фиксированные ресурсы), или может быть задано подмножество ресурсов, из которых нужно выбрать фиксированное их количество (свободные ресурсы). Каждый ресурс может быть назначен только на одну операцию в каждый момент времени.

Требуется для каждой операции выбрать «свободные ресурсы» и определить момент ее выполнения. Полученное расписание должно быть или допустимым (не нарушать ограничения на ресурсы) или оптимальным, т.е. допустимым расписанием, при котором минимизирована или максимизирована некоторая целевая функция.

В качестве примера можно привести следующую задачу составления расписания занятий в вузе, где R_1 = группы студентов, R_2 = преподаватели, R_3 = помещения, операции = занятия. Ресурсы из R_1 и R_2 являются фиксированными, R_3 – свободными. Имеются различные ограничения на время, когда каждый конкретный ресурс доступен (например, преподаватель Иванов И.И. может вести занятия только во Вт. и в Чт.). Требуется составить допустимое расписание учебных занятий, или оптимальное, при котором минимизируется, например, количество окон или количество используемых помещений.

Другим примером является задача составления графиков вахтования персонала на сырьевых предприятиях.

Данная задача относится к т.н. «задачам составления временных таблиц (Time Tabling)». Задача является NP-трудной в сильном смысле. В библиотеке ScienceDirect представлено более 1600 научных статей по данной тематике.

Рассматриваемые задачи, возникающие в практике Российских учреждений и организаций, специфичны. Их постановка сильно отличается от постановки схожих задач, возникающих в других странах. Например, в европейских странах ресурсные ограничения, связанные со студентами рассматриваются иначе. Каждый студент рассматривается индивидуально, но возможна ситуация, что в построенном допустимом расписании, студент не сможет посетить все выбранные им курсы. В нашей стране мало внимания уделяется алгоритмам решения задач с российской спецификой, а также автоматизации составления расписания. Как следствие, учебные расписания в вузах составляются вручную большими отделами по несколько десятков человек. Аналогичная проблема наблюдается при составлении графиков работы персонала.

2. Задача составления учебного расписания

2.1. Постановка задачи

В соответствии с заданным учебным планом, информации о преподавателях, группах студентов и доступных помещениях необходимо построить допустимое расписание занятий для каждой группы студентов (для каждого преподавателя), или же оптимальное расписание, при котором минимизирована одна из следующих целевых функций (по выбору пользователя):

- количество неучтенных ограничений, предпочтений;
- количество окон;
- количество используемых помещений.

Расписание строится на одну или две недели (или другой фиксированный период) и повторяется на следующие недели.

Занятие – это совокупность трех элементов : предмет, преподаватель, группа студентов. Могут быть заданы занятия, включающие несколько групп (например, для больших «поточных лекций» или занятия по «физкультуре»).

Для построения расписания, фактически, необходимо распределить занятия (тройка Предмет-преподаватель-группа) по помещениям и временным окнам.

Временные окна фиксированы, действительны для всех кафедр и групп и могут быть пронумерованы. Пример временных окон: ПОНЕДЕЛЬНИК 8:00 – 9:35, 9:50-11:20, 11:40-13:15,..., ВТОРНИК 8:00-9:35,...

Допустимым считается такое расписание, при котором соблюдены следующие требования:

- 1) Проставлены в расписание все занятия. Количество занятий по каждому предмету, которые необходимо проводить каждую неделю, вычисляются путем деления количества занятий из учебного плана на количество недель в семестре.
- 2) Одновременно группа студентов может находиться только на одном занятии.
- 3) Одновременно преподаватель может находиться только на одном занятии.
- 4) Одновременно в каждом помещении может проходить только одно занятие.
- 5) Учтены ограничения на помещения. Для каждого занятия заданы помещения, в котором это занятие может проводиться. Допустимость помещения определяется его вместимостью (для каждого помещения задана вместимость студентов, а при расчете допустимости учитывается количество человек в группе), назначением (лабораторные занятия проходят в спец. лабораториях, а «компьютерные занятия» в компьютерных классах).
- 6) Учтены периоды доступности преподавателей. Заданы периоды времени доступности преподавателя (например, преподаватель доступен для проведения занятий в ПОНЕДЕЛЬНИК с 10 до 15 часов, в СРЕДУ с 8 до 12 и т.д.).

