

Общероссийский математический портал

А. В. Ильин, В. Д. Ильин, Интерактивный преобразователь ресурсов с изменяемыми правилами поведения,
ИТuBC, 2004, выпуск 2, 67–77

<https://www.mathnet.ru/itvs656>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<https://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.9.174

13 июня 2025 г., 01:07:13



Интерактивный преобразователь ресурсов с изменяемыми правилами поведения

А.В. Ильин, В.Д. Ильин

Аннотация. Предложена технология интерактивного преобразования ресурсов в системах с изменяемыми правилами поведения. Эта технология построена на сочетании строгих математических и неформальных методов решения линейных задач распределения ресурсов в условиях информационной неполноты. Постановки изучаемых задач, разработанные методы решения и программные средства расширяют существующий арсенал вычислительных и интерфейсных средств решения задач распределения ресурсов. Технология рассчитана на экспертов-планировщиков, работающих в системах статусной конкуренции с динамично изменяющимися условиями функционирования [1-5].

Введение

Преобразование ресурсов понимается как построение *целевых* ресурсов из *обеспечивающих* посредством их *разделения* и *сборки*. Система преобразования ресурсов в общем случае является иерархической. *Преобразователи ресурсов* по отношению к вышестоящему уровню являются *потребителями*, а по отношению к нижестоящему — *управляющими* ресурсов. На высшем уровне — только управляющие, на низшем — только потребители, на промежуточных — преобразователи ресурсов. Примерами преобразователей ресурсов служат человеко-машинные комплексы, технологические процессы, аппаратные и программные средства вычислительных систем и т.д.

Ресурс в общем случае описывается кортежем вида

<имя, тип, количество, принадлежность, время>.

Когда не менее двух ресурсов связаны процессом их потребления, решается одна из задач *многоресурсного распределения*. В задачах этого класса преобразование обеспечивающих ресурсов в целевые реализуется посредством разделения и сборки. Так при планировании ресурсного обеспечения технологических процессов (ТП) каждая составляющая исходного набора обеспечивающих ресурсов разделяется между технологическими процессами с тем, чтобы образовать ТП-сборки целевых ресурсов. Каждая ТП-сборка рассматривается как новый комплексный ресурс, необходимый для выпуска соответствующей продукции.

Если ресурсы расходуются независимо, для каждого из них решается задача *одноресурсного распределения*. Пример одноресурсного распределения — задача проектирования бюджета (распределение ожидаемого денежного дохода по расходным статьям). В этом случае преобразование обеспечивающего ресурса (ожидаемого дохода) в целевые ресурсы (расходы по бюджетным статьям) осуществляется посредством разделения. Задача распределения финансов в иерархической системе потребления актуальна для проектирования бюджетов разных типов: от государственного до семейного. На практике такие задачи решаются в условиях информационной неполноты, неустранимость которой определяется тем, что план составляется с некоторым упреждением по отношению к тому отрезку времени, на котором предполагается этот план реализовать. Известно, что

величина ожидаемого годового дохода, например, применительно к государственному бюджету — это прогнозируемая величина. Поэтому задача одноресурсного распределения поставлена и решена как задача интервального анализа, где исходные и искомые величины представлены вещественными отрезками.

Областью применения технологии интерактивного преобразования ресурсов является *ситуационное управление процессами статусной конкуренции* [4]. Глобальные и локальные экономические механизмы представляют собой наиболее наглядные примеры статусных конкурирующих систем. Статус понимается как положение элемента системы, определяющее его возможности по потреблению и управлению ресурсами.

Ситуационное управление процессами статусной конкуренции неразрывно связано с решением задач преобразования ресурсов [3, 4]. Постановки таких задач так или иначе сводятся к отысканию *ресурсно-обоснованного плана* перевода системы из исходного состояния (заданного описанием *отправной ситуации*) в требуемое, которое представлено описанием *целевой ситуации*.

Статусы элементов системы неразрывно связаны с *приоритетами правил* распределения ресурсов.

Любые изменения в системах преобразования ресурсов предполагают своевременные изменения информированности экспертов-планировщиков [1]. В нашем случае каждый эксперт, отыскивающий варианты преобразования ресурсов, делает это во взаимодействии с некоторым программно-аппаратным комплексом, который для краткости будем называть *p-комплексом*. Так вот, *p-комплекс* должен позволять эксперту делать оперативную коррекцию *системы правил распределения ресурсов*. Описание этой системы приведено в разделе 2.

