

*МОДЕЛЬ СИСТЕМНОЙ ИНТЕГРАЦИИ НА ОСНОВЕ  
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ  
ПРИ МНОЖЕСТВЕННОМ ВЫБОРЕ*

**В.Н. ХАЛИЗЕВ, Д.В. УГРЮМОВ**

*Кубанский государственный технологический университет,  
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2  
электронная почта: ha53@mail.ru*

В статье приведены результаты исследований по построению модели системной интеграции, сочетающей известную парадигму выработки комплексного показателя предпочтительности по модифицированному целевому методу для ранжирования выбора с построением серии множественных решений в виде задачи о наименьшем покрытии набора функциональных требований.

**Ключевые слова:** принятие решений, критерии выбора, анализ иерархий, минимальное покрытие.

В литературе неоднократно описана процедура принятия решений на основе экспертных знаний путем ранжирования альтернативных решений последовательным проведением согласования экспертных оценок, их нормирования и вычисления обобщенного критерия предпочтения, например аддитивного по методу анализа иерархий (МАИ) в [1].

На практике в некоторых задачах выбор одного решения не является наилучшим, несколько разных решений вместе могут дать более предпочтительный выбор. Такая задача ставится при выборе оптимальной конфигурации вычислительного устройства для определенного класса задач, синтеза оптимального набора оборудования интегрированной системы из составляющих ее подсистем, выбора средств защиты информации, оптимальным образом нейтрализующих все угрозы, либо оптимальным образом покрывающих все функциональные требования системы заданного класса защищенности.

Для этих задач требуется иная модель генерации и оценивания предпочтений выбора нежели простое ранжирование альтернативных решений.

В работе поставлена задача построения модели оптимизации, объединяющей многокритериальную дискретную оптимизацию (МДО) и

задачу наименьшего покрытия множества (ЗНП) в единый процесс системной интеграции компонент в одну сложную систему.

Известна задача множественного выбора, практические применения которой подробно освещены в работах Я.Е. Львовича: выбор множества или совокупности решений из набора альтернатив, который возникает при оптимальном выборе некоторого количества подсистем интегрированной системы. Задача выбора оптимальной по стоимости совокупности элементов оборудования системы из составляющих ее объектов  $S=\{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ , для реализации полного набора заданных функций (требований)  $R=\{r_1, r_2, \dots, r_m\}$  как задача целочисленного линейного программирования (далее – ЦЛП) имеет вид:

$$F_1(x) = \sum_{j=1}^n (C_j x_j) \rightarrow \min, \quad (2)$$

при условиях:

$$\sum_{j=1}^n (a_{ij} x_j) \geq 1 \quad (3)$$

$$\text{где } i \in M, j \in N, x \in 0,1 \quad (4)$$

В этом случае задача структурного синтеза сводится к определению экстремального значения целевой функции.

Если  $B_j$  интерпретировать как эффективность элементов оборудования, то значения целевой функции (5) определяют максимальную эффективность набора оборудования, для построения системы, удовлетворяющей всем заданным требованиям, при тех же ограничениях (2) и (3):

$$F_2(x) = \sum_{j=1}^n (B_j x_j) \rightarrow \max \quad (5)$$

Отметим, что в рассматриваемых работах изучаются многоальтернативные модели только с линейным способом свертки как альтернатив в группе, так и собственно суперкритерия оптимизации  $W$  (везде используется суммирование показателей эффективности, либо затрат). Линейная целевая функция (далее – ЦФ), либо нелинейная с одной нулевой производной при минимизации влечет одновременно тупиковость минимального покрытия. Задача о наименьшем

покрытии, таким образом, решается параллельно с минимизацией целевой функции.

Если объединение параметров в группе неаддитивное для какого-либо параметра или целевая функция существенно нелинейна, то условия в ограничениях не гарантируют получение тупиковых решений.

Известны приложения блочной задачи о ранце (работы Левина М.Ш., Сафонова А.В.), т.е. задачи комплексирования, построения конфигурации системы. Она имеет достаточно простую и наглядную интерпретацию – выбор набора компонентов для формирования некоторой системы с минимальной стоимостью, либо максимизацией общей «полезности» выбранных компонентов с учетом общего ресурсного ограничения.

$$F_1(x) = \sum_{j=1}^n (C_j x_j) \rightarrow \min, \quad (6)$$

либо (5) при ограничении на  $F_1(x)$

В работах Львовича Я.Е. и его школы приводится много приложений задачи о ранце в общем виде с ограничениями вида:

$$\sum_{j=1}^n (a_{ij} x_j) \geq 1 \quad (7)$$

Данные ограничения обеспечивают покрытие каждого параметра хотя бы одной альтернативой, это модель многоальтернативной оптимизации (далее – МАО).

