



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • Электронная библиотека

Препринты ИПМ • Препринт № 6 за 2017 г.



ISSN 2071-2898 (Print)
ISSN 2071-2901 (Online)

Осипов В.П., Судаков В.А.

Многокритериальный анализ
решений при нечетких
областях предпочтений

Рекомендуемая форма библиографической ссылки: Осипов В.П., Судаков В.А.
Многокритериальный анализ решений при нечетких областях предпочтений // Препринты ИПМ
им. М.В.Келдыша. 2017. № 6. 16 с. doi:[10.20948/prepr-2017-6](https://doi.org/10.20948/prepr-2017-6)
URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2017-6>

**Ордена Ленина
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ
имени М.В.Келдыша
Российской академии наук**

В.П. Осипов, В.А. Судаков

**Многокритериальный анализ решений
при нечетких областях предпочтений**

Москва — 2017

Осипов В.П., Судаков В.А.

Многокритериальный анализ решений при нечетких областях предпочтений

Рассмотрена задача ранжирования альтернатив на основе предпочтений, заданных в нечетких областях. Дана формализация понятия нечетких шкал критериев, нечетких предпочтений. Разработан алгоритм нечеткого ранжирования альтернатив. Для хранения формализованной информации о нечетких предпочтениях рассмотрены подходы на основе реляционных и JSON структур данных. На портале веб-сервисов поддержки решений ws-dss.com в свободном доступе размещена программная реализация нечеткого ранжирования.

Ключевые слова: нечеткие области предпочтений, многокритериальный анализ альтернатив, JSON, веб-сервисы поддержки принятия решений

Vladimir Petrovich Osipov, Vladimir Anatolievich Sudakov

Multi-criteria decision analysis with fuzzy preference areas

The problem of alternatives ranking based on the preferences defined in fuzzy areas was conceded. Formalization of the concept of fuzzy scales criteria and fuzzy preferences was given. The algorithm of fuzzy ranking alternatives was developed. To store information about formalized fuzzy preferences there were discussed some approaches based on relational and JSON data structures. Web services for decision support (ws-dss.com) contains fuzzy ranking software implementation for free use.

Key words: fuzzy preferences area, multi-criteria analysis of alternatives, the JSON, web services for decision support

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 16-01-00571-а.

Оглавление

Введение	3
Формализация задачи и алгоритмы решения	4
Информационная модель представления нечетких предпочтений.....	11
Программная реализация.....	14
Заключение.....	15
Библиографический список.....	16

Введение

В задачах многокритериального анализа альтернатив существенную роль играют предпочтения лица, принимающего решения (ЛПР). Использование методов, где подобные предпочтения не учитываются, имеет серьезные ограничения. Так, анализ Парето-оптимальных множеств зачастую приводит к большому количеству недоминируемых альтернатив [1]. Особенно это проявляется, если число критериев или альтернатив велико. Суждения ЛПР могут задаваться в различной форме [2]:

- непосредственное назначение весов критериев;
- парные сравнения критериев;
- парные сравнения альтернатив по выбранному критерию;
- указание наилучшего решения (идеальной точки);
- приписывание точкам пространства критериев полезностей, предпочтений.

Это далеко не полный список подходов. Многие из них имеют две разновидности: качественные суждения и количественные суждения.

В качественных суждениях мы определяем отношения предпочтения между заданными объектами. Например, сообщаем что критерий А предпочтительней критерия Б, но не сообщаем *насколько* он лучше. При подобном подходе мы, как и при Парето-оптимальном выборе, сталкиваемся с проблемами большого количества альтернатив, которые нельзя различить по предпочтительности.

Количественные суждения позволяют существенно повысить различимость альтернатив в критериальном пространстве. Однако с ними возникает другая проблема: насколько мы можем доверять полученным оценкам?

Предпочтения, которые нам сообщает ЛПР, на самом деле носят неточный, «расплывчатый», нечеткий характер. Кроме того, и сами оценки альтернатив по критериям зачастую даются с некой погрешностью, которую необходимо учитывать. Для учета нечетких суждений целесообразно использование аппарата «мягких» вычислений, теории нечетких множеств.

В задачах поддержки принятия решений аппарат нечетких множеств используется уже достаточно давно. Есть большое количество исследований по этому поводу [2-5]. Однако обычно авторы пытаются использовать классические подходы теории принятия решений, «механически» заменяя четкие числа на нечеткие. Например, вместо четких значений весов критериев используют нечеткие веса. Это приводит к следующим проблемам:

- непонятно, как следует задавать функции принадлежности весов;
- результат нечеткой взвешенной суммы трудно объяснить ЛПР и провести корректировку весов в случае получения неадекватных оценок альтернатив;

- степень «размытости» оценок одних критериев может зависеть от того, какие значения приняли другие критерии.