1. Методы решения линейных задач распределения ресурсов: необходимость расширения существующего арсенала

Линейные задачи многоресурсного распределения традиционно решаются методами линейного программирования (ЛП) [6, 7]. Линейное программирование пригодно для моделирования различных задач планирования, маршрутизации, составления расписаний, назначений, смесей и многих других. ЛП и его расширения используются при планировании в транспортной индустрии, энергетике, телекоммуникационной и других отраслях. Применение методов ЛП основано на весьма существенном допущении о том, что исходные данные задачи ЛП заданы точно. Известно, однако, что на практике даже при этом допущении оптимальные планы для таких систем часто не существуют. Причина этого в *несовместности* исходной системы ресурсных ограничений, задающих область допустимых решений. Кроме того, в процессе планирования изменяется информированность планировщиков о прогнозируемых значениях исходных данных, что делает необходимой оперативную коррекцию правил распределения ресурсов. Не исключены и предельные случаи изменений, когда изменяются составы основных переменных и системы ресурсных ограничений.

При решении линейных экстремальных задач многоресурсного распределения, когда совместна система линейных неравенств, представляющих ограничения на расход ресурсов, обычно применяется симплекс-метод. В случае же несовместности — нередко решается задача поиска чебышевской точки. Вектор распределения, соответствующий чебышевской точке, минимизирует максимальное отклонение от гиперплоскостей, заданных ресурсными ограничениями. Поиск чебышевской точки также редуцируется к симплекс-методу.

В последние годы интенсивно исследуются различные вариации метода внутренних точек (или барьеров) [8]. Этот метод не так распространен, как симплекс-метод, хотя успешно конкурирует с ним при решении некоторых прикладных задач. Метод барьеров основан на идее обхода точек из внутренней части области допустимых значений, то есть необходимым условием его применимости опять же является совместность системы ресурсных ограничений.

Известно, что на практике применение методов ЛП весьма проблематично. Первой проблемой является некорректность линейной задачи оптимального распределения ресурсов из-за неустойчи-

ности ее решения к погрешностям в исходных данных [9]. Не менее важной проблемой часто является нереализуемость решения для несовместной системы, найденного как чебышевская точка (показано на примерах в [3]). Нереализуемость обусловлена тем, что ограничения на обеспечивающие ресурсы обязаны выполняться (в отличие от ограничений на целевые ресурсы). Эксперт-планировщик, использующий программу, в которой реализованы только расчет экстремального распределения и поиск чебышевской точки, слишком ограничен в выборе средств получения приемлемого результата. Он может оказаться в тупиковой ситуации, когда полученные значения каких-либо ресурсных функций не удовлетворяют его представлениям о реализуемости и эффективности, и он не имеет средств оперативной коррекции правил распределения по ходу решения.

На практике эксперты-планировщики ищут и оценивают планы ресурсного обеспечения систем, действующих в рамках изменяющихся условий, когда состояние системы в значительной степени зависит от случайных факторов (в частности, величин потребления и добычи ресурсов). Поэтому поиск ресурсно-обоснованных планов целесообразно вести в интерактивном режиме. Такой режим должен предлагать эксперту-планировщику дружественный интерфейс коррекции данных и правил распределения ресурсов по мере изменения информированности. В пошаговом процессе распределения слабо определенные задачи редуцируются к алгоритмически разрешимым задачам задачной области [10].

Интерактивный режим распределения должен позволять быстро отыскивать решения и получать оценки их состоятельности. Важным свойством полученных решений должен быть приемлемый уровень *реализуемости* при удовлетворяющей эксперта экономичности и эффективности.

Для восполнения перечисленных недостатков традиционных алгоритмов авторами была предложена идея оснащения эксперта-планировщика механизмами пошагового распределения ресурсов с возможностью изменения правил распределения на каждом шаге. Идея была реализована в методе *целевого перемещения решения* [3].

2. Правила распределения ресурсов

Правила распределения ресурсов задаются экспертом-планировщиком в виде требований к значениям *ресурсных функций* $F_i(\bar{x})$ – линейных форм, значения которых зависят от вектора распределения \bar{x} и числовых коэффициентов.

Простое правило в общем случае может быть записано в одном из трех видов:

$$F_i(\bar{x}) = c_i [p_i]$$

$$F_i(\bar{x}) \leq c_i [p_i]$$

$$F_i(\bar{x}) \geq c_i [p_i]$$

где F_i – ресурсная функция, c_i – константа, а p_i – приоритет правила ($0 < p_i \leq \infty$);

квадратные скобки означают необязательность задания приоритета.

Составное правило есть логическая комбинация простых правил. В терминах булевой алгебры простое правило есть элементарная формула, а составное правило образуется из простых с помощью логических связей конъюнкции, дизъюнкции и отрицания (\wedge, \vee, \neg).

На каждом шаге решения эксперт-планировщик модифицирует составные правила, определяющие изменение вектора распределения. Всякое правило и его приоритет могут оставаться неизменными по ходу решения. Например, приоритет простого правила может быть задан как постоянный приоритет ресурсной функции.

