

КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С УЧЕТОМ СУБЪЕКТИВНЫХ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ОЦЕНОК

Abstract. Models of probabilistic reasoning under conditions of uncertainty are considered. Several methods are proposed for determining subjective probabilistic estimates that can be used in expert systems. The decision-making criteria for the main levels of information analysis are highlighted.

Введение

В течение последних десятилетий вероятностный подход к принятию решений получил множество экспериментальных подтверждений в психологических исследованиях [1]. В частности, можно весьма обоснованно утверждать, что в процессе принятия решений используются вероятностные оценки для выбора одной из возможных альтернатив.

С позиций когнитивного подхода при решении определенной задачи процесс выбора решения можно разделить на три фазы:

- ориентировочная фаза, где предлагается множество вариантов;
- фаза выбора наиболее подходящих альтернатив;
- фаза выполнения, точнее, выбор той альтернативы, где вероятность достижения результата представляется максимальной.

В рамках данной работы основное внимание направлено на вторую фазу этого процесса, где выбор из нескольких альтернатив производится на основе вероятностных рассуждений и оценок.

Вероятностные модели рассуждений

Опираясь на когнитивный подход, будем считать, что принятие решений базируется на тех или иных суждениях и умозаклчениях.

Умозаклчение, как известно, определяется как процесс вывода нового знания из уже известных предпосылок. Психологические исследования умозаклчений и принятия решений имеют давнюю связь с логикой. Если до XX столетия логика и психология мышления почти не различались, то современный подход к этой проблеме базируется на экспериментальных исследованиях, убедительно подтверждающих, что большая часть мышления не вписывается в рамки логических рассуждений.

Рассматривается четыре разных способа, с помощью которых можно описать процесс вывода умозаклчений [1]:

1. Использование естественных законов дедукции, напоминающих известные правила логики (Брейн и др.)

2. Рассуждение на основе правил, которые будут специфическими для определенного содержания рассуждений (Ченг и др.)

3. Рассуждения в связи с конкретными ситуациями (Джонсон)

4. Вероятностный подход к выводу заключений (Чейтер, 1994).

Как уже говорилось, в последнее время именно вероятностный подход к принятию решений получил экспериментальное подтверждение в психологических исследованиях. В данном случае речь идет об оценках вероятности разных вариантов решения, которые могут быть использованы при выборе одной из возможных альтернатив.

Анализируя возможности указанных выше подходов, отметим, что следует различать *дедуктивные* и *индуктивные* умозаключения. Если дедуктивные умозаключения связаны с выводами, которые с уверенностью следуют из исходных посылок, то индуктивные умозаключения следуют из исходных посылок с некоторой вероятностью.

Для начала вспомним дедуктивные умозаключения, включающие логическую связь «если». *Условное утверждение* имеет вид: «Если A , то B ». Основное правило логики известно как *модус поненс*. Оно позволяет нам вывести следствие из условного утверждения, т.е. предполагая правильность суждения «Если A , то B » и суждения A , можно вывести суждение B .

Еще одно правило вывода известно в логике как *модус толленс*. Если имеется суждение: A подразумевает B и факт, что B неверно, то из них можно сделать вывод, что A тоже неверно. Психологические эксперименты показали, что испытуемые интерпретируют условные высказывания не так, как это делают логики. Многие из них понимают условные высказывания как двухстороннюю условную зависимость (*if and only if*). Оказалось также, что испытуемые хорошо оценивают выводы в соответствии с *модус поненс*, но хуже оценивают другие формы условных умозаключений.

Именно в процессе экспериментальных исследований возникло предположение, что испытуемые делают умозаключения с использованием вероятностных оценок. Вероятностная модель предполагает, что тенденция людей принимать заключение зависит от того, насколько вероятно это заключение при данных посылах. Рассмотрим вероятностную схему, которая может быть интерпретацией утверждения «Если A , то B ».

Если A произошло, то $p(B)=0.4$, $p(-B)=0.1$.

Если A не произошло, то $p(B)=0.2$, $p(-B)=0.3$.

В соответствии с данной схемой в том случае, если событие A не наблюдается, вероятность, что B также не произойдет, повышается.

В разных случаях логическая связка «если» может иметь различные интерпретации: логическую, разрешительную и вероятностную. Логическая интерпретация утверждает, что B непременно произойдет. Разрешительная интерпретация допускает возможность, что B произойдет. Вероятностная схема показывает, что B произойдет с некоторой вероятностью.

Если даже дедуктивное умозаключение иногда можно определить как вероятностное утверждение, то индуктивное умозаключение изначально отличается вероятностным характером. Вероятностная модель рассуждений, требующих применения индукции, основана на *теореме Байеса*. Многие

исследования и эксперименты в области когнитивной психологии [1, с. 326] убедительно подтверждают, что поведение людей, основанное на опыте, соответствует вероятностным оценкам Байеса.