В данной работе предлагается новый метод определения нечетких суждений ЛПР, сочетающий подходы, используемые до настоящего времени при нечетком автоматическом управлении на основе экспертных суждений [6,7], и идею разбиения пространства критериев на области, предложенную авторами в комбинированном методе поддержки принятия решений [8].

Предлагается разбить области определения всех критериев на нечеткие интервалы. При этом допускается пересечение таких интервалов с учетом ограничений на максимальную и минимальную степень принадлежности любого значения критерия. Далее для некоторых комбинаций нечетких значений критериев ЛПР высказывает свои суждения в нечеткой шкале предпочтений. Полученная модель системы ценностей ЛПР проверяется на предмет покрытия всех точек критериального пространства с уровнем предпочтений не ниже заданного. Далее полученная модель может использоваться для оценки произвольного количества альтернатив в автоматическом режиме. На вход модели могут подаваться как четкие, так и нечеткие значения критериев, и далее метод позволяет построить функции принадлежности альтернатив всем областям предпочтений. На заключительном этапе предлагается: или проводить дефазификацию нечетких рангов альтернатив, или определять нечеткие отношения доминирования альтернатив.

Формализация задачи и алгоритмы решения

Пусть дано n критериев. Для каждого из них задана нечеткая шкала – множество возможных значений критерия разбито на отдельные нечеткие градации:

i – номер критерия ($i=1..n$),

S_i – шкала i -го критерия,

q_i – число градаций в шкале S_i ,

$$S_i = \{t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{iq_i}\}, \text{ где} \quad (1)$$

t_{ij} – нечеткая градация шкалы критерия.

Нечеткие градации задаются с помощью функции принадлежности:

$\mu_{ij}(x)$ – функция принадлежности четких значений i -го критерия j -й градации.

Нечеткие градации по сути своей представляют собой обычные нечеткие числа, но есть ограничения при их задании. При построении четкой шкалы критериев в качественных методах многокритериального анализа требовалось, чтобы градации не пересекались [2,8], однако по отношению к нечетким градациям допустима некая степень пересечения. Степень неоднозначности разбиения на градации для критерия, заданного на интервале $[x_1, x_2]$, может быть определена соотношением:

$$\xi_i = \max_{j_1, j_2} \frac{\int_{x_1}^{x_2} \min[\mu_{ij_1}(x), \mu_{ij_2}(x)] dx}{\int_{x_1}^{x_2} \max[\mu_{ij_1}(x), \mu_{ij_2}(x)] dx}. \quad (2)$$

Соотношение (2) показывает, что мы строим нечеткое пересечение всех пар градаций и определяем максимальную площадь для полученных пересечений, нормированную по площади объединения градаций.

Кроме того, требуется, чтобы в области определения критерия не оставалось значений, не покрытых градациями. Применительно к нечеткой постановке задачи требуется определить функцию принадлежности объединения всех градаций и найти ее точную нижнюю грань на области определения критерия:

$$\zeta_i = \inf_x \left(\max_j \mu_{ij}(x) \right). \quad (3)$$

Полученные значения ξ_i и ζ_i определяют эффективность разбиения. Их нужно сравнить с заданными константами. То есть требуется выполнение соотношений:

$$\forall i: \xi_i \leq \alpha, \zeta_i \geq \beta. \quad (4)$$

Конкретные значения констант α и β выбираются исходя из требований к качеству принимаемых решений и «нечеткости» суждений ЛПР. При работе с четкими критериями $\alpha = 0$ и $\beta = 1$, однако нечеткость не позволяет достигнуть нам таких значений. В решаемых практических задачах хорошим приближением являются: $\alpha = 0.3$ и $\beta = 0.7$.

Примеры возможного вида шкал показаны на рисунках 1 и 2. Функцию принадлежности градации удобно задавать многоугольником, обычно они представлены в виде треугольника или трапеции.

Построение функций принадлежности в общем виде обычно затруднительно для ЛПР. Однако в данном случае предлагаются следующие алгоритмы. Алгоритм для трапециевидных градаций:

- 1) ЛПР задает четкие интервалы разбиения;
- 2) происходит автоматическое «размытие» границ интервалов: интервал (x, y) заменяется на нечеткую градацию:

$$t = \left\{ \frac{0}{x-d}; \frac{1}{x+d}; \frac{1}{y-d}; \frac{0}{y+d} \right\}, \text{ где} \quad (5)$$

$$d = (x_2 - x_1) * 10\%.$$

- 3) полученные градации предъявляются ЛПР.

Алгоритм для треугольных градаций:

- 1) ЛПР задает существенные для него значения критериев (точки на шкале);
- 2) происходит автоматическая замена точек на треугольные функции принадлежности, так точка x_k заменяется на нечеткую градацию:

$$t = \left\{ \frac{0}{x_{k-1}}; \frac{1}{x_k}; \frac{0}{x_{k+1}} \right\}; \quad (6)$$

- 3) полученные градации предъявляются ЛПР.