Правила могут быть *обязательными* или *ориентирующими*. Обязательные правила имеют абсолютный приоритет ($p_i = \infty$), то есть они должны строго выполняться по ходу решения. К обязательным правилам в первую очередь относятся ограничения на расход обеспечивающих ресур-

сов, так как они гарантируют реализуемость решения. Ориентирующие правила определяют желаемые значения ресурсных функций, задавая направление перемещения решения.

Пусть имеется вычисленное каким-либо образом значение вектора распределения \bar{x}^0 , и набор ориентирующих правил $\{F_i(\bar{x}) = F_i(\bar{x}^0) + h_i [p_i], h_i \neq 0\}$ (в фигурных скобках будем записывать правила, связанные конъюнкцией). Будем говорить, что распределение \bar{x} удовлетворяет заданным ориентирующим правилам (или \bar{x} эффективнее \bar{x}^0), если для всех $h_i > 0$ выполнено $F_i(\bar{x}^0) < F_i(\bar{x}) \leq F_i(\bar{x}^0) + h_i$, а для $h_i < 0$ выполнено $F_i(\bar{x}^0) + h_i \leq F_i(\bar{x}) < F_i(\bar{x}^0)$.

Например, выполнение составного ориентирующего правила «увеличить поставку топлива потребителю К на 1000 тонн; увеличить поставку топлива потребителю N на 5000 тонн» означает, что поставки обоим потребителям будут увеличены, но не обязательно ровно на заданные значения.

В качестве особого вида составного правила выделим *правило оптимизации*. Такое правило может быть записано в виде

$$Q_{\min}(\bar{x}) = F_i(\bar{x}) : P_1 \wedge \dots \wedge P_k \text{ или } Q_{\max}(\bar{x}) = F_i(\bar{x}) : P_1 \wedge \dots \wedge P_k,$$

где $P_1 \dots P_k$ - простые обязательные правила.

Так выглядит стандартная постановка задачи линейного программирования. Подчеркнем, что в неё входят только обязательные правила. Традиционное ПО ЛП, реализующее решение такой задачи, не даёт эксперту-планировщику вмешаться в процесс решения. В случае несовместности системы предлагается скорректировать исходные данные.

Построенный по предлагаемой технологии р-комплекс также позволяет поставить и решить такую задачу на любом шаге распределения, задав правило оптимизации некоторой ресурсной функции и выделив любую подсистему правил, как задающую область допустимых значений вектора распределения. Например, (в случае совместности системы) экстремальное решение может рассматриваться как начальная точка для целевого перемещения решения. Но важнейшим нововведением является возможность задания и изменения именно ориентирующих правил, которые направляют поиск решения в соответствии с предпочтениями эксперта-планировщика.

Как уже было сказано, правило может быть переведено из разряда ориентирующих в разряд обязательных по ходу решения. Например, достигнув необходимого, по его мнению, значения некоторой ресурсной функции, эксперт-планировщик может заменить ориентирующее правило для этой функции на обязательное правило фиксации полученного значения.

3. Интерактивная технология распределения ресурсов

Многоресурсное распределение – задача распределения нескольких ресурсов, связанных процессом их потребления, между несколькими потребителями.

В общем случае есть набор t ресурсов и набор n потребителей (или способов расхода) этих ресурсов, понимаемых как разные варианты планируемой деятельности. *Эффективное решение* ищется среди вариантов распределения, удовлетворяющих условиям реализуемости. В рассматриваемой в 3.1. постановке *общей задачи* под эффективным решением понимается не обязательно экстремальное решение. Понятие об эффективности, зависящее и от состояния ресурсной обеспеченности, и от применяемых показателей экономичности решений, определяется неформально экспертом-планировщиком и зависит от степени его информированности и, конечно же, от его квалификации. По мере изменения информированности о ресурсной ситуации и о возможных последствиях ресурсных недопоставок потребителям изменяется и представление эксперта-планировщика об эффективности искомого решения. Богатство ансамбля допустимых решений, рассматриваемых экспертом-планировщиком в ходе управляемого им вычислительного эксперимента, оказывает значительное влияние на итоговый выбор решения. В этом смысле методическая

полнота поиска допустимых решений и анализа их эффективности приобретает решающее значение. Предлагаемая постановка общей задачи многоресурсного распределения рассчитана на дополнение и объединение существующих методов решения линейной задачи многоресурсного распределения.

3.1. Постановка общей задачи многоресурсного распределения

Введём следующие переменные:

a_{ij} ($i=1...m, j=1...n$) - расход i -го ресурса при единичной интенсивности использования j -го варианта (средства) деятельности;

b_i ($i=1...m$) - некоторое располагаемое количество i -го ресурса;

x_j ($j=1...n$) - искомая интенсивность использования j -го средства.