В работах по искусственному интеллекту [2] рассматривается два наиболее известных подхода к моделированию рассуждений в условиях неопределенности. Первый из них базируется на *абдуктивных рассуждениях*, а второй – на вероятностных оценках Байеса. Первое направление включает логические модели абдуктивного вывода и рассуждения с нечеткими множествами, которые также можно описать в рамках вероятностного подхода к анализу неопределенности. Далее рассмотрим один из вариантов этого подхода, учитывающий субъективные вероятностные оценки.

Субъективные вероятностные оценки

Формальное представление о принятии решений с использованием субъективных вероятностных оценок было предложено в теории принятия решений Р. Кини [3]. Далее приведем некоторые положения этой работы, связанные с использованием субъективных вероятностных оценок.

При исследовании некоторого события E лицо, принимающее решение (в нашем случае – эксперт) имеет определенное субъективное представление о вероятности $p(E)$ наступления данного события. Значение этой вероятности $p(E)$ определяется согласно *аксиомам* теории принятия решений [3], где каждому возможному событию E , которое может влиять на решение, ставится в соответствие численная оценка $p(E)$, удовлетворяющая аксиомам теории вероятности. Эта оценка называется *субъективной вероятностью* и отражает степень уверенности эксперта в том, что событие E наступит, и его готовность действовать в соответствии с этой уверенностью.

Эксперт может определить свои субъективные вероятности на основе самых разных соображений. Среди них могут быть знания о природе явлений, эмпирические данные, результаты моделирования взаимосвязи ряда факторов, а также экспертные суждения других специалистов в данной области. Перечислим наиболее важные способы оценки субъективной вероятности исследуемых событий:

1. Вероятность, основанная на физических явлениях.

В некоторых ситуациях можно предположить, что все возможные события равновероятны. Если рассматривается N возможных событий, то вероятность каждого из них равна $1/N$. Основываясь на этом предположении, обычно приписывают вероятность $1/2$ выпадению герба при подбрасывании монеты или вероятность $1/6$ – выпадению шестерки на игральной кости.

Вероятности, которые можно проверить с помощью подходящих экспериментов, обычно считают «объективными» вероятностями, поскольку большинство специалистов согласно с таким подходом. Если некоторое лицо воспринимает их как руководство к действию, то объективные вероятности оказываются в то же время и субъективными вероятностями.

2. Вероятность, основанная на имеющихся наборах данных.

Если имеются данные о возможности наступления тех или иных событий, то их можно использовать для формирования суждений о вероятностях этих событий. Пусть E_1, E_2, \dots, E_n – полный набор событий, взаимно исключающих друг друга. Если в каждом из N испытаний наблюдалось одно из событий, причем N_i раз наблюдалось событие E_i , то вероятность E_i равна N_i / N . Например, если среди последних 25 000 звонков о пожаре 10 000 оказались ложными, то субъективно можно предположить, что вероятность ложного сигнала равна 0,4.

3. Вероятность, основанная на результатах моделирования.

В некоторых ситуациях имеющиеся данные желательно уточнить и дополнить. В отдельных случаях можно построить аналитическую или имитационную модель, чтобы выяснить влияние различных параметров на входе на особо важные переменные на выходе. При помощи такой модели можно оценить вероятность появления интересующих нас переменных на выходе, используя данные о вероятностях появления ряда переменных на входе. В аналитических моделях для этого используется теория получения распределения вероятностей, а при имитационном моделировании наиболее популярен метод Монте-Карло.

4. Оценочные суждения о распределении вероятностей.

Наиболее общим подходом к оценке распределения вероятностей величин, принимающих бесконечное количество значений, является так называемый дробный метод. Согласно этому методу, выбирают несколько точек функции распределения анализируемой величины и затем подбирают кривую, оптимальным образом проходящую через эти точки.

5. Использование экспертных суждений и выборочных данных.

Во многих случаях необходимо использовать совместно экспертные оценки и имеющиеся наборы данных. Теорема Байеса дает соотношение, позволяющее уточнить вероятностные оценки с учетом полученной дополнительной информации. Напомним, что все вероятностные оценки задаются либо в виде функции распределения вероятностей событий $p(E)$ в дискретном случае, либо в виде плотности вероятности $f(x)$ в непрерывном случае. Для дискретного случая теорема Байеса имеет вид:

$$p'(E) = P(E/S) = \frac{P(S/E)p(E)}{\sum_E P(S/E)p(E)},$$

где S – информационная выборка (т.е. данные), $P(E/S)$ – вероятность события E при данном S , а $P(S/E)$ – вероятность S при данном E .

Функции $p(E)$ и $p'(E)$ означают соответственно априорную и апостериорную вероятности для дискретного случая.