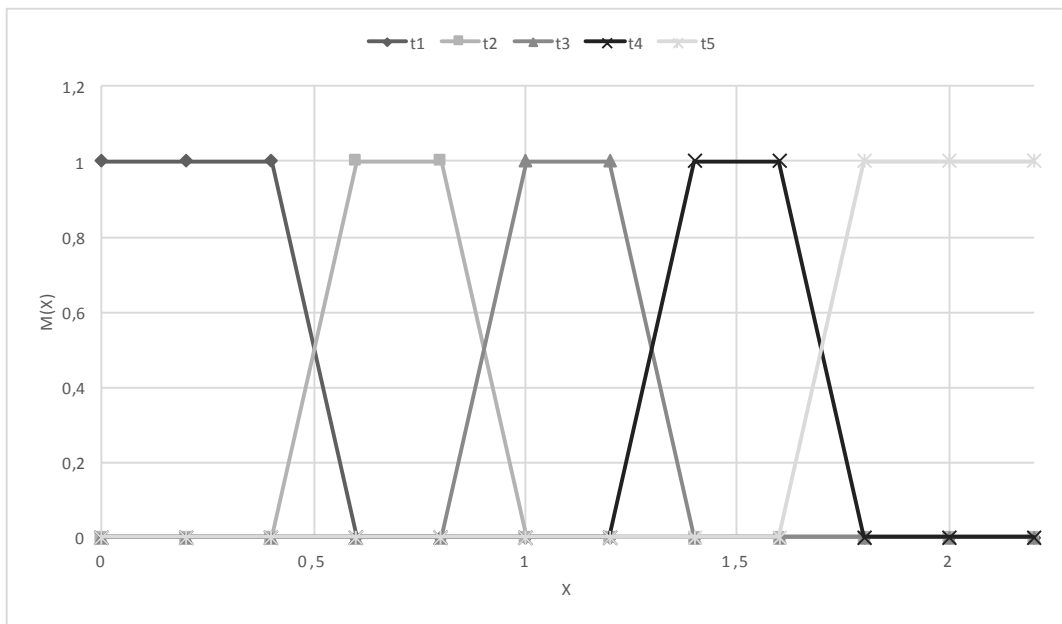


Рис. 1. Разбиение шкалы на нечеткие трапецевидные градации

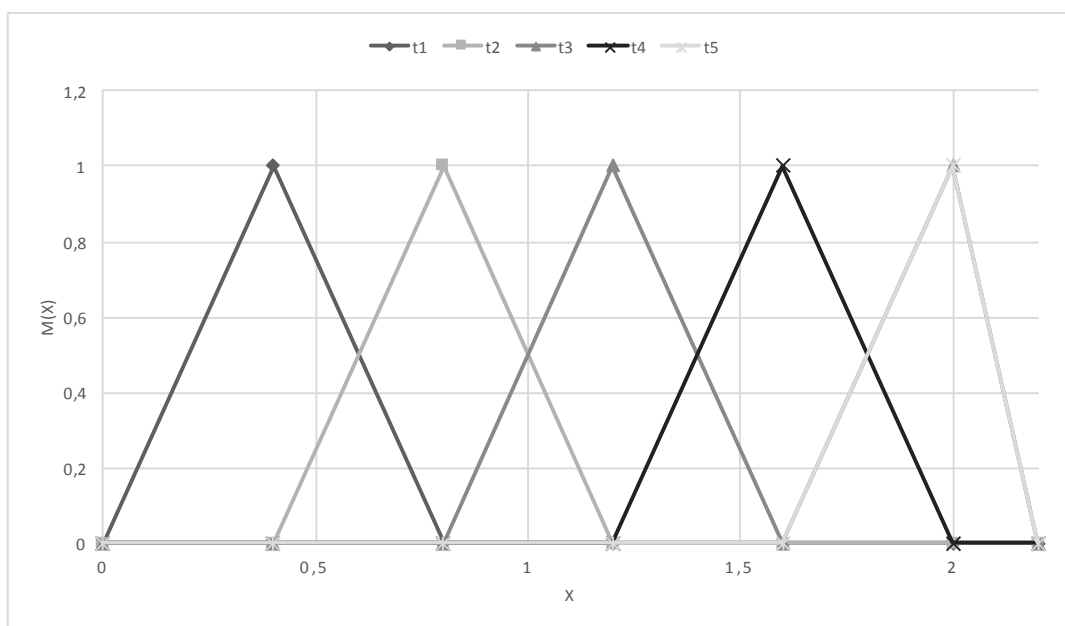


Рис. 2. Разбиение шкалы на нечеткие треугольные градации

В заданных шкалах мы можем разбить критериальное пространство на области, определяемые как комбинации значений градаций. Множество таких областей, которое образуется как декартово произведение S_i , будем называть полным множеством нечетких альтернатив:

$$A = \{t_{11}, t_{12}, \dots, t_{1q_1}\} \times \{t_{21}, t_{22}, \dots, t_{2q_2}\} \times \dots \times \{t_{n1}, t_{n2}, \dots, t_{nq_n}\}. \quad (7)$$

