

Д.Г.СУЛТАНБЕКОВ

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СОСТАВЛЕНИЯ РАБОЧИХ ГРАФИКОВ В АУДИТОРСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ

Описывается задача составления рабочих графиков в аудиторской организации. Приведено краткое описание алгоритма решения этой задачи, в основе которого лежит метаэвристика поиска с запретами. Приведены результаты практического испытания алгоритма на наборах данных, взятых из реальной жизни. Предложена методика оценки эффективности алгоритмов, предназначенных для решения данной задачи, основанная на использовании равновероятного генератора индивидуальных задач составления рабочих графиков в аудиторской организации. *Рабочий график; аудит; метаэвристика*

ВВЕДЕНИЕ

Сущность аудиторской проверки заключается в независимой экспертизе и анализе бухгалтерского учета и финансовой отчетности проверяемого предприятия с целью определения ее достоверности и соответствия текущему законодательству. Аудит предприятий и индивидуальных предпринимателей производится в соответствии с Федеральным Законом «Об аудиторской деятельности» [1], и принятыми в соответствии с ним другими нормативно-правовыми актами, регулирующими отношения, возникающие при осуществлении аудиторской деятельности [2, 3].

Процедура проверки предприятия состоит из множества шагов, называемых операциями, которые должны выполняться в определенном порядке, причем каждая операция предъявляет свои требования к квалификации исполнителей. При наличии большого количества проверяемых предприятий в условиях ограниченности штата аудиторской организации возникает актуальная задача повышения эффективности использования персонала. Одним из способов решения этой задачи может быть использование рационально составленных рабочих графиков работы аудиторов.

Однако, составление такого графика само по себе представляет трудную задачу в силу большого количества операций и сложных связей между различными операциями. В этих условиях встает вопрос о разработке эффективных средств автоматизации процесса планирования работы аудиторской организации, завершающегося составлением графиков работы персонала.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В процессе работы аудиторская организация заключает договоры на проведение аудиторской проверки с различными предприятиями, которые в дальнейшем будем называть работами. Каждая работа состоит из ряда операций, между которыми задано отношение предшествования: для выполнения некоторых операций требуются результаты, полученные при выполнении одной или нескольких других операций, относящихся к той же работе.

В каждой работе обязательно присутствуют две операции: «составление аудиторского заключения» и «подготовка отчета». В договоре на осуществление аудиторской проверки для этих операций устанавливаются максимальные сроки выполнения, кроме того, договор определяет срок, ранее которого нельзя начинать выполнение данной работы – время начала работы.

Сотрудников, образующих штат аудиторской организации, по уровню квалификации можно разделить на четыре непересекающиеся группы: аудиторы, помощники аудиторов, юристы, техперсонал. При планировании для каждой операции каждой работы задается время, необходимое для ее выполнения, и групповая принадлежность сотрудников, которые могут ее выполнять (некоторые операции могут быть выполнены сотрудниками, относящимися к разным группам, при этом время, необходимое сотрудникам, относящимся к разным группам, для выполнения одной и той же операции, может отличаться). Для сотрудников могут быть заданы интервалы времени, в течение которых их нельзя привлекать к выполнению каких бы то ни было операций (отпуска, командировки и т. п.).

Задача составления рабочих графиков в аудиторской организации состоит в назначении для каждой операции каждой работы сотрудника, который будет ее исполнять, временного интервала. При этом необходимо, чтобы рабочий график удовлетворял ряду требований, часть из которых является обязательными для исполнения, а часть является факультативными (их исполнение является желательным, но не обязательным).

Формально задача составления рабочих графиков в аудиторской организации может быть задана следующим набором входных данных.

1. Временной интервал, на который проводится планирование в виде списка T периодов продолжительностью 1 час: (p_1, p_2, \dots, p_T) . Каждый период задается как пара $\langle \text{день} \rangle, \langle \text{час} \rangle$, характеризующая дату и время, соответствующую началу данного периода.

2. Список из m исполнителей A_1, A_2, \dots, A_m , каждый из которых относится к одной из четырех групп:

G_1, G_2, G_3, G_4 (аудитор, помощник аудитора, юрист, техработник).

3. Список из n работ J_1, J_2, \dots, J_n .

4. Для каждой работы J_k заданы:

1) N_k – количество операций, входящих в работу;

2) множество операций $O_k^1, O_k^2, \dots, O_k^{N_k}$, образующих работу, причем любая работа обязательно включает в себя две операции: «подготовка отчета», которую будем обозначать как O_k^f , и «составление аудиторского заключения», которую будем обозначать как O_k^c ;

3) T_k^b – момент времени, раньше которого нельзя начинать выполнение этой работы;

4) T_k^r – момент сдачи отчета;

5) T_k^c – момент сдачи аудиторского заключения.