Суммарный расход i -го ресурса выражается линейной формой

$$a_{i1}x_1 + \dots + a_{in}x_n$$

Таким образом, составное правило, определяющее требования к искомому распределению, имеет вид

$$\{a_{i1}x_1 + \dots + a_{in}x_n \leq b_i\} \quad (i=1...m).$$

Кроме того, может быть задан набор показателей эффективности деятельности

$\{c_{ij}x_j + \dots + c_{in}x_n\}$ ($i=1...k$), где c_{ij} – удельный показатель полезности i -го типа от использования единицы интенсивности действий j -го средства.

Для всякого показателя эффективности также может быть задано некоторое простое правило.

Также могут быть заданы приоритеты правил p_i ($0 < p_i \leq \infty, i \in [1, m+k]$).

В общем случае для каждой ресурсной функции может быть задано двустороннее ограничение (конъюнкция двух простых правил), поэтому общую систему запишем в виде

$$\{[b_i \leq] a_{i1}x_1 + \dots + a_{in}x_n [\leq B_i] [p_i]\}, \quad i=1...m+k$$

(правило вида $F_i(\bar{x}) = c_i [p_i]$ означает $b_i = B_i$).

Переменные x_j ($j=1...n$) считаются неотрицательными по смыслу решаемых задач.

Общая задача многоресурсного распределения - поиск точки $\bar{x} = \langle x_1, \dots, x_n \rangle$, дающей такой набор значений имеющихся функций, который оценивается экспертом-планировщиком как наиболее эффективный и реализуемый.

Подчеркнём неформальность общей постановки задачи. Она обусловлена ориентацией на интерактивный режим вычислительного эксперимента, который предполагает возможности изменения исходных данных и систем правил, определяющих процесс поиска решения. Такой подход обеспечивает эксперту-планировщику возможность сравнительного анализа решений для выбора наиболее эффективного и реализуемого. В режиме вычислительного эксперимента эксперт-планировщик последовательно решает некоторую совокупность частных задач многоресурсного распределения, имеющих формальные постановки и методы решения.

3.2. Метод целевого перемещения решения

Метод *целевого перемещения решения* схематически выглядит следующим образом. Начальная точка (первый вариант решения) может быть выбрана экспертом-планировщиком произвольно. По умолчанию предлагается компромиссное решение - чебышевская точка. В случае совместности системы ограничений такая точка дает одинаковые запасы по образующим симплекса ограничениям, а в случае, когда симплекс не существует, - минимизацию максимального дефицита:

$$\min_x \max_i (a_{i1}x_1 + \dots + a_{in}x_n - b_i) \quad \text{при } x_j \geq 0 \quad (i=1...s; j=1...n),$$

где s - число ограничений после приведения системы к виду $A\bar{x} \leq b, \bar{x} \geq \theta$.

Затем эксперт-планировщик, проанализировав значения ресурсных функций и оценив степень эффективности и реализуемости решения, может наложить на любые функции требования к их изменению, то есть модифицировать систему правил распределения ресурсов.

Величины изменений задают направление и дискрет перемещения в следующую точку. Кроме изменения, можно задать и требование фиксации некоторой функции (когда значение функции устраивает эксперта-планировщика, и он хочет оставить его неизменным при дальнейшем перемещении). Таким образом, эксперт-планировщик пошагово приближается к решению, по его мнению, сочетающему эффективность и реализуемость. Любое решение (то есть всякая точка траектории движения) может быть занесено в базу возможных планов р-комплекса для последующего анализа. Траектория движения запоминается, что обеспечивает возможность *отката* изменений.

Шаг целевого перемещения решения делается следующим образом.

Пусть имеется исходная точка $\bar{x}^0 = \langle x_1^0, \dots, x_n^0 \rangle$ ($x_j^0 \geq 0, j = 1 \dots n$) и экспертом-планировщиком определено составное правило перемещения из \bar{x}^0 в некоторую искомую точку $\bar{x} = \langle x_1, \dots, x_n \rangle$ ($x_j \geq 0, j = 1 \dots n$):

$$\{F_i(\bar{x}) = F_i(\bar{x}^0) + h_i [p_i]\},$$

где $F_i(\bar{x}) = a_{i1}x_1 + \dots + a_{in}x_n, i = 1 \dots l; p_i = \infty$ при $h_i = 0, 0 < p_i < \infty$ при $h_i \neq 0$.

Простое правило, содержащее $h_i = 0$, есть обязательное требование фиксации i -й функции. Формально система требований к изменению ресурсных функций может быть несовместна. Поэтому правила, содержащие $h_i \neq 0$, трактуются как ориентирующие, а величина h_i называется *задающим шагом* (который часто отличается от *реального шага*, который можно получить для данной функции при текущем наборе требований). Если для всех функций реальный шаг одного знака с задающим, новая точка так или иначе повышает эффективность решения.