Мощность этого множества:

$$Q = |A| = \prod_{i=1}^n q_i. \quad (8)$$

В идеальном случае нам требуется задать уровень предпочтений для всех элементов множества A . Опыт решения аналогичных задач с четкими градациями показал высокую трудоемкость данной процедуры. В нечеткой постановке градации могут покрывать достаточно большие области критериального пространства с различным уровнем функции принадлежности, поэтому только для некоторых из этих областей мы зададим нечеткий уровень предпочтений. Введем следующие обозначения:

k – номер области предпочтений;

K – число областей, на которых ЛПП задал свои предпочтения (очевидно, что выполняется соотношение $K \leq Q$);

$M_k = (j_1, j_2, \dots, j_n)$ – кортеж номеров градаций, участвующих в определении k -й области (предполагаем, что должны быть заданы нечеткие области по всем критериям);

p_k – нечеткий уровень предпочтений k -й области;

$\rho_k(y)$ – нечеткая функция принадлежности для k -й области.

Рассмотрим задачу определения уровня предпочтительности альтернативы с конкретными значениями критериев (x_1, x_2, \dots, x_n) . В зависимости от типа значений критериев необходима их предварительная обработка – приведение к нечеткому виду путем задания нечеткой функции принадлежности конкретного значения критерия $\lambda_{ix_i}(x)$. Так как рассматривается задача ранжирования на конечном множестве альтернатив, то число таких функций будет конечно.

Если критерий принимает четкие числовые значения – функция принадлежности примет вид:

$$\lambda_{ix_i}(x) = \begin{cases} 1, & x = x_i, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (9)$$

Однако на практике даже для объективных результатов измерений значений критериев присутствует некая погрешность, поэтому целесообразно

задавать функцию принадлежности в треугольном виде с учетом погрешности σ :

$$\lambda_{ix_i}(x) = \begin{cases} \frac{x - x_i}{\sigma} + 1, & x \in [x_i - \sigma, x_i] \\ \frac{x_i - x}{\sigma} + 1, & x \in (x_i, x_i + \sigma] \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (10)$$

Лексические значения критериев также требуют задания функции принадлежности. Вид функции принадлежности определяется физическим смыслом рассматриваемых лексических значений. Если эти значения определяют некоторую номинальную шкалу, то функция принадлежности будет иметь вид (9). Например, в задаче выбора автомобиля критерий цвет может быть «зеленый», или «белый», или «черный». Каждому из этих значений будет соответствовать своя функция принадлежности. Так, для зеленого цвета авто:

$$\lambda_{i\text{"зеленый"}}(x) = \begin{cases} 1, & x = \text{"зеленый"} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (11)$$

Однако возможен и другой вид лексического значения, когда лексический терм описывает степень «размытости» суждений о значении критерия. Например, максимальная скорость автомобиля: «высокая», «средняя», «низкая». Так для высокой скорости:

$$\lambda_{i\text{"высокая скорость"}}(x) = \begin{cases} 1, & x > 200 \\ \frac{x}{20} - 9, & x \in [180, 200] \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (12)$$

Определение интегрального ранга альтернативы аналогично процедуре нечеткого управления, предложенной в работах [6,7]. Мы можем рассматривать определение нечетких областей как нечеткую импликацию вида **ЕСЛИ нечеткие значения критериев = нечетким градациям области M_k ТО предпочтительность альтернативы = заданному для области нечеткому уровню предпочтений p_k** . Данная импликация записывается в виде:

$$p_k(y, x_1, x_2, \dots, x_n) = \min \left(\min_i \left[\sup_x (\min \langle \lambda_{ix_i}(x), \mu_{i \text{pr}_i M_k}(x) \rangle) \right], \rho_k(y) \right) \quad (13)$$

Объединение всех нечетких значений предпочтений по всем областям даст итоговую нечеткую предпочтительность альтернативы:

$$p(y, x_1, x_2, \dots, x_n) = \max_k p_k(y, x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (14)$$

После построения итоговой функции принадлежности для некоторых альтернатив может оказаться, что $p(y, x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$ или близко к 0. Это говорит о том, что есть точки критериального пространства, не охваченные областями предпочтений. В этом случае следует произвести изменение шкал и/или добавить новые области (увеличить k).

Далее можно определить нечеткое отношение доминирования альтернатив, что трудоемко и может приводить к неоднозначному ранжированию.