Ближе всего к задаче системной интеграции приближена многокритериальная блочная задача о ранце (вместо полезности элемента  $V_i$  используется вектор из  $m$  компонентов:  $(1, \dots, j, \dots, m)$ ).

$$F_3(x) = \sum_i^m \alpha_{ij} \sum (b_{ij} x_j) \rightarrow \max \quad (8)$$

В данном случае вид ЦФ следующий:

$$F_3(x) = \sum_i^m \alpha_i \Psi_j(b_{ij} x_j) \rightarrow \max \quad (9)$$

Т.е. это нелинейная задача МАО при условии (7).

ЗНП при этом не обеспечивается (тупиковым решение не всегда будет при экстремуме ЦФ при любом методе ее вычисления – ЦФ с максимумом (мин) не чувствует разницу между двумя решениями). Классические методы не дадут правильного результата.

В работе строится новая модель поиска оптимума на основе решения задачи сначала ЗНП, затем МДО с использованием нового критерия уточнения  $T_u$ , который введен исходя из физического смысла задачи. Также в работе учитывается возможная нелинейность при объединении альтернатив в выбранном решении (это первое отличие от известных работ), а главное – в модели обобщенной системной интеграции – это возможность использования любого известного метода МДО (а не только линейной свертки).

Нелинейная задача MAO с различными критериями  $W$  (АЛС, минимакс, Гурвица, Сэвиджа и др.) имеет ЦФ:

$$F_3(x) = \sum_i^m \alpha_i \Psi_j(b_i, x_j) \rightarrow \max \tag{9.1}$$

Общий вид данной модели указан на рисунке 1.



Рис. 1 – Структура модели многоальтернативного выбора

Таким образом, для устранения недостатков модели производится объединение ЗНП и МДО в одну модель с возможностью учета системного взаимодействия элементов, входящих во множественный выбор, что и является конечной целью исследования для формирования процедур поддержки принятия решений системным интегратором.

В работе учитывается возможная нелинейность при объединении альтернатив в выбранном решении (это первое отличие от известных работ), а главное – в модели обобщенной системной интеграции - это возможность

использования любого известного метода МДО (а не только линейной свертки). Следует отметить, что в качестве критериев в ЗНП, помимо метода ветвей и границ, используется также поиск минимального столбца и максимальной строки. В МДО используются критерий Вальда (минимаксный), Гурвица, Севиджа и Ходжа-Лемана.

Задачам МДО посвящено большое количество работ, одной из последних анализов является [4], в которой рассматриваются и критически анализируются различные подходы к решению проблемы сужения множества парето-оптимальных решений (ПО-решений), в том числе основанные на обобщённых критериях, использующие «искусственные» отношения предпочтения, интерактивные процедуры, свойства отношения.

Из ПО-решений отбираются решения, удовлетворяющие как можно большему числу критериев (целевой метод), последовательности убывающих по важности критериев (метод лексикографического упорядочения), либо различным вариантам последовательных уступок одного критерия по отношению к другим (метод уступок).

В [6] установлены границы применимости различных методов, использующих обобщённые критерии.

В соответствии с методом целевого программирования выбираемым наилучшим, оптимальным объявляется такое решение, для которого вектор  $f(x)^*$ , соответствующий наилучшему решению  $x^*$ , должен располагаться от множества идеальных векторов на минимальном возможном расстоянии.

В целевом программировании значительное место уделяется нахождению условий, при которых использование той или иной метрики заведомо приводит к парето-оптимальным решениям. Один из результатов подобного рода приведен в [1] в виде теоремы, указывающей целое семейство функций, каждая из которых может быть использована в качестве метрики при реализации того или иного варианта метода целевого программирования.

В [1] обсуждается возможность комбинирования целевого программирования с методом сужения области компромиссов на основе

информации об относительной важности критериев. Этот подход продолжает развиваться и в последних работах [7]: из множества Парето на основе набора квантов информации последовательно удаляются все решения, которые выбирать не следует. Процесс удаления осуществляется до тех пор, пока не будет получен набор решений, удовлетворяющий ЛПР своими размерами.

К настоящему времени насчитываются десятки различного рода человеко-машинных (интерактивных) процедур, согласно которым на основе определённой информации, выявляемой у ЛПР на каждом шаге, строится последовательность точек, предел которой предлагается считать «наилучшим» решением. Эти методы предполагают многократное использование специфической информации, получить которую от ЛПР не просто, а иногда даже и невозможно.

Поэтому принято решение использовать некоторый компромисс.

В рамках решаемой задачи оптимизации множественного выбора в условиях значительного роста количества альтернатив покрытий для МДО подойдут те методы, которые позволяют обрабатывать альтернативы последовательно, не сохраняя все их памяти и без уточнений у ЛПР информации по каждой паре альтернатив.