Точка \bar{x} ищется следующим образом. Сначала для каждой функции, значение которой при перемещении из \bar{x}^0 в \bar{x} требуется изменить на отличное от нуля h_i , ищется проекция \bar{x}^0 на гиперплоскость

$$a_{i1}x_1 + \dots + a_{in}x_n = F_i(\bar{x}^0) + h_i.$$

Направляющий вектор нормали к этой гиперплоскости есть $\langle a_{i1}, \dots, a_{in} \rangle$. Следовательно, для нахождения проекции надо дать переменным приращения

$ha_{i1} \dots ha_{in}$, где h - некоторое неизвестное число.

Выразим через h приращение функции при движении по нормали и приравняем его h_i :

$$h(a_{i1}^2 + \dots + a_{in}^2) = h_i, \text{ откуда}$$

$$h = \frac{h_i}{a_{i1}^2 + \dots + a_{in}^2} \text{ (естественно полагать } (a_{i1}^2 + \dots + a_{in}^2) \text{ не равным нулю).}$$

Таким образом, искомая проекция имеет координаты

$$x_1^0 + \frac{a_{i1}h_i}{a_{i1}^2 + \dots + a_{in}^2}, \dots, x_n^0 + \frac{a_{in}h_i}{a_{i1}^2 + \dots + a_{in}^2}$$

Проведя поиск проекций по всем функциям, для которых $h_i \neq 0$, получим для каждой из них требуемые приращения по всем переменным

$$dx_{ji} = \frac{a_{ij}h_i}{a_{i1}^2 + \dots + a_{in}^2} \text{ (} j=1 \dots n, \text{ и пусть номера функций } i, \text{ не ограничивая общности, пробегают значения } 1 \dots s).$$

Теперь возьмем *среднедействующую* найденных векторов-нормалей, конец которой рассчитывается по формулам

$$x_j = x_j^0 + \frac{p_1 dx_{j1} + \dots + p_s dx_{js}}{\sum_{i=1}^s p_i}.$$

Можно говорить, что среднедействующая будет иметь большее уклонение в сторону гиперплоскостей, задающих правила с большим приоритетом.

Если приоритеты не заданы, считаем их равными единице, и получаем формулы

$$x_j = x_j^0 + \frac{dx_{j1} + \dots + dx_{js}}{s}.$$

Далее, если $\exists k: h_k = 0$, конец среднедействующей проецируется на гиперплоскость $a_{k1}x_1 + \dots + a_{kn}x_n = F_k(x^0)$, в противном случае на роль искомой точки претендует конец среднедействующей. Затем проверяется неотрицательность переменных, и отрицательные обнуляются. И, наконец, проверяется совпадение знаков реальных и задающих шагов: если они совпадают по всем функциям, полученная точка – искомая $\langle x_1, \dots, x_n \rangle$.

В случае невыполнимости требований эксперт-планировщик может (при помощи р-комплекса) увидеть причину этого и скорректировать правила целевого перемещения решения.

В [2, 3] показано применение метода целевого перемещения решения на примерах расчета действия мобильных групп патрулирования экологически опасных объектов; распределения медикаментов по регионам, пострадавшим от землетрясений; расчета поставок дизельного топлива подразделениям Вооружённых Сил.