Аналогично для непрерывного случая теорема Байеса имеет вид:

$$f'(x) = \frac{f_x(S/x)f(x)}{\int_x f_x(S/x)f(x)dx},$$

где $f_x(S/x)$ – плотность вероятности для информационной выборки S при данном x , $f'(x)$ – апостериорная плотность вероятности при данном S , а $f(x)$ – априорная плотность вероятности. Трудность использования экспертных оценок вероятностей связана с тем, что полученные результаты требуют достаточно громоздкой обработки и не могут быть использованы непосредственно. Однако некоторые результаты теории статистических решений существенно упрощают как сам процесс оценок, так и последующий анализ. В конкретных задачах выбор $p(E)$ и $f(x)$ может производиться из определенного класса функций, с которыми проще работать. В частности, если функция относится к классу нормальных распределений, то она может быть полностью определена средним значением и дисперсией. Обычно эти два параметра оценить намного легче, чем получить само распределение вероятностей.

Уровни принятия решений на основе знаний

Когнитивное моделирование процесса принятия решений включает наблюдение и описание эффективных механизмов, лежащих в основе поведения человека. В процессе анализа сложные события или процессы разбиваются на более простые составляющие (паттерны), позволяющие тем или иным способом воспроизвести требуемую ситуацию. Задача состоит в том, чтобы создать модель эффективного поведения компетентного лица, которую можно использовать для принятия решений в сложных ситуациях, воспроизводя основные аспекты этого поведения.

Напомним некоторые принципы и понятия, которые используются для создания моделей поведения и относятся к области трансформационной грамматики (Chomsky, 1968). Один из главных принципов утверждает, что доступные наблюдателю действия и реакции образуют *поверхностные структуры*, которые следует рассматривать как результаты проявления *глубинных структур*. В соответствии с концепцией Хомского, строение и организация любой кодирующей системы подразумевает наличие множества уровней, на которых расположены структуры различной глубины.

С позиции моделирования это означает, что для создания эффективной модели той или иной деятельности необходимо исследовать различные уровни глубинных структур, лежащих в ее основе. Иногда различные поверхностные структуры могут быть отражениями одних и тех же глубинных структур. Во многих случаях глубинные структуры содержат скрытый потенциал, который может быть обнаружен в поверхностных структурах в результате специальных преобразований.

Как пример такого преобразования можно рассмотреть факторный

анализ, где исходные показатели представляют поверхностные структуры, а факторы образуют более глубокий (латентный) слой знаний, более важный для принятия решений. В общем случае на этапе выбора решения можно выделить три уровня представления информации.

На первом уровне выбор решения можно произвести по величинам отдельных признаков (параметров) или соотношений между ними. В качестве пространства знаний рассматривается пространство тех показателей, которые непосредственно наблюдаются или измеряются в процессе эксперимента. Первым уровнем можно ограничиться в тех случаях, когда среди исходных показателей есть два или три информативных признака, численные значения которых позволяют четко идентифицировать ситуацию.

Более глубокий уровень представления знаний включает латентные показатели, выявленные в результате применения методов факторного анализа или многомерного шкалирования [4]. Представление информации в пространстве факторов играет важную роль в экспериментальной психологии для реконструкции субъективных семантических пространств.

Третий уровень представления знаний можно определить как уровень вероятностных рассуждений. В семантическом пространстве когнитивных паттернов вводятся вероятностные оценки, связанные с интерпретацией определенных событий [5, 6]. Каждой ситуации ставим в соответствие потенциальную оценку вероятности возникновения тех или иных негативных последствий этой ситуации.

В общем случае для принятия решения желательно рассмотреть и принять во внимание информацию, полученную на каждом из этих уровней. Если результаты на всех уровнях согласуются между собой, это может быть подтверждением адекватности выбранного решения. В случае возникновения противоречий ставится вопрос о дополнительных исследованиях.

1. *Андерсен Дж.* Когнитивная психология. – СПб.: Питер, 2002. – 496 с.
2. *Люггер Дж.* Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. – 864 с.
3. *Кини Р.* Теория принятия решений // Исследование операций: в 2-х томах, Т. 1. – М.: Мир, 1981. – С.481-512.
4. *Петренко В.Ф.* Многомерное сознание: психосемантическая парадигма. М.: Изд. «Новый хронограф», 2009. – 440 с.
5. *Каменев И.П.* Вероятностные модели репрезентации знаний в интеллектуальных системах принятия решений // Искусственный интеллект. – 2005. – № 3. С.399-409.
6. *Каменева И.П., Артемчик В.А., Яцишин А.В., Бугаев А.Ф.* Когнитивные стратегии принятия решений на основе вероятностных оценок и карт рисков // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – Вип. 80. – К.: 2017. – С.20-27.

<http://doi.org/10.5281/zenodo.3859653>

Поступила 30.09.2019р.