В случае большого числа сравниваемых альтернатив целесообразно провести дефаззификацию предпочтений методом центра тяжести:

$$\tilde{p}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{\int_{y_1}^{y_2} yp(y, x_1, x_2, \dots, x_n) dy}{\int_{y_1}^{y_2} p(y, x_1, x_2, \dots, x_n) dy}. \quad (15)$$

Если все исходные функции принадлежности были заданы в форме ломанной линии, то полученная функция принадлежности уровня предпочтений $p(y, x_1, x_2, \dots, x_n)$ также представляет собой ломанную линию. В этом случае интегрирование проводится по формуле:

$$\tilde{p} = \frac{\sum_{l=1}^{s-1} \left(a_l \frac{y_{l+1}^3 - y_l^3}{3} + b_l \frac{y_{l+1}^2 - y_l^2}{2} \right)}{\frac{1}{2} \sum_{l=1}^{s-1} \left((y_{l+1} - y_l) (p(y_{l+1}) + p(y_l)) \right)}, \text{ где} \quad (16)$$

s – число вершин ломанной,

y_l – координата вершины ломаной,

$p(y_l)$ – значение функции принадлежности в вершине ломанной,

a_l и b_l – коэффициенты уравнения отрезка ломанной $p(z_l) = a_l y_l + b_l$.

Для компактности записи здесь не указано, что p , \tilde{p} , a и b являются функциями от (x_1, x_2, \dots, x_n) , a_l и b_l определяются соотношениями:

$$a_l = \frac{p(y_{l+1}) - p(y_l)}{y_{l+1} - y_l}, \quad (17)$$

$$b_l = p(y_l) - a_l y_l. \quad (18)$$

Далее необходимо провести ранжирование альтернатив с полученными четкими рангами \tilde{p} .

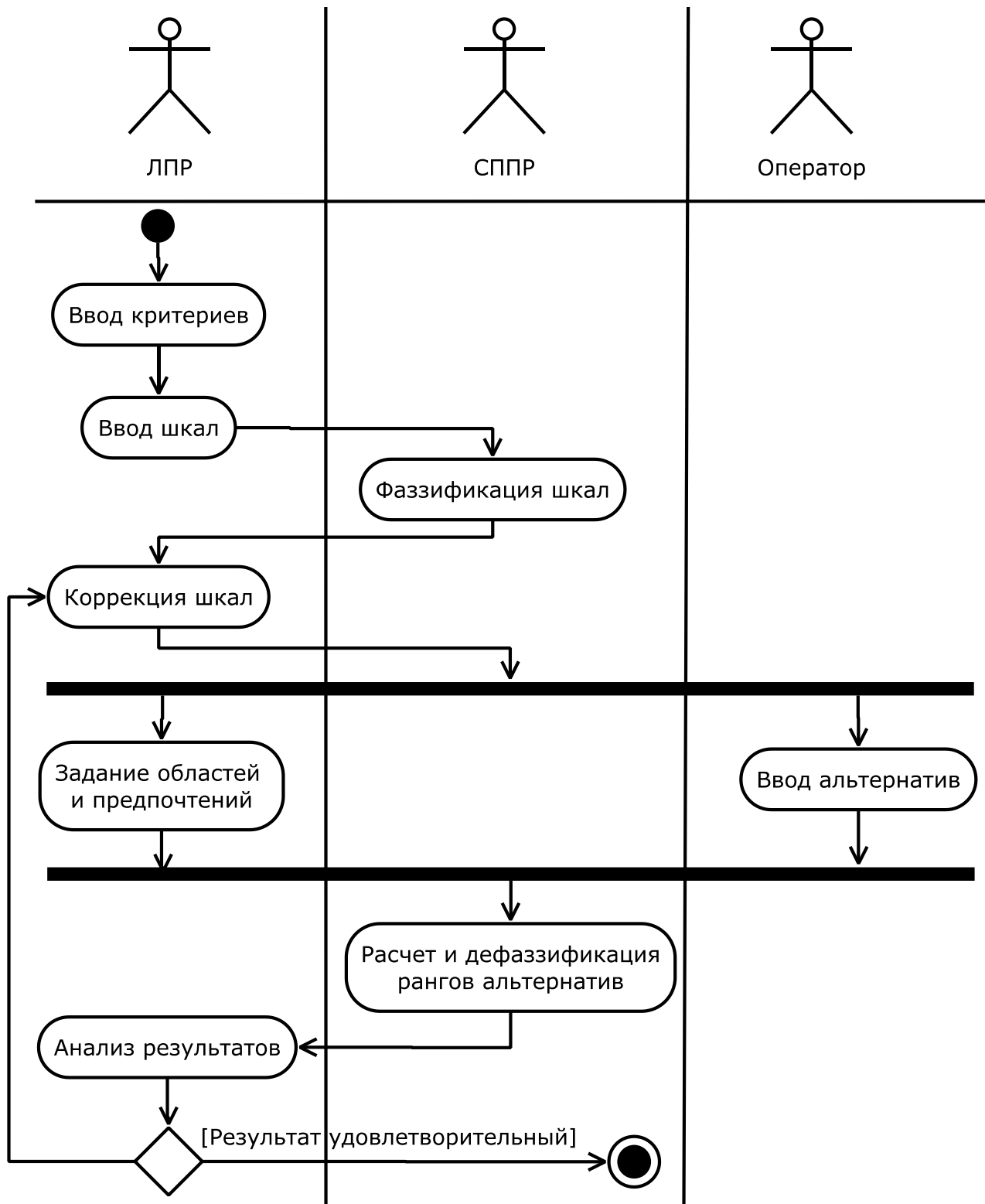


Рис. 3. Алгоритм процедуры нечеткого ранжирования альтернатив

Общая схема алгоритма работы метода показана на рисунке 3. В алгоритме задействованы:

- ЛПР – отвечает за ввод критериев, задает шкалы, корректирует шкалы, вводит предпочтения;

- оператор (эксперт) – может вводить оценки альтернативам по первичным критериям, после того как заданы критерии и шкалы;
- СППР – система поддержки принятия решений реализует требуемые математические методы, включая операции с нечеткими множествами и числами.

В случае неудовлетворительного результата ЛПР возвращается на этап ввода и редактирования шкал и предпочтений. Этап задания предпочтений и ввод нечетких оценок альтернатив могут проходить параллельно.

Если для какой-то альтернативы не существует хотя бы одной точки с достаточным уровнем принадлежности более 0.5, то требуется вводить новую область предпочтений на градациях, обеспечивающих максимум принадлежности заданной альтернативы. Если не существует такой комбинации градаций, при которой обеспечивается принадлежность альтернативы области на уровне не менее чем 0.5, то следует задать новые градации.

Информационная модель представления нечетких предпочтений

В данном разделе рассмотрим сначала реляционное представление нечетких предпочтений, показанное на рисунке 4.

В реляционном представлении все нечеткие числа и множества представлены сущностью FuzzySet. Причем экземпляры этой сущности могут представлять собой: нечеткие градации, нечеткие уровни предпочтительности областей пространства критериев, нечеткие экспертные оценки конкретных альтернатив. Если FuzzySet соответствует нечеткому числу, то необходимо определить ломаную для функции принадлежности в Polyline. Если FuzzySet – нечеткое множество, то элементы этого множества и их принадлежность задаются в сущности Membership.

Следующей принципиальной сущностью является Criterion. Она содержит как первичные критерии, которые задает эксперт, так и обобщенный критерий, соответствующий рангу альтернативы. Такая схема кажется на первый взгляд избыточной – на выходе у нас всегда один интегральный показатель, но она позволяет строить иерархию агрегирования критериев с произвольным числом уровней вложенности. Корень такого дерева не задается явным атрибутом, а определяется как критерий, который не участвует в вычислении других критериев, но может быть вычислен сам.

Нечетким шкалам соответствует сущность Scale. Она связывает нечеткие градации и критерии. Нечеткая область критериального пространства определяется записями в Condition. База спроектирована таким образом, что значения критериев для области могут быть выбраны только из шкалы. Способность контролировать ссылочную целостность реляционной базы на уровне СУБД является одним из неоспоримых преимуществ реляционного

подхода. Для каждой нечеткой области в сущности Rule задано нечеткое значение агрегирующего критерия.

Альтернативам соответствует сущность Alternative. Значения критериев для каждой альтернативы хранятся в CriterionValue. Значением критерия может быть либо четкое число (CriterionValue.num_value), либо нечеткое число или множество (CriterionValue.fuzzy_set_id).