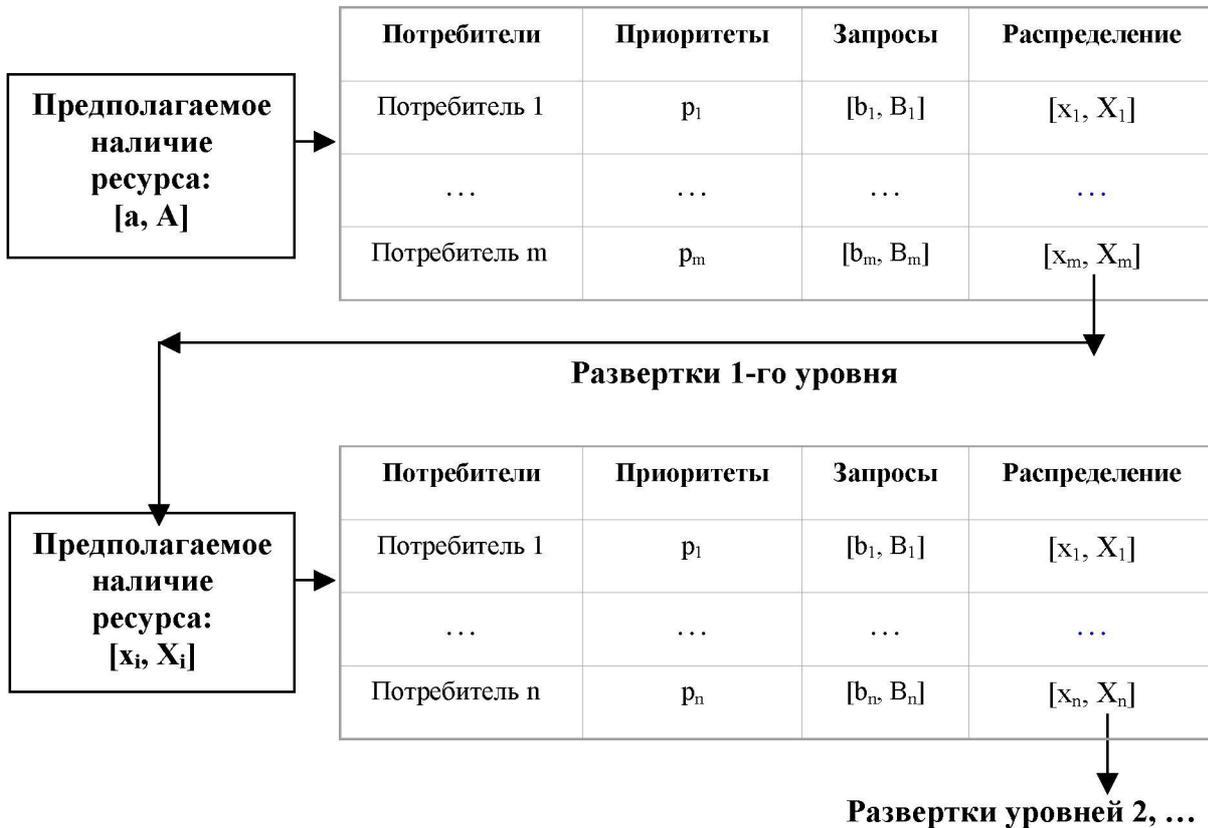
3.3. Одноресурсное распределение

Предположим, что есть один ресурс, требуемый несколькими потребителями (вариантам деятельности, расходным статьям, исполнителям вырабатываемого решения) для действий, направленных на достижение целевой ситуации. Зачастую требуется провести планирование предстоящей деятельности в условиях информационной неполноты, то есть когда точное количество обеспечиваемого ресурса неизвестно (например, если ресурс ещё не получен). Поэтому количество целесообразно задать отрезком. Запросы потребителей (*расходных статей*) также выражаются в общем случае отрезками. Каждый запрос может иметь некоторый положительный приоритет (показатель значимости). В общем случае решение дается также в отрезках.

Выделенное любому потребителю количество ресурса может стать исходными данными для его распределения между некоторыми "потребителями этого потребителя", то есть исполнителями, получив некоторое количество ресурса, распределяет его между подчиненными себе исполнителями следующего уровня иерархии. Это называется *разверткой расходной статьи*. В свою очередь, каждая "развернутая" (детализированная) статья также может быть развернута. В итоге может быть построена иерархическая система расходных статей практически любой степени детализации.

На рисунке схематически показана структура одноресурсного распределения в иерархической системе.

Задачи одноресурсного распределения имеют нетривиальные решения при дефиците ресурса, то есть невозможности полного удовлетворения запросов потребителей. Новшеством является постановка и решение таких задач в отрезках, что относит их к классу задач интервального анализа. Разработанные алгоритмы применимы для планирования одноресурсного распределения в произвольной иерархической системе. Одной из наиболее актуальных задач одноресурсного распределения является планирование бюджета.



Разработаны два итерационных метода одноресурсного распределения — *бесприоритетное распределение* и *приоритетное распределение*. В первом случае основными величинами, влияющими на получение потребителем части ресурса, являются запросы потребителей. Во втором — при распределении в соответствии с запросами потребителей основную роль играют приоритеты потребителей.

Эти задачи обладают большой практической значимостью, и имеют не такие простые, как может показаться на первый взгляд, алгоритмы решения.

Общая постановка задачи одноресурсного распределения на одном из уровней иерархии заключается в следующем. Для числового отрезка $[a, A]$ ($a \geq 0, A > 0$), задающего величину распределяемого ресурса, и отрезков $[b_j, B_j]$ ($b_j \geq 0, B_j > 0$), задающих запросы (потребности), требуется найти отрезки $[x_j, X_j]$ ($x_j \geq 0, X_j > 0$), соответствующие искомому распределению ($j=1...m$).

Обязательными правилами одноресурсного распределения являются (помимо содержащихся в общей постановке):

1. $\sum_{j=1}^m x_j = a$
2. $\sum_{j=1}^m X_j = A$
3. $x_j \leq b_j$ ($j=1...m$)
4. $X_j \leq B_j$ ($j=1...m$)

Отметим, что одноресурсная задача может решаться, как и многоресурсная, методом целевого перемещения решения: имеется $2m$ неотрицательных переменных x_j, X_j и $(2m+2)$ ресурсных функций – суммы, стоящие в левых частях правил 1 и 2, а также сами переменные (как простейший вид ресурсной функции $a_{1j}x_1 + \dots + a_{mj}x_m$, где $a_{ik} = 0$ для $k \neq j$, $a_{ik} = 1$ для $k=j$).

