

УДК 681.3: 519.68

С.В. Микони¹

МЕТОДОЛОГИЯ ВЫБОРА НА ОСНОВЕ УВЕЛИЧЕНИЯ ОБЪЁМА ПРЕДПОЧТЕНИЙ*

Методы многокритериального выбора разделены относительно способа использования критериев на методы последовательного, параллельного и смешанного выбора. Показано, что методы параллельного выбора связаны между собой количеством предпочтений, задаваемых на шкалах признаков. Это позволило предложить методологию перехода от менее информативных по предпочтениям методов к более информативным по мере более глубокого проникновения ЛПР в рассматриваемую предметную область.

Введение

Результат решения любой задачи не вызывает сомнений, если выбранная модель и метод имеют строгие доказательства. Это условие соблюдается для типовых задач из различных разделов математики. Задачи искусственного интеллекта не отвечают этим условиям по причине высокой степени неопределённости. Неопределённость обуславливается отсутствием необходимой информации для создания модели. Применение незавершённой модели влечёт риск получения неправильного результата. Одним из способов уменьшения неопределённости является использование известных результатов решения задачи. Он реализуется путём обучения модели на типовых примерах. Такой подход применяется при создании нейросетевых моделей. При этом достоверность результата решения задачи зависит от представительности выборки примеров, использованной для обучения модели.

В том случае, когда типовые примеры отсутствуют, обучение модели может выполняться путём поэтапного уточнения модели с использованием дополнительной информации. Такой подход применяется при разработке программных систем методом прототипирования. Рассмотрим этот подход применительно к задачам выбора.

¹ 190031, СПб., Московский пр.9, ПГУПС, svm@sm4265.spb.edu

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-01-00912)

1. Постановка задачи

Создание модели выбора начинается с проектирования дерева целей. Под частные цели подбираются измеряемые показатели (признаки) $F=\{f_1, \dots, f_j, \dots, f_n\}$ и их шкалы в единицах измерения. Далее формируется множество альтернатив $X=\{x_1, \dots, x_i, \dots, x_N\}$, характеризуемых выбранными показателями. Множества показателей и альтернатив оцениваются на предмет полноты, избыточности, независимости и непротиворечивости. Полученная модель представляет собой *модель-прототип* рассматриваемой предметной области (ПО). Заполненная значениями признаков она превращается в *модель-экземпляр* ПО. На этом этапе решается проблема достоверности исходных данных. Все перечисленные этапы создания модели сопровождаются логическим и математическим обоснованием. Допустим, что полученная таким образом модель модель-экземпляр ПО достаточно обоснована.

Следующим этапом создания модели выбора является задание условий оценивания. На этом этапе ЛПР формулирует свои предпочтения. Поэтому эту часть модели выбора можно именовать *моделью ЛПР*. ЛПР задаёт важность показателей $w=(w_1, \dots, w_j, \dots, w_n)$ и предпочтения на их шкалах. В теории полезности к ним добавляется ценность делений шкалы показателя. Системный аналитик выбирает метод решения задачи: выбор границ шкал $[y_{j,\min}, y_{j,\max}]$, $j = \overline{1, n}$, способ сбора дополнительной экспертной информации, вид синтезирующей функции. Рассмотрим возможность применения единого подхода к решению задачи выбора, основанного на идее приращения предпочтений.

2. Систематизация методов выбора

Относительно способа использования критериев методы выбора делятся на *последовательные, параллельные и смешанные*.

2.1. Последовательный выбор

Он основан на поэтапном отсеивании неперспективных альтернатив. На j -м этапе используется признак f_j , характеризующий j -е свойство альтернатив. Последовательность применения признаков определяется их важностью $w=(w_1, \dots, w_j, \dots, w_n)$. Важность может определяться степенью измельчения подмножеств альтернатив на j -м шаге выбора, предпочтениями ЛПР и статистическими данными. Подмножество альтернатив, оставляемое для последующего измельчения на j -м шаге процедуры, определяется по предпочтительному значению j -го признака. Оно задаётся для каждой конкретной задачи выбора (поиска нужного решения).

Последовательный выбор можно рассматривать как частный случай методов последовательного поиска, самым простейшим из которых является метод «проб и ошибок». Выделим 6 групп методов последовательного выбора.

1. **Лексикографическая оптимизация.** Выполняется последовательное упорядочение объектов по значениям критериев, начиная с важнейшего критерия. В программировании такой способ упорядочения называется многомерной сортировкой.