5. Для каждой операции O_k^i заданы

1) вектор $(t_{k,l}^1, t_{k,l}^2, t_{k,l}^3, t_{k,l}^4)$, где $t_{k,l}^h$ – это время, необходимое для выполнения операции O_k^i исполнителем, относящимся к группе G_h (если $t_{k,l}^h = \infty$, то это означает, что операция O_k^i не может быть выполнена исполнителями, относящимися к группе G_h);

2) список $L_k^i = (O_k^{i_1}, O_k^{i_2}, \dots, O_k^{i_{N_i}})$, задающий операции, которые должны быть завершены к моменту начала выполнения операции O_k^i .

6. Для каждого сотрудника A_i задан бинарный вектор $U^i = (u_1^i, u_2^i, \dots, u_T^i)$ длины T , определяющий периоды, в которые данный сотрудник недоступен: если $u_j^i = 1$, то сотрудник A_i недоступен в течение периода p_j , в противном случае – доступен.

С учетом введенных обозначений рабочий график представляет собой отображение $S : (O_1^1, O_1^2, \dots, O_1^{N_1}, O_2^1, O_2^2, \dots, O_2^{N_2}, \dots, O_m^1, O_m^2, \dots, O_m^{N_m}) \rightarrow (A_1, A_2, \dots, A_n) \times (p_1, p_2, \dots, p_T)$

задающее для каждой операции каждой работы исполнителя и момент времени, когда начнется выполнение данной операции этим исполнителем.

Более подробное описание задачи и системы требований, предъявляемых к рабочим графикам можно найти в [4]. В [5] задача составления рабочих графиков в аудиторской организации представлена как задача оптимизации целевой функции особого вида: она отображает множество рабочих графиков на множество числовых пар вида (X, Y) . Значения компонент X и Y целевой функции вычисляются как взвешенные суммы штрафов, налагаемых за нарушение обязательных и факультативных требований, предъявляемых к рабочим графикам соответственно.

2. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА

В [5] для решения описанной выше задачи предлагается использовать эвристический алгоритм, основанный на метаэвристике поиска с запретами.

Поиск с запретами является одним из методов локального поиска [7] и может быть описан следующим образом. Задается некоторое начальное решение в качестве текущего. На каждой итерации алгоритма просматривается окрестность текущего решения, задаваемая при помощи некоторого отношения соседства, и в качестве нового текущего решения выбирается точка из окрестности, в которой значение целевой функции принимает минимальное значение. Отметим, что переход к новому решению происходит, даже если новое решение оказывается хуже текущего решения. Процесс повторяется до тех пор, пока не будет выполнен критерий останова.

Для того, чтобы алгоритм мог покидать области локального минимума, в алгоритме используется особый механизм, основанный на списке запретов (tabu list). В этом списке в виде очереди хранятся значения некоторого атрибута нескольких последних просмотренных решений. При просмотре окрестности текущего решения игнорируются те точки, в которых значение этого атрибута совпадает с одним из элементов списка запретов.

Каждый раз, когда производится переход к новому решению, в список запретов заносится значение атрибута нового решения, одновременно с этим из списка запретов могут удаляться один или несколько элементов в соответствии с некоторым правилом (обычно из списка запретов удаляется самый «старый» элемент).

Для определения отношения соседства на множестве рабочих графиков введем понятие назначения: под назначением будем понимать тройку вида (O, A, p) – где O – это некоторая операция, A – сотрудник, который должен ее выполнять, p – момент времени начала выполнения операции. Таким образом, любой рабочий график можно задать в виде совокупности назначений.

В качестве окрестности текущего графика будем рассматривать рабочие графики, в которых назначения всех операций, кроме одной, совпадают с соответствующими назначениями этих операций в текущем графике.

Для сокращения рассматриваемой окрестности и ускорения сходимости алгоритма для каждой операции каждой работы вычислялся допустимый интервал проведения операции – такой временной интервал, что начало выполнения данной операции за его пределами гарантированно приводит либо к нарушению сроков выполнения работы, к которой относится данная операция, либо к нарушению отношения предшествования между операциями.

Поскольку размер окрестности, задаваемой описанным выше способом, оказывается очень велик, в алгоритме рассматривается только определенное количество соседних решений (фиксированная величина, являющаяся параметром алгоритма), при этом рассматриваются только те соседние решения, в которых время начала выполнения операции, назначение которой меняется, приходится на допустимый интервал проведения этой операции.

