

## **7 ЛЕКЦИЯ. ПРАВДОПОДОБНЫЕ РАССУЖДЕНИЯ**

### **Эмпирические данные, модели, зависимости и гипотезы.**

Согласно характеристике, которую обычно приписывают Фрэнсису Бэкону и Дж. С. Миллю, научный метод исследования включает:

- 1) сбор и накопление эмпирических данных (бесспорных фактов), осуществляемые путем наблюдения и эксперимента и не подверженные влиянию разного рода предубеждений и неявных предпосылок (*presuppositions*);
- 2) формулирование гипотез на основании собранных данных путем поиска моделей взаимоотношений между данными и последующее индуктивное обобщение;
- 3) проверку гипотез путем вывода предсказаний, которые из них следуют, и дальнейшее планирование и осуществление экспериментов для проверки истинности гипотез;
- 4) отбрасывание гипотез, не подтверждающихся экспериментальными данными, и построение теории путем добавления подтвержденных гипотез.

Ученые накапливают данные, результаты экспериментальных наблюдений и измерений. В качестве примера эмпирических данных могут служить, например, измерения кровяного давления у студентов, до и после экзамена или образцы лунных пород, собранные космонавтами.

Ученые занимаются выявлением зависимостей между полученными данными и построением моделей, а также стремятся вывести гипотезы или теории для того, чтобы объяснить эти модели. На первоначальном этапе исследования гипотеза может быть просто предварительным соображением или догадкой, которая приходит в голову ученому, занимающемуся какой-то проблемой, и служит возможным объяснением наблюдаемых фактов.

### **Метод ДСМ**

Метод ДСМ был предложен в конце 1970-х гг. В. К. Финном (Финн, 2001). Этот метод порождения гипотез реализует и формализует схему (правильно построенным формулами) ППФ. Название метода составляют инициалы английского философа, логика, историка и социолога Джона Стюарта Милля (*John Stuart Mill*, *JSM*, ДСМ), чьи «методы здравомыслящего естествоиспытателя» частично formalизованы в ДСМ-методе. Метод формализует схему правдоподобного и достоверного вывода, называемую ДСМ-рассуждением, и представляет собой *удачный синтез процедур индукции, аналогии и абдукции*. ДСМ-метод создан как механизм

автоматизированного порождения гипотез (АПГ) в данной предметной области средствами так называемых квазиаксиоматических теорий (КАТ).

Способы установления причинно-следственных отношений, предложенные Д. Миллем, основываются на идеях выявления сходства и различия в наблюдаемых ситуациях. Способность улавливать сходство и различие — фундаментальная особенность всего живого.

Перечислим основные принципы индукции, сформулированные Миллем.

1. *Принцип единственного различия*: если после введения какого-либо фактора появляется (или после удаления исчезает) известное явление, причем не вводится и не удаляется никакое другое обстоятельство, которое могло бы иметь влияние, то указанный фактор составляет причину явления. Этот принцип формализует следующая схема:

$$(A, B, C) \rightarrow D \quad (B, C) \not\rightarrow D \\ \text{ЕСЛИ } (A, B, C) \rightarrow D \text{ И } (B, C) \not\rightarrow D \text{ ТО } A \Rightarrow D$$

Здесь « $\rightarrow$ » трактуется как появление  $D$  при наличии  $A, B, C$ , а « $\not\rightarrow$ » как непоявление  $D$  при наличии  $B, C$ .

2. *Принцип единственного сходства*: если все обстоятельства явления, кроме одного, могут отсутствовать, не уничтожая этим явления, то это обстоятельство является причиной данного явления:

$$(A, B, C) \rightarrow D \quad (A, B) \rightarrow D \quad (A, C) \rightarrow D \quad A \rightarrow D \\ \text{ЕСЛИ } (A, B, C) \rightarrow D \text{ И } (A, B) \rightarrow D \text{ И } (A, C) \rightarrow D \text{ И } A \rightarrow D \text{ ТО } A \Rightarrow D$$

3. *Принцип единственности остатка*: если вычесть из какого-либо явления ту его часть, которая является следствием известных причин, то остаток есть следствие остальных причин.

$$(A, B, C) \rightarrow D, E \quad (B, C) \rightarrow E \\ \text{ЕСЛИ } (A, B, C) \rightarrow D, E \quad \text{И } (B, C) \rightarrow E \text{ ТО } A \Rightarrow D$$

Перечисленные схемы справедливы, если в описании ситуации присутствует полное множество наблюдаемых фактов и явлений.

Рассмотрим основные механизмы работы метода ДСМ.

Обозначения:

$O$  — множество объектов;

$P$  — множество свойств;

$F$  — множество возможных причин свойств  $P$  объектов  $O$ ;

$V$  — множество истинностных оценок  $[+1, -1, \pm 0, \tau]$ , где:  $+1$  — эмпирическая истина;  $-1$  — эмпирическая ложь;  $\pm 0$  — эмпирическое

противоречие;  $\tau$  — неизвестность.

Допустим, что в базе фактов (БФ) имеются факты, которые мы запишем в виде табл. 10.1.

Таблица 10.1

**Факты в БФ**

$O \backslash P$	Ходить	Летать	Плавать
Человек Вася	+1	-1	$\pm 0$
Рыба	-1	-1	+1
Птица	+1	+1	$\pm 0$
Змея	-1	-1	$\pm 0$
Человек Петя	$\tau$	$\tau$	T

Из данных табл. 10.1 следует, что объект *Человек Вася* обладает свойствами *ходить* и, возможно, *плавать* ( $\pm 0$ ). А свойством *летать* он не обладает. Объект *птица* обладает свойствами *ходить* и *летать* и, возможно, *плавать*. Про объект *Человек Петя* ничего не известно ( $\tau$ ). Иными словами, есть факты *за* и *против* того, что объект  $O_i$  обладает свойством  $p_j$ ,  $i = \{\text{человек Вася, рыба, птица, змея, человек Петя}\}$ ,  $j = \{\text{ходить, летать, плавать}\}$ .