В результате используется инженерная методика поиска оптимального решения путем чередования различных типов критериев отбора и использование метода уступок по параметру стоимости решения и графического отображения результатов поиска лучшего качества решения.

Отображение в графическом виде фронта Парето - оптимального решения дает возможность на интуитивном уровне эксперту оценить качество отбора критерием различных оценок и увидеть результативность работы самого критерия.

Методика множественного выбора при МДО состоит из следующих шагов:

1. Оценка коэффициентов важности внутри групп компонентов – попарным сравнением критериев как в МАИ;

2. Оценка качества отбора результатов различными критериями, выбор наиболее информативных;

3. Оценка коэффициентов важности между группами компонентов – попарным сравнением групп как в МАИ;

4. Отбор ПО-решений за счет варьирования коэффициентов важности между группами компонентов (как в методах ЭЛЕКТРА), за счет учета нелинейности предпочтения ЛПР конкретного параметра;

5. Уточнение решений за счет нового Ту-критерия, объединяющего в единую модель ЗНП и МДО (ручным указанием предпочтений по выбранному критерию, либо автоматическим поиском критерия с большим весом и применением его для улучшения решения).

Таким образом, построена модель, сочетающая известную парадигму выработки комплексного показателя предпочтительности по модифицированному целевому методу для оптимального выбора построенной совокупности множественных решений с помощью задачи о наименьшем покрытии набора функциональных требований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989.

2. Заозерская Л.А., Колоколов А.А. Исследование и решение двухкритериальной задачи о покрытии множества.//Проблемы информатики.- 2009.- №2 [Электронный ресурс]- Режим доступа-URL: [problem-info.ru/2009-2/2.pdf](http://problem-info.ru/2009-2/2.pdf), (дата обращения: 25.10.2012).

3. Львович Я.Е., Чернышева Г.Д., Каширина И.Л., Воронежский государственный технический университет, Воронежский государственный университет- Оптимизация проектных решений в САПР на основе эквивалентных преобразований задачи о минимальном покрытии. Электронное научно-техническое издание № ФС 77 - 30569. Государственная регистрация №0421100025[Электронный ресурс]- Режим доступа-URL: <http://technomag.edu.ru/index.html>, (дата обращения: 25.06.2012).

4. Ногин В.Д. Границы применимости распространенных методов скаляризации при решении задач многокритериального выбора// Методы <http://ntk.kubstu.ru/file/1588>

возмущений в гомологической алгебре и динамика систем: Межвуз. сб. науч. тр. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2004, С. 59-68.

#### REFERENCES

1. Saati T. Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarkhiy: Per. s angl. – М.: Radio i svyaz, 1989.

2. Zaozerskaya L.A., Kolokolov A.A. Issledovanie i reshenie dvukhkriterialnoy zadachi o pokrytii mnozhestva.//Problemy informatiki.- 2009.- №2 [Elektronnyy resurs]- Rezhim dostupa-URL: [problem-info.ru/2009-2/2.pdf](http://problem-info.ru/2009-2/2.pdf), (data obrashcheniya: 25.10.2012).

3. Lvovich Ya.E., Chernysheva G.D., Kashirina I.L., Voronezhskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet, Voronezhskiy gosudarstvennyy universitet- Optimizatsiya proektnykh resheniy v SAPR na osnove ekvivalentnykh preobrazovaniy zadachi o minimalnom pokrytii. Elektronnoe nauchno-tekhnicheskoe izdanie № FS 77 - 30569. Gosudarstvennaya registratsiya №0421100025[Elektronnyy resurs]- Rezhim dostupa-URL: <http://technomag.edu.ru/index.html>, (data obrashcheniya: 25.06.2012).

4. Nogin V.D. Granitsy primenimosti rasprostranennykh metodov skalyarizatsii pri reshenii zadach mnogokriterialnogo vybora// Metody vozmushcheniy v gomologicheskoy algebre i dinamika sistem: Mezhvuz. sb. nauch. tr. Saransk: Izd-vo Mordov. un-та, 2004, S. 59-68.

#### *THE MODEL OF SYSTEM INTEGRATION BASED ON MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION WITH MULTIPLE CHOICE*

**V.N. KHALIZEV, D.V. UGRYUMOV**

*Kuban State Technological University,  
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072,  
e-mail: ha53@mail.ru*

The article presents the results of studies on the construction of a model of system integration that combines the well-known paradigm of an integrated indicator of preference on a modified target method for ranking selection with the construction of a series of multiple solutions in the form of the problem of the smallest covering set of functional requirements.

**Key words:** decision making, selection criteria, analysis of hierarchies, the minimum coverage.