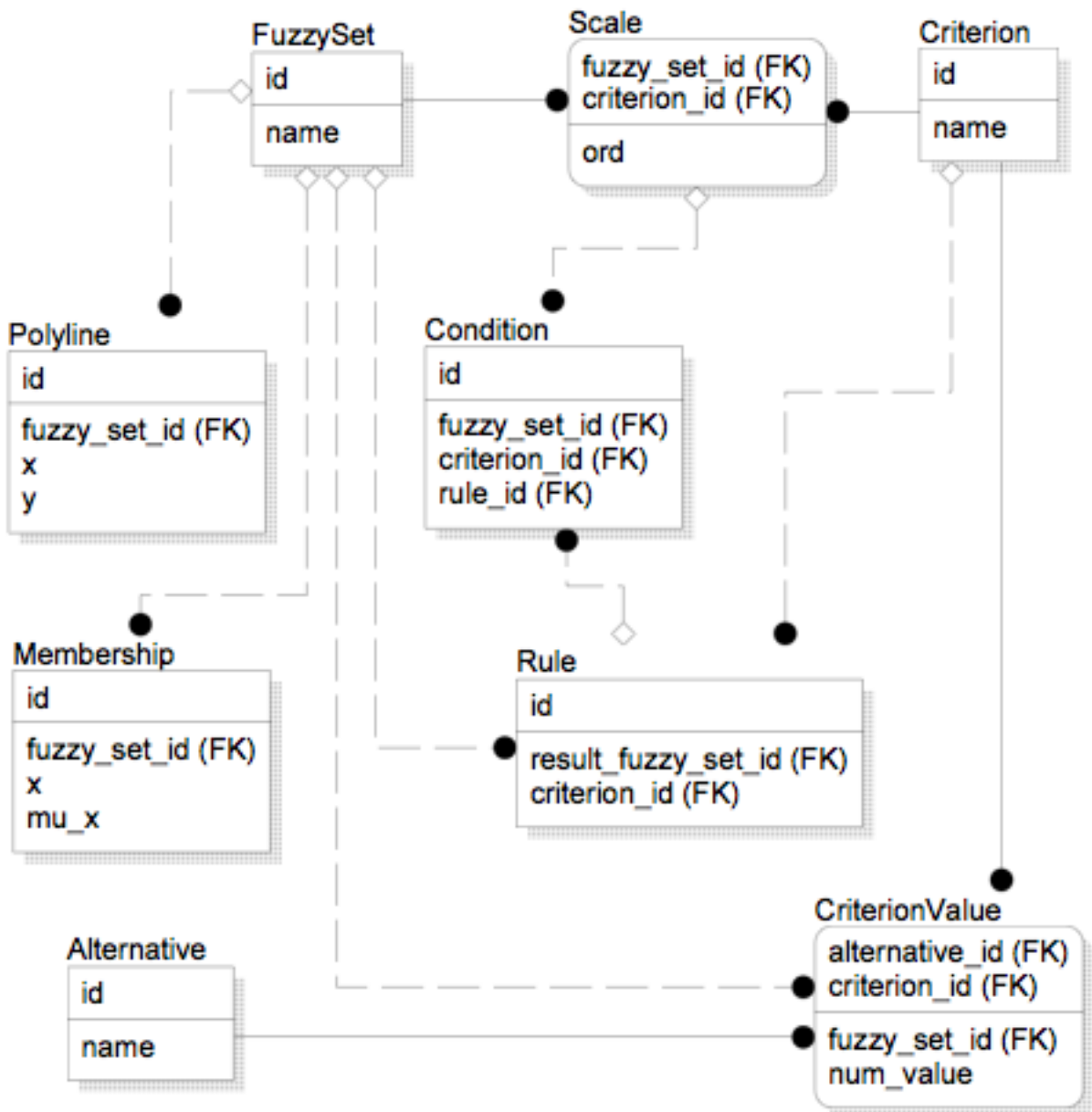


Рис. 4. Схема реляционного представления нечетких предпочтений

Одним из недостатков схемы, представленной на рисунке 4, является неэффективность при обработке большого числа записей в таблице Polyline. Оно может образовываться при оцифровке гладких функций принадлежности сложной формы и при выполнении расчетов по пересечению и объединению нечетких множеств по формулам (13) и (14). Записей в Condition в случае

большого числа градаций и критериев также может быть много. Кроме того, реляционные СУБД плохо масштабируются.

Другим способом представления нечеткой задачи является формат JSON. JSON содержит аналогичные реляционным сущности, представленные в форме соответствующих хешей и массивов. Ключ хеша – это имя соответствующей сущности или атрибута сущности. В JSON мы получаем возможность вкладывать одни объекты в другие и таким образом повышаем компактность представления данных. Ниже приведен фрагмент JSON представления данных о предпочтениях:

```

{
  "fuzzy_sets": [
    {
      "name": "about 1",
      "polyline": [[0,0], [1,1], [2.5,0]]
    },
    {
      "name": "from 1 to 3",
      "polyline": [[0.99,0], [1,1], [3,1], [3.01,0]]
    },
    {
      "name": "good",
      "polyline": [[3,0], [5,1]]
    },
    {
      "name": "red",
      "membership": [["red",1]]
    },
    ...
  ],
  "criteria": [
    {
      "name": "crit1",
      "scale": ["about 1", "about 2", "big num"]
    },
    ...
    {
      "name": "crit3",
      "scale": ["green", "red"]
    },
    {
      "name": "generalized criterion",
      "scale": ["bad", "good"],
      "rules": [
        {"conditions": {"crit1": "about 1",
                       "crit2": "about 1", "crit3": ["green", "red"]},
         "result": "bad"}
      ],
    },
    ...
  ],
  "alternatives": [
    {"crit1": 1.5, "crit2": 0.1, "crit3": "green"},
    {"crit1": 2, "crit2": 2, "crit3": "red"},
    {"crit1": 1, "crit2": 1, "crit3": "red"}
  ]
}

```

С JSON данными могут работать так называемые NoSQL СУБД, которые хорошо масштабируются. К недостаткам такого подхода следует отнести сложность обеспечения согласованности данных. Согласованность NoSQL данных обычно обеспечивается уровнем промежуточного программного обеспечения, реализующего объектно-ориентированные модели представления данных.

Окончательный выбор того или иного подхода к реализации нечетких представлений зависит от используемых систем программирования, планируемой нагрузки на систему, объема исходных данных, централизованной или распределенной архитектуры программного обеспечения.