2. **Экспертная система.** Последовательный выбор реализуется через опрос пользователя. Критерием разбиения множества альтернатив является вопрос системы. Ответ на вопрос означает предикат, реализующий текущий критерий. Отсеиваемое множество альтернатив принадлежит ветви дерева поиска решения, поставленной в соответствие ответу «Нет» пользователя. Применение пользователем коэффициента уверенности ответа влечёт расчёт общего коэффициента уверенности всей процедуры выбора по правилам нечёткой логики.

3. **Поиск неисправности.** Каждое тестовое воздействие на объект разбивает множество потенциальных неисправностей на подмножества. Процесс завершается выделением неисправности. Критерием выбора на каждом шаге процедуры является степень разбиения множества неисправностей очередным тестовым воздействием.

4. **Байесовский вывод.** Он используется для решения задач вероятностного типа с вычислением апостериорной вероятности исходов на каждом шаге процедуры.

5. **Антагонистическая игра.** Она характеризуется поочерёдными ходами противоборствующих сторон. Для оценивания исходов выбора здесь также используются статистические данные. Игроком выбирается ход с наибольшей вероятностью выигрыша.

Комбинаторные задачи. Поиск решения осуществляется методом ветвей и границ, либо методом динамического программирования.

2.2. Параллельный выбор

Он предполагает одновременное использование всех признаков при формировании отношения предпочтения на множестве альтернатив. Выделим 5 групп методов параллельного выбора.

1. **Доминантный анализ.** Лежащее в его основе отношение Парето-доминирования требует минимального количества предпочтений ЛПР. Для его реализации достаточно задания лишь частных целей на порядковых шкалах признаков. В общем случае применение доминантного анализа не гарантирует получения линейного порядка, являющегося условием выделения лучшей альтернативы. Удовлетворение этого условия требует дополнительной экспертной информации. Методы

её получения рассматриваются в методологии вербального анализа решений (ВАР) [Ларичев, 2006].

2. **Методы скалярной оптимизации** (Multiobjective Optimization). Для достижения линейного порядка объектов дополнительно задаются: важность признаков, границы шкал и вид синтезирующей функции.

3. **Многомерная теория полезности (ценности)**. Для каждого признака задаётся функция полезности. В [Fishburn, 1967] доказана правомерность применения аддитивной функции для вычисления многомерной полезности при условии «аддитивной независимости признаков».

4. **Игра с природой**. Состояния природы интерпретируются признаками альтернатив, а их важность оценивается вероятностью этих состояний. Игра не требует задания шкал, поскольку все выигрыши (потери) измеряются в одной шкале. Выбор хода игрока осуществляется с применением критериев Байеса, Вальда или Гурвица.

5. **Метод анализа иерархий** [Саати, 2007]. В нём также используется единая шкала, названная шкалой отношений. Исходные данные задаются непосредственно в виде предпочтений. Лучший объект находится по приоритетам, вычисляемым на основе содержимого матриц парных сравнений.

Смешанный подход реализуется, как минимум, с помощью двухступенчатой процедуры выбора. Наиболее часто используемым приёмом двухступенчатого выбора является оценивание недоминируемых альтернатив, выделенных из множества X по результатам доминантного анализа. Другой способ предварительного отбора альтернатив использует ограничения на шкалах признаков.

На практике каждый из рассмотренных методов применяется изолированно от других, несмотря на очевидную связь между ними. Между тем, эффективным средством принятия решения может служить комплексное использование методов, основанное на увеличении объёма предпочтений.

3. Последовательное обогащение модели выбора

Исходная модель выбора содержит минимальное количество предпочтений ЛПР: на порядковых или более информативных шкалах признаков заданы идеальные цели² [Микони, 2009]. Процедура обогащения модели выбора выполняется в несколько этапов.

Этап 1. Находится отношение Парето-доминирования на конечном множестве объектов (альтернатив) с выделением множества недоминируемых объектов (Парето) X_p . Другим способом отбора кандидатов на лучший вариант является отбор объектов X_{sel} по

² Значение признака, совпадающего с одной из границ шкалы

ограничительным критериям. Для получения линейного порядка на множестве недоминируемых или селектированных объектов требуется привлечь дополнительные предпочтения ЛПП. Альтернативой трудоёмкому диалогу системного аналитика с экспертом является скаляризация векторных оценок объектов.