Однако, задача одноресурсного распределения имеет и эффективные методы решения за один шаг с точки зрения пользователя р-комплекса.

В бесприоритетном распределении ориентирующими правилами являются:

$$(1) \frac{b_1 - x_1}{b_1} = \dots = \frac{b_m - x_m}{b_m}$$

$$(2) \frac{X_1 - x_1}{B_1 - b_1} = \dots = \frac{X_m - x_m}{B_m - b_m}.$$

В приоритетном распределении для каждой пары переменных x_j, X_j задаются конечные положительные *приоритеты запросов* c_j , которые участвуют в вычислениях в нормализованном ви-

$$\text{де: } p_j = \frac{c_j}{\sum_{i=1}^m c_i} \quad (j=1 \dots m).$$

Ориентирующими правилами приоритетного распределения являются

$$(1) x_j = p_j a \quad (j=1 \dots m)$$

$$(2) B_j - b_j \geq X_j - x_j = p_j (A - a) \quad (j=1 \dots m).$$

Итерационные алгоритмы бесприоритетного и приоритетного распределения, а также примеры их применения (эскизный расчет бюджета, распределение медикаментов) изложены в [2, 3].

4. Модель интерактивного преобразователя ресурсов

Как было сказано выше, разработанные алгоритмы ориентированы на интерактивный режим вычислительного эксперимента, проводимого экспертом-планировщиком во взаимодействии с программно-аппаратным *р-комплексом*. Программную составляющую р-комплекса будем называть *р-преобразователем*.

С точки зрения пользователя р-преобразователь – это совокупность программно воплощенных вычислительных и интерфейсных средств пошагового решения заданного множества задач преобразования ресурсов во взаимодействии с окружением.

Под *р-окружением* будем понимать человека-эксперта или автомат, реализующий заданную человеком-экспертом программу взаимодействия с р-преобразователем.

Для объяснения работы р-преобразователя введем некоторые определения, которые придадут изложению более формализованный характер.

Память р-преобразователя (р-память) – это объединение памяти рассматриваемых задач преобразования ресурсов. Определение памяти задачи и объединения памяти задач дано в [10].

Множество располагаемых операторов преобразования р-памяти (располагаемых р-операторов) состоит из фиксированного числа программно воплощенных алгоритмов рассматриваемых задач преобразования ресурсов.

Отношения на памяти задаются правилами двух типов. Обязательные правила определяют отношения, которые не могут быть нарушены. Ориентирующие правила задают отношения, которые желательно выполнить. Правила обоих типов могут быть изменены на каждом шаге взаимодействия р-преобразователя с р-окружением.

Выбор р-оператора зависит от состояния р-памяти после выполнения предыдущего шага и системы правил, заданных для текущего шага при взаимодействии с р-окружением. Не исключено,

что при некотором фиксированном наборе обязательных правил ни одно из ориентирующих правил не будет выполнено. Также не исключено, что может быть задан такой фиксированный набор обязательных правил, при котором не может быть выполнен ни один из располагаемых р-операторов.

На каждом шаге, начиная с первого, р-оператор может быть выбран автоматически или извне (экспертом) из числа тех р-операторов, для которых выполняются обязательные правила. В противном случае р-преобразователь выдает сообщение о невозможности применения располагаемых р-операторов и рекомендует рассмотреть возможность изменения системы обязательных правил.

Автоматический выбор р-операторов в случае, когда число допустимых р-операторов не менее двух, выполняется следующим образом. Срабатывает каждый из р-операторов, создавая свою версию состояния р-памяти. Например, если сработают два р-оператора, то будут созданы две версии состояния р-памяти. Далее анализатор состояния р-памяти проверяет каждую из версий р-памяти. Для этого он использует свою систему правил. Например, такая система правил может определять выбор той версии состояния р-памяти, которая обеспечивает наилучшее удовлетворение потребителя ресурсов, имеющего высший приоритет.

Р-преобразователь действует до тех пор, пока состояние р-памяти не станет таким, что ни один из располагаемых р-операторов не может быть применен, либо из р-окружения не поступит сигнал стоп.

Не исключена возможность параллельного выполнения операторов преобразования, если вычислительная среда располагает соответствующими средствами.

Далее приведено краткое описание последней версии р-преобразователя, разработанной авторами и прошедшей достаточно представительный (по числу и разнообразию тестовых задач) процесс оценки эффективности и апробации.

5. Реализация

Разработанные алгоритмы интерактивного поиска решений линейных задач одноресурсного и многоресурсного распределения, средства редактирования правил, а также необходимые средства взаимодействия с пользователем реализованы на языке С++ и вошли в состав диалоговой программной системы РЕСУРС-комплекс [3]. РЕСУРС-комплекс предоставляет диалоговую поддержку эксперту, участвующему в анализе ресурсной ситуации и проектировании решений, обладающих требуемыми свойствами реализуемости и эффективности. Область применения РЕСУРС-комплекса – документально представленное сопоставление складывающейся обеспеченности ресурсами с потребностью в них и последующее вариантное планирование ресурсного обеспечения в условиях изменяющейся информированности.

Архитектура РЕСУРС-комплекса рассчитана на расширение и совершенствование без нарушения привычной для пользователя среды взаимодействия. Задачи проектирования ресурсно-обоснованных решений разделены на типы. Для задач каждого типа сформулированы так называемые базовые задачи, для которых разработаны алгоритмы. Конкретные прикладные задачи, которые необходимо решать в процессе ресурсного обоснования, представляют собой конкретизации задачных конструкций, построенных из базовых задач [1, 10].

Практическая значимость разработанных и программно воплощенных методов одноресурсного и многоресурсного распределения определяется многообразием реальных задач преобразования ресурсов в различных областях прикладной деятельности: от составления производственных планов до проектирования бюджетов различных уровней.

Исследование результативности диалоговой программной системы РЕСУРС-комплекс подтвердило эффективность построенных алгоритмов при работе в условиях изменяющейся информированности эксперта-планировщика. В частности, на примере решения задачи производственного планирования (Product Mix Model), проводился сравнительный анализ РЕСУРС-комплекса и программной системы LINGO® (© LINDO Systems Inc) [11], предназначенной для решения задач

ЛП. Анализ показал неприменимость стандартных алгоритмов ЛП для поиска удовлетворительных решений при несовместности системы ресурсных ограничений.

Заключение

Разработанный подход к постановкам линейных задач распределения ресурсов на основе систем обязательных и ориентирующих правил позволяет учитывать приоритеты потребителей ресурсов в условиях динамично изменяющейся информированности экспертов-планировщиков. Традиционная постановка линейной задачи распределения ресурсов является частным случаем общей задачи многоресурсного распределения, поставленной и решенной применительно к управляемому экспертом-планировщиком режиму вычислительного эксперимента. Разработанные методы решения задач одноресурсного и многоресурсного распределения программно воплощены на C++ в составе программной диалоговой системы РЕСУРС-комплекс. Результаты исследований прикладной эффективности РЕСУРС-комплекса дают основания полагать, что предложенная технология решения задач распределения ресурсов повысит продуктивность работы тех, кто занимается бюджетным проектированием, ресурсным обоснованием управленческих решений, оперативным распределением ресурсов в неординарных ситуациях. Особую актуальность предложенная технология имеет в распределенных системах кооперативного преобразования ресурсов.

Литература

1. Ильин В.Д. Основания ситуационной информатизации. – М.: Наука, 1996. – 180 с.
2. Ильин В.Д., Гавриленко Ю.В., Ильин А.В., Макаров Е.М. Математические средства ситуационной информатизации. – М.: Наука, 1996. – 88 с.
3. Ильин А.В. Математическое обеспечение процессов преобразования ресурсов. // Системы и средства информатики. Вып. 9. – М.: Наука, 1999. – С. 159-177.
4. Ильин В.Д. Концептуальный портрет механизма управления процессами соперничества. // Системы и средства информатики. Вып. 11. – М.: Наука, 2001. – С. 376-395.
5. Ильин В.Д. Подход к информатизации государственного управления в неординарных ситуациях // Системы и средства информатики. Вып. 9. – М.: Наука, 1999. – С. 142-158.
6. Фомин Г.П. Методы и модели линейного программирования в коммерческой деятельности. М.: Финансы и статистика, 2000. – 128 с.
7. Карманов В.Г. Математическое программирование. – М.: Наука, 2001. – 264 с.
8. Дикин И.И. Определение допустимых и оптимальных решений методом внутренних точек. – Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1998. – 110 с.
9. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1979. – 288 с.
10. Ильин В.Д. Система порождения программ. – М.: Наука, 1989. – 264 с.
11. Schrage L. Optimization Modeling with LINGO. – Lindo Systems Inc, 1998. – 550 с.

Ильин Александр Владимирович. Родился в 1975 году. Окончил Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова в 1996 году, кандидат технических наук, автор 8 публикаций. Область научных интересов – вычислительная математика и программирование. Старший научный сотрудник Института проблем информатики РАН.

Ильин Владимир Дмитриевич. Родился в 1937 году. Окончил Московский энергетический институт в 1960 году, доктор технических наук, профессор. Автор более 50 публикаций, среди которых 3 монографии. Область научных интересов – автоматизация программирования, методология информатизации. Заведующий лабораторией Института проблем информатики РАН.