Программная реализация

Для апробации предложенного подхода была разработана программная реализация процедуры нечеткого ранжирования альтернатив на языке Ruby. Язык Ruby – динамический язык программирования с открытым исходным кодом. Он обладает лаконичным элегантным синтаксисом и позволяет легко и быстро разрабатывать достаточно сложные объектно-ориентированные программы.

Первое, что требовалось для разработки, – это библиотека стандартных операций для работы с нечеткими множествами и числами. Несмотря на большое количество разработок на Ruby и обширное сообщество Ruby-программистов, на Ruby не было подходящей библиотеки. Классы для работы с нечеткими числами и множествами были разработаны и выложены на <https://github.com/sudakov/fuzzy-dss/>. В дальнейшем планируется поместить их в gem библиотеку – универсальный механизм Ruby по распространению библиотек. Вместо написания своей библиотеки можно было воспользоваться одним из существующих пакетов, например Fuzzy Logic Toolbox, входящим в состав MATLAB. Однако тогда вся система в целом перестает быть открытой. Включение проприетарного программного обеспечения сразу сужает круг потенциальных пользователей разработанного программного решения.

Разработанная программная реализация нечеткого ранжирования размещена в открытом доступе на портале <http://ws-dss.com>. Портал веб-сервисов поддержки принятия решений WS-DSS позволяет публиковать в сети Интернет произвольные консольные программные реализации математических моделей на Ruby, а также позволяет подключать другие веб-сервисы и организовывать «цепочки» вызовов математических моделей с передачей входных/выходных параметров между ними. Обработка моделей реализована диспетчером очередей Sidekiq, она позволяет масштабировать потоки обработчики (workers) на произвольном количестве узлов вычислительного кластера.

Исходные данные для нечеткого ранжирования представлены в описанном выше формате JSON. На рисунке 5 представлен результат расчета рангов альтернатив в формате JSON.

Пользователь: vsudakov@bk.ru Русский | English

Главная страница Профиль Учебные материалы Задачи Модели

Студенты Администрирование Выйти

Метод: fuzzy_preferences
 Пользователь: vsudakov@bk.ru
 Входные данные:
 ...

Выходные данные:

```
[
  {
    "crit1": 1.5,
    "crit2": 0.1,
    "crit3": "green",
    "generalized criterion": 1.7999999999999996,
    "mu": [
      [
        0.0,
        0.0
      ],
      [
        1.0,
        0.1
      ]
    ]
  }
]
```

Рис. 5. Результат нечеткого ранжирования

Заключение

Предложенный метод поддержки принятия решений позволяет проводить ранжирование альтернатив на основе нечетких предпочтений ЛПР, заданных в нечетких областях, с учетом нечетких суждений экспертов. Разработаны соотношения и правила, позволяющие оценить степень полноты задания нечетких суждений. Лексические и четкие числовые оценки могут использоваться для некоторых критериев путем определения для них специальной нечеткой функции принадлежности. К достоинствам предложенного подхода можно отнести то, что после ввода предпочтений и предварительной настройки метод может проводить ранжирование произвольного количества альтернатив в режиме, приближенном к реальному времени.

Разработана информационная модель представления нечетких суждений, реализованная в реляционном подходе и с использованием структур данных

JSON. В зависимости от выбранных средств тот или иной подход предпочтителен. Также возможно комбинирование обоих подходов. В разработанной программной реализации процедуры нечеткого ранжирования использован подход на базе JSON, что обеспечило повышение скорости реализации метода.

Портал ws-dss позволяет ученым, исследователям, студентам получить доступ к реализации метода нечеткого ранжирования на базе областей предпочтений. Программисты прикладных систем могут воспользоваться данным методом, обращаясь к RESTful API интерфейсу, опубликованному в открытом доступе на портале ws-dss.

Библиографический список

1. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Дрофа, 2006. – 175 с.
2. Бомас В.В., Судаков В.А. Поддержка субъективных решений в многокритериальных задачах. – М.: Изд-во МАИ, 2011. 173 с.
3. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования. - Рига: Зинатне, 1990. 184 с.
4. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: Наука, 1981. 208 с.
5. Ногин В.Д. Принцип Эджворта-Парето и относительная важность критериев в случае нечеткого отношения предпочтения // Журнал вычислительной математики и математической физики, 2003, т. 43, № 11, с. 1676-1686.
6. Прикладные нечеткие системы: Пер. с япон./ К.Асаи, Д.Ватада, С.Иваи и др.; под ред. Т.Тэрано, К.Асаи, М.Сугэно. – М.:Мир, 1993. 368 с.
7. E. Mamdani, "Applications of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant," Proceedings of IEEE, Vol. 121, No. 12, 1974, pp. 1585-1588.
8. Осипов В.П., Судаков В.А. Комбинированный метод поддержки принятия многокритериальных решений // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2015. № 30. 21 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2015-30>