В качестве атрибута текущего решения, который вносится в список запретов при выполнении перехо-

да в новую точку окрестности, в настоящей работе используется тройка вида (O, A, t) , определяющая измененное на данной итерации назначение.

В работе использовался простой список запретов постоянной длины, длина списка является параметром алгоритма. Если при внесении в список нового элемента происходит превышение заданного значения его длины, то из списка удаляется элемент, который является самым старым в списке.

Работа алгоритма останавливается, если в течение заданного количества итераций, которое является параметром алгоритма, не удастся найти решение, превосходящее лучшее из найденных на предыдущих итерациях. Кроме того, работа алгоритма принудительно останавливается, если количество завершенных итераций превосходит некоторое (достаточно большое) число, которое также является параметром алгоритма.

3. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АЛГОРИТМА

Использование описанного выше алгоритма на двух наборах данных, взятых из реальной аудиторской организации, позволило построить рабочие графики, удовлетворяющие всем обязательным для выполнения требованиям, при этом количество нарушений факультативных требований к рабочим графикам оказалось достаточно мало, чтобы позволить практическое использование построенных алгоритмом графиков. Следует отметить, что в реальной жизни при использовании рабочих графиков, составленных человеком, в период, соответствующий одному из тестовых наборов данных, успешно удалось завершить только 13 работ из 15, а для выполнения оставшихся двух работ пришлось привлечь стороннюю аудиторскую организацию. Таким образом, можно говорить о том, что в этом случае эффективность предложенного алгоритма оказалась выше, чем эффективность работы менеджера.

Вместе с тем, объем проведенных испытаний не позволяет судить о применимости алгоритма для решения широкого круга задач составления рабочих графиков в аудиторской организации: так как данный алгоритм является эвристическим, то его использование не может гарантировать отыскание не только оптимального, но даже допустимого решения. С другой стороны, широкое использование эвристических алгоритмов во всех отраслях человеческой деятельности показывает, что во многих случаях они позволяют найти достаточно близкие к оптимуму решения. Таким образом, возникает проблема оценки эффективности алгоритма решения задачи составления рабочих графиков в аудиторской организации.

Для некоторых задач и алгоритмов удастся аналитическим путем рассчитать различные характеристики, позволяющие точно судить об эффективности алгоритма, например, максимальное отклонение решения, полученного алгоритмом, от оптимального решения. Однако для большинства задач, встречаю-

щихся на практике, этого сделать не удастся ввиду их высокой сложности.

Другим способом оценки эффективности эвристического алгоритма может быть проведение статистического тестирования алгоритма на выборке индивидуальных задач решаемой массовой задачи, и использование результатов такого тестирования для вычисления оценок значений критериев эффективности. При использовании такого подхода одной из ключевых проблем является состав тестовой выборки индивидуальных задач.

Во-первых, само получение достаточного количества задач представляет собой непростую задачу: в пределах одной аудиторской организации каждая новая индивидуальная задача составления рабочих графиков возникает один раз в год. Таким образом, создание тестовой выборки достаточного объема на основе реальных данных представляется весьма проблематичным, а часто и вообще невозможным.

Во-вторых, следует учесть, что для получения в результате статистического тестирования объективных оценок значений критериев эффективности необходимо, чтобы вероятность появления в тестовой выборке любой индивидуальной задачи из всего множества индивидуальных задач, для решения которых предназначен тестируемый алгоритм (или из некоторого заданного подмножества этого множества), была одинакова. В противном случае, задачи из некоторой области могут оказаться представлены в тестовой выборке в большем количестве, чем задачи из других областей, таким образом сделать вывод об эффективности работы алгоритма на всем множестве задач, основываясь на результатах такого тестирования, будет невозможно.

Выходом из сложившегося положения может стать тестирование алгоритма на выборке задач, полученных искусственно, при помощи некоторого генератора. В [6] описывается процедура, использование которой позволяет генерировать индивидуальные задачи составления рабочих графиков в аудиторской организации, гарантирующая одинаковую вероятность появления любой индивидуальной задачи из области, заданной следующим набором параметров:

- 1) количество работ (проверяемых организаций);
- 2) набор исполнителей;
- 3) временной интервал, на который проводится планирование;
- 4) минимально и максимально возможное время, выделяемое на выполнение одной операции;
- 5) минимальные и максимальные сроки, выделяемые для выполнения одной работы.

Следует отметить, что использование такой процедуры не гарантирует получение решаемой задачи, т.е. вполне возможно получение такого набора данных, для которого не существует допустимого рабочего графика. Поэтому, если алгоритм не смог решить сгенерированную при помощи процедуры индивидуальную задачу, то это могло произойти либо в силу несовершенства алгоритма, либо потому, что данная задача вообще не имеет решения. Таким образом, если N – это количество индивидуальных за-

дач в тестовой выборке, N' – количество решенных задач, а N^* – количество задач в выборке, не имеющих решения, то адекватной оценкой эффективности алгоритма будет $\frac{N'}{N - N^*}$.

Однако на практике нельзя узнать значение величины N^* (так как задача составления рабочих графиков в аудиторской организации является NP-полной, то задача определения того, имеет ли конкретная индивидуальная задача составления рабочих графиков в аудиторской организации решение, также является NP-полной), можно получить только значения N и N' . Так как $N^* \geq 0$, то $\frac{N'}{N} \leq \frac{N'}{N - N^*}$, т. е.

величина $\frac{N'}{N}$ является нижней границей оценки эффективности работы алгоритма. Обозначим эту величину как \tilde{P} .

Описанная в [6] процедура была использована для проведения тестирования эффективности рассматриваемого алгоритма. Во всех случаях список исполнителей был взят из реальной аудиторской организации и состоял из 9 человек, в качестве периода планирования использовался период продолжительностью в 4 месяца. Результаты тестирования представлены в табл. 1. Малый размер тестовых выборок с количеством задач более 16 объясняется тем, что с ростом размерности задачи растет и время работы алгоритма.

Таблица 1

Результаты тестирования

Количество работ	N	N'	\tilde{P}
10	100	82	0.82
12	100	73	0.73
14	100	78	0.78
16	100	76	0.76
18	40	29	0.725
20	40	27	0.675

Как видно из таблицы, значение величины \tilde{P} уменьшается с ростом количества работ в задачах, входящих в выборку. Этот результат был вполне предсказуем, так как с ростом количества работ сложность задачи также возрастает.

Учитывая, что на практике количество работ обычно находится в пределах от 10 до 15, а так же тот факт, что использование алгоритма на всех наборах данных, взятых из реальной жизни, позволило получить допустимый график, можно сделать вывод о достаточно высокой эффективности протестированного алгоритма.

ВЫВОДЫ

В заключение выделим основные результаты работы.

1. Проведен анализ требований, предъявляемых к рабочим графикам, на основе которого разработана математическая модель задачи составления рабочих графиков в аудиторской организации.

2. Предложена постановка этой задачи в виде задачи минимизации целевой функции, отображающей множество рабочих графиков на множество числовых пар.

3. Разработан эвристический алгоритм, предназначенный для решения сформулированной оптимизационной задачи, основанный на мета-эвристике поиска с запретами, при этом предложены меры, позволяющие сократить пространство поиска, не приводящие к потере допустимых решений.

4. Алгоритм опробован на двух задачах, взятых из реальной жизни, в результате чего в обоих случаях были получены допустимые рабочие графики.

5. Разработана процедура равновероятной генерации индивидуальных задач составления рабочих графиков в аудиторской организации, основывающаяся на результатах решения следующих подзадач

6. Проведены численные эксперименты и последующая статистическая обработка их результатов, показавшие достаточно высокую эффективность работы алгоритма при решении задач, размерность которых близка к размерностям задач, встречающимся на практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Федеральный закон** «Об аудиторской деятельности» от 7 августа 2001 года № 119-ФЗ.
2. **Комиссия** по аудиторской деятельности при Президенте РФ. Протокол №2. Правило (стандарт) аудиторской деятельности. Требования, предъявляемые к внутренним стандартам аудиторских организаций. 22 января 1998 г.
3. **Об утверждении федеральных правил (стандартов) аудиторской деятельности.** Постановление Правительства РФ от 23 сентября 2002 г. № 696.
4. **Орехова, З.Т.** Планирование работы аудиторской организации / З. Т. Орехова, Д. Г. Султанбеков // Принятие решений в условиях неопределенности : межвуз. науч. сб. Уфа : УГАТУ, 2005. Вып. 2, ч. 1. С. 214–219.
5. **Султанбеков, Д.Г.** Использование алгоритма поиска с запретами для решения задачи составления рабочих графиков в аудиторской организации / Д. Г. Султанбеков // Принятие решений в условиях неопределенности : межвуз. науч. сб. Уфа : УГАТУ, 2006. Вып. 3. С. 148–153.
6. **Султанбеков, Д. Г.** Процедура равновероятной генерации индивидуальных задач составления рабочих графиков в аудиторской организации / Д. Г. Султанбеков // Информационно-вычислительные технологии и их приложения. Пенза : РИО ПГСХА, 2005. С. 196–199.
7. **Рассел, С.** Искусственный интеллект: современный подход. 2-е изд. / С. Рассел, П. Норвиг. М. : изд. дом «Вильямс», 2006.