Этап 2. Для получения средневзвешенных оценок отобранных объектов ЛПП задаёт *важность критериев*. Системный аналитик устанавливает границы шкал признаков и выбирает вид синтезирующей функции. Для приведения разнородных критериев к единой шкале $[0, 1]$ их значения нормализуются. С учётом предпочтения одной границы шкалы над другой нормирующие функции являются монотонными и линейными.

Этап 3. *Идеальная* цель и соответствующая ей линейная монотонная нормирующая функция отражает полную независимость рассматриваемого критерия от других факторов. В отличие от неё *реальная* цель формулируется с учётом некоторого внешнего фактора, например, наличия ресурсов для достижения цели. Поэтому она задаётся в форме ограничительного критерия превосходства (\geq , \leq) или соответствия ($=$, \in) по отношению к некоторому значению j -го признака, $y_{j,\min} < c_j < y_{j,\max}$. Заметим, что выбор значения c_j , связанный с учётом дополнительных факторов, соответствует более углублённому анализу предметной области. Знание реальных целей позволяет ЛПП воспользоваться более изощрённым методом оптимизации, к которому относится метод выбора по отклонениям от цели (Target-Based Decision Analysis) [Wierzbicki, 1980]. При использовании этого метода объект, не реализующий некоторую частную цель, не отсеивается, а штрафуются пропорционально мере невыполнения цели, а объект, перевыполнивший частную цель, поощряется пропорционально мере превышения цели [Mikoni, 2000]. Лучший объект может выбираться по минимальной сумме штрафов или по максимальному превышению частных целей, либо на основании их алгебраической суммы.

Алгебраическая сумма штрафов и поощрений применяется в том случае, когда допускается *невыполнение* некоторых частных целей. Объекты, имеющие нулевой суммарный штраф, удовлетворяют всем частным целям, но требуется дополнительная информация для того, чтобы выделить из них наилучший объект. С этой целью можно привлечь понятие полезности признаков.

Этап 4. В качестве простейшего варианта функции полезности принимается *нормирующая функция ограничительного критерия*. В отличие от нормирующей функции целевого критерия её создание неоднозначно из-за промежуточного положения целевого значения c_j на шкале критерия. В этой точке функция полезности может принимать

любые значения $u(c_j) > 0$. Наиболее простым является присуждение стопроцентной полезности $u(c_j) = 1$. Однако этот вариант не учитывает возможность увеличения полезности в зоне превышения целевого значения. Компромиссным является вариант $u(c_j) = 0,5$, позволяющий увеличивать полезность после достижения цели.

В зоне нарушения цели c_j (слева от c_j) возможно реализовать 2 варианта постоянной полезности: $u(y_j) = 0,5$, $u(y_j) = 0$, и 2 варианта уменьшающейся полезности: до 0 и до -1 . Варианты кусочно-линейных функций полезности для ограничительного критерия превосходства $y_j \geq c_j$, представлены на рис. 1.

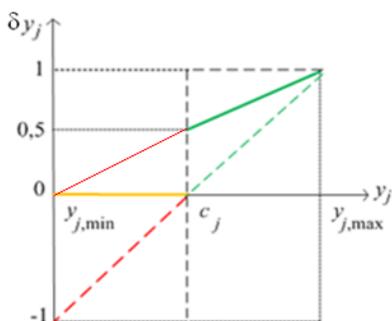


Рис. 1. Варианты нормирования критерия $y_j \geq c_j$

Аналогичным образом создаются кусочно-линейные нормирующие функции на основе точечного и интервального критериев соответствия (см. рис. 2а, б).

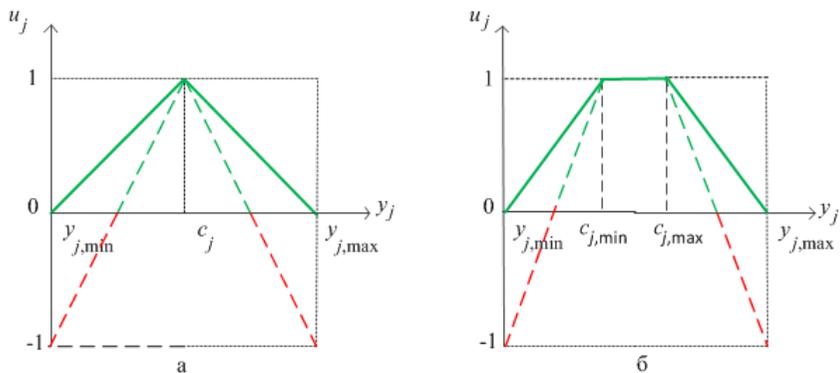


Рис. 2. Нормирующие функции критериев соответствия

Модель выбора с функциями полезности, построенными на основе ограничительных критериев, более информативна, чем модель с линейными нормирующими функциями, построенными на основе целевых критериев. Она может применяться в многомерной теории полезности (Multiattribute utility theory). Наличие дополнительного числа промежуточных точек на шкалах признаков повышает информативность модели.