- 7) Учтены периоды доступности помещений. Заданы периоды доступности помещений (например, в лаборатории № 12 по ПЯТНИЦАМ проходит научный семинар).
- 8) Учтены периоды доступности групп. Заданы периоды доступности групп (например, во ВТОРНИК студенты группы А находятся на военной кафедре и не могут принимать участие в других занятиях, или группа А занимается только в первую смену).
- 9) Учтены: разбиение группы на подгруппы, потоковые лекции, количество занятий в блоке, минимальная пауза в днях между занятиями, максимальная дневная нагрузка на преподавателя, группу студентов.

Кроме того, при построении расписания следует учитывать следующие необязательные предпочтения:

- 1) Отсутствие временных окон между занятиями для группы или преподавателя.
- 2) Равномерное распределение занятий для студентов.
- 3) Желательно чтобы рабочие часы преподавателя были распределены на как можно меньшее число дней (например, желательно, чтобы все занятия преподавателя Б проходили только в СРЕДУ и в СУББОТУ).
- 4) Желательно, чтобы занятия группы проходили в небольшом количестве аудиторий.

2.2. Упрощенная математическая модель

Дано:

- множество $G = \{gruppe_1, gruppe_2, \dots, gruppe_g\}$ групп студентов;
- множество преподавателей $L = \{lekturer_1, lekturer_2, \dots, lekturer_l\}$;
- множество предметов $D = \{discipline_1, discipline_2, \dots, discipline_d\}$;
- множество временных периодов $T = \{time_1, time_2, \dots, time_t\}$, где $t = 36$ (значение может быть изменено);
- множество помещений $R = \{room_1, room_2, \dots, room_r\}$;
- матрица занятий $A_{g \times l \times d}$, где a_{ijk} – количество занятий в заданный период по предмету $discipline_k$ группы $gruppe_i$ с преподавателем $lekturer_j$;
- матрица $B_{g \times t}$, где $b_{im} = 1$ – если группа $gruppe_i$ свободна для занятий в период $time_m$ (иначе = 0);
- матрица $C_{l \times t}$, где $c_{jm} = 1$ – если преподаватель $lekturer_j$ может проводить занятие в период $time_m$ (иначе = 0);
- матрица $E_{r \times t}$, где $e_{nm} = 1$ – если помещение $room_n$ доступно в период $time_m$ (иначе = 0);
- матрица $H_{g \times d \times r}$, где $h_{ikn} = 1$ – если занятие по дисциплине $discipline_k$ может проводиться в помещении $room_n$ для группы $gruppe_i$ (иначе = 0);

Определим функцию $NotEmpty(y) = 1$, если $y > 0$, иначе $NotEmpty(y) = 0$.

Математическая модель задачи выглядит следующим образом:

$$\min \sum_{n=1}^r (NotEmpty(\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^l \sum_{k=1}^d \sum_{m=1}^t x_{ijknm}))$$

при ограничениях:

$$(1) \quad \sum_{m=1}^t x_{ijknm} = a_{ijk}, i = 1, \dots, g, j = 1, \dots, l, n = 1, \dots, r, k = 1, \dots, d,$$

$$(2) \quad \sum_{j=1}^l \sum_{k=1}^d \sum_{n=1}^r x_{ijknm} \leq b_{im}, i = 1, \dots, g, m = 1, \dots, t,$$

$$(3) \quad \sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^d \sum_{n=1}^r x_{ijknm} \leq c_{jm}, j = 1, \dots, l, m = 1, \dots, t,$$

$$(4) \quad \sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^d \sum_{j=1}^l x_{ijknm} \leq e_{nm}, n = 1, \dots, r, m = 1, \dots, t,$$

$$(5) \quad x_{ijknm} \leq h_{ikn}, i = 1, \dots, g, j = 1, \dots, l, k = 1, \dots, d, n = 1, \dots, r, m = 1, \dots, t,$$

$$(6) \quad x_{ijknm} = 0 \text{ or } 1, i = 1, \dots, g, j = 1, \dots, l, k = 1, \dots, d, n = 1, \dots, r, m = 1, \dots, t,$$

$$(7) \quad x_{ijknm} \geq y_{ijknm}, i = 1, \dots, g, j = 1, \dots, l, k = 1, \dots, d, n = 1, \dots, r, m = 1, \dots, t,$$

где $y_{ijknm} = 1$, если строго фиксированы время и аудитория проведения занятия.

Ограничение (1) обозначает, что все занятия должны быть поставлены в расписание в нужном объеме.

Ограничение (2) обозначает, что необходимо учитывать периоды доступности групп студентов.

Ограничение (3) обозначает, что необходимо учитывать периоды доступности преподавателя.

Ограничение (4) обозначает, что необходимо учитывать периоды доступности помещений.

Ограничение (5) обозначает, что необходимо учитывать допустимость помещения для данной дисциплины и группы.

3. Программный продукт для составления учебных расписаний в вузе

Сотрудниками лаборатории № 68 ИПУ РАН был разработан программный продукт для автоматизированного составления учебных расписаний в вузе. В данном продукте реализован, в том числе, алгоритм решения вышеупомянутой задачи оптимизации. Получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ (№2013660198), а также пройдена сертификация «1С:Совместимо» [1]. Программа реализована на платформе 1С:Предприятие и планируется к совместному выпуску с фирмой 1С.

На рис. 1 представлена основная форма для составления расписания («шахматка», строки – дни недели, пары, колонки – помещения). На шахматке отображаются уже поставленные в расписание занятия, а специальным цветом подсвечиваются ячейки, куда может/не может быть установлено занятие из нижнего списка «неупорядоченных» занятий. Оператор может вручную перетаскивать занятия из нижнего списка в шахматку или двигать занятия по шахматке.

Таким образом, рассчитав шахматку автоматически, потом имеется возможность ее изменить вручную, или, наоборот, проставив что-то вручную, остаток можно рассчитать автоматически.

Далее представлен список основных функциональных возможностей программы:

- составление расписаний в ручном/автоматическом или смешанном режиме;
- удобная форма «шахматка» для быстрой ручной модификации расписания перетаскиванием;
- составление расписаний в разрезе семестров/кафедр/сценариев («пессимистичный», оптимистичный). Составление нескольких расписаний и выбор лучшего;

- учет пожеланий и возможностей преподавателей, групп студентов, помещений;
- сравнение на допустимость при составлении расписания в любом режиме: тип помещения / тип занятия, вместимость помещения / количество студентов в группе;
- выбор произвольной периодичности расписания (неделя, две недели, фиксированный период и т.д.);
- составление расписания сессии;
- учет параллельных занятий, разбиения на подгруппы и потоковых лекций при составлении расписания;
- учет максимального допустимого количества занятий в день для группы студентов или преподавателя при составлении расписания;
- учет смены, в которую занимается группа студентов, при составлении расписаний;
- оптимизация учебных расписаний по одному из критериев: минимизировать количество используемых помещений, минимизировать количество окон и т.д.;
- оперативное резервирование помещений;
- просмотр расписаний и ввод предпочтений по web-интерфейсу;
- уведомление об изменении расписаний по e-mail для студентов и преподавателей;
- обмен данными с тиражными продуктами «1С:Университет», «1С:Университет ПРОФ»;
- загрузка справочников и учебных планов из Excel;
- оперативное изменение расписаний и составление «текущих» расписаний;
- компоновка расписаний по кафедрам в расписания по факультетам/институтам/университету;
- разграничение доступа подокументно.



Рис. 1. Основная рабочая форма программы.

3.1. Особенности составления расписаний в некоторых вузах

При реализации пилотных проектов внедрения программы в некоторых вузах (в частности, в МФТИ) выявлены следующие дополнительные требования к функционалу программы:

- 1) Составление расписания для «помещений-трансформеров». Такие помещения могут разделяться перегородкой на части, которые рассматриваются как отдельные помещения.
- 2) Составление расписания без привязки к помещению или преподавателю. Подобная ситуация характерна при составлении расписания занятий физкультурой. На таких занятиях студенты делятся на группы согласно виду спорта.
- 3) Составление расписаний, учитывающих выбор дополнительных дисциплин каждым студентом.

Данный функционал будет реализован в 2014-м году.

4. Заключение

Разнообразные особенности составления расписаний в вузах требуют развития не только программного продукта, но и совершенствования алгоритмов решения задачи составления оптимальных учебных расписаний. Для решения обобщенной задачи планируется использование современных методов решения задач комбинаторной оптимизации, например, методов ветвей и отсечений.

Список литературы

1. <http://www.1c.ru/rus/products/1c/predpr/compat/catalog/solution.jsp?SolutionID=528160>