Таблица 10.1 задает функцию  $H_1 : O \times P \rightarrow V$ . Очевидно:

объекты, для которых  $H_1(O, P) = +1$  являются положительными примерами;

объекты, для которых  $H_1(O, P) = -1$  являются отрицательными примерами;

объекты, для которых  $H_1(O, P) = \pm 0$  являются противоречивыми примерами;

объекты, для которых  $H_1(O, P) = \tau$  являются неизвестностью.

Наша задача состоит в доопределении данных из табл. 5.1 таким образом, чтобы в тех клетках, где стоит  $\tau$ , путем ДСМ-рассуждений в итоге появились значения, говорящие о наличии или отсутствии у объекта *человек Петя* определенных свойств, т.е. (+1, -1,  $\pm 0$ ). При недостатке информации может оставаться  $\tau$ .

На первом шаге ДСМ-метода порождаются гипотезы о возможных причинах свойств объектов на основе правил первого рода. Затем, на втором шаге, используя эти гипотезы, по правилам второго рода исходная таблица достраивается. После этого процедура может повторяться, так как у нас

появились новые данные. Предполагается, что у свойств могут быть как причины («+» причины), так и антипричины (причины отсутствия или «-» причины), абсолютно не зависящие от контекста. В методе осуществляется синтез трех процедур:

- **ИНДУКЦИЯ** — ей соответствуют правила первого рода;
- **АНАЛОГИЯ** — ей соответствуют правила второго рода;
- **АБДУКЦИЯ** используется для проверки каузальной (причинной) полноты исходного набора данных. Если полученные выводы объясняют в некотором смысле данную группу фактов, то они принимаются.

Процесс ДСМ-рассуждения — итеративный, т.е. возможно многократное последовательное повторение процедур индукции и аналогии.

Формализуем идею первого шага ДСМ-метода.

Пусть:  $O = (O_1, O_2, \dots, O_k)$  — множество объектов;

$F = (f_1, f_2, \dots, f_{11})$  — множество фрагментов объектов.

Допустим известно, что:

$$O_1 \supseteq (f_1, f_2, f_7);$$

$$O_2 \supseteq (f_6, f_8, f_9);$$

$$O_3 \supseteq (f_1, f_3, f_6, f_9);$$

$$O_4 \supseteq (f_1, f_5, f_8, f_{11}).$$

Фрагменты — не обязательно атомарные. Для нашего примера выделим следующие атомарные фрагменты: ноги (лапы), руки, плавники, глаза, крылья. Построим табл. 10.2, в которой укажем, какие из наших объектов какими фрагментами из множества  $F$  обладают (+) или нет (-).

Таблица 10.2

### Доопределение данных БФ таблицы 6.1

$O \backslash F$	Ноги	Руки	Плавник и	Глаза	Крылья
Человек Вася	+	+	-	+	-
Рыба	-	-	+	+	-
Птица	+	-	-	+	+
Змея	-	-	-	+	-
Человек Петя	+	+	-	+	-

Для выполнения первого и второго шагов ДСМ-метода сформулируем

правила первого и второго рода для анализа и выдвижения гипотез типов  $H_1$  и  $H_2$ .

### Правила первого рода.

**Правило 1.1.** Фрагмент  $f_i$  является возможной причиной наличия свойства  $p_j$ , если:

- $f_i$  является общим фрагментом  $\geq 2$  положительных примеров для  $p_j$  И
- $f_i$  не входит ни в один отрицательный пример для  $p_j$ .

**Правило 1.2.** Фрагмент  $f_i$  является возможной причиной отсутствия свойства  $p_j$ , если:

- $f_i$  является общим фрагментом  $\geq 2$  отрицательных примеров для  $p_j$  И

- $f_i$  не входит ни в один положительный пример для  $p_j$ .

**Правило 1.3.** Фрагмент  $f_i$  является возможной причиной как наличия, так и отсутствия свойства  $p_j$ , если:

- $f_i$  входит хотя бы в один положительный пример для  $p_j$  И
- $f_i$  входит хотя бы в один отрицательный пример для  $p_j$  ИЛИ
- $f_i$  входит хотя бы в один ( $\pm$ ) пример для  $p_j$ .

**Правило 1.4.** Информация о фрагменте  $f_i$  неопределенная ( $\tau$ ), т.е. ничего не известно относительно причин свойства  $p_j$ , если:

- $f_i$  не входит ни в какие  $\geq 2$  положительных примеров для  $p_j$  И
- $f_i$  не входит ни в какие  $\geq 2$  отрицательных примеров для  $p_j$  ИЛИ
- $f_i$  не входит ни в один ( $\pm$ ) пример для  $p_j$ .

### Правила второго рода.

**Правило 2.1.** Объект  $O_k \in O$  обладает свойством  $p_j$ , если:

- $O_k$  содержит хотя бы одну возможную причину наличия свойства  $p_j$  И
- $O_k$  не содержит ни одной возможной причины отсутствия свойства  $p_j$  ИЛИ
- $O_k$  не содержит ни одной ( $\pm$ ) причины (наличия / отсутствия) свойства  $p_j$ .

**Правило 2.2.** Объект  $O_k \in O$  не обладает свойством  $p_j$ , если:

- $O_k$  содержит хотя бы одну возможную причину отсутствия свойства  $p_j$  И
- $O_k$  не содержит ни одной возможной причины наличия свойства  $p_j$  ИЛИ

- $O_k \in O$  не содержит ни одной ( $\pm