Этап 5. Построение функций полезности по точкам. Методы построения таких функций были предложены в [Кини и др. 1981, Нейман и др. 1970] на основе теорий ценности и экономической полезности. В [Микони и др., 2011] был предложен метод построения функций полезности, на основе нормирующих функций критериев. Для синтеза многомерной функции полезности используются синтезирующие (обобщающие функции), применяемые в многокритериальной оптимизации. Недостатком этого метода является трудоёмкость сбора экспертной информации для определения полезности в промежуточных точках.

Этап 6. Обучение модели выбора на типовых функциях полезности. Нелинейная функция полезности содержит бесконечное множество предпочтений. По этой причине она более информативна, чем функция, построенная по точкам. В отличие от предыдущего метода функция полезности не строится, а выбирается на основе анализа склонности ЛПР к риску на различных участках шкалы [Микони, 2013]. Выбранная из библиотеки типовых функций функция полезности параметризуется с учётом предпочтений ЛПР или результатов пробных расчётов рейтинга объектов.

Заключение

Для принятия управленческих решений разработаны разнообразные модели и методы выбора. На практике они применяются изолированно друг от друга. Недостающие до получения конечного результата экспертные предпочтения собираются и обрабатываются по различным методикам.

Между тем, между моделями выбора существуют очевидные связи по объёму включённых в них предпочтений. Это позволяет применять их в определённой последовательности – от более простых к более сложным моделям. Такая последовательность предложена в настоящей работе применительно к модели «Объекты/Признаки», ориентированной на реализацию методов параллельного многокритериального выбора.

Очевидно, что больший объём предпочтений повышает качество модели и получаемого на её основе результата. Окончательный вариант модели зависит от поставленной цели и определяется по результатам экспериментирования.

В качестве инструментального средства для реализации предложенной методологии использовалась система выбора и ранжирования СВИРЬ-П [<http://www.mcd-svir.ru>], реализующая все рассмотренные методы выбора.

Список литературы

- [Ларичев, 2006] Ларичев О.И. Вербальный анализ решений. – М.: Наука, 2006, –181 стр.
- [Fishburn, 1967] Fishburn P.C. Independence and additivity in multivariate, unidimensional expected utility theory. International economic review, 1967, 8, 335-342.
- [Микони, 2009] Микони С.В. Многокритериальный выбор на конечном множестве альтернатив. Учебное пособие. –СПб.: Лань, 2009, –272 с.
- [Саати, 2007] Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях. –М.: Изд-во ЛКИ, 2007, –357 с.
- [Кини и др., 1981] Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения –М.: Радио и связь, 1981, –560 с.
- [Нейман и др., 1970] Нейман Д., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. –М.: Наука, 1970.
- [Микони и др., 2011] Микони С.В., Бураков Д.П. Итеративное проектирование функций полезности // Сборник научных трудов международной научной конференции ISDMCI'2011, –Херсон: ХНТУ, 2011, том 1, с. 188-192.
- [Wierzbicki, 1980] Wierzbicki, A. The Use of Reference Objectives in Multiobjective Optimization // Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Springer, Berlin, 1980 p. 468-486.
- [Mikoni, 2000] Mikoni S.V. Method of choice by approximation to a pattern // Proceedings of Conf. NITE'2000, –Minsk: Belarus State Economic University, 2000, pp.156–159.
- [Микони, 2013] Микони С.В. Типовые функции полезности в многопризнаковом оценивании альтернатив // Сборник научных трудов международной научной конференции ISDMCI'2013, –Херсон: ХНТУ, 2013, с. 366-371.
- <http://www.mcd-svir.ru>. Проверено 30.05.2014.

Труды Конгресса IS-IT'14, Дивноморское, 2-9.09. 2014, –М: Физматлит, 2014, Том 1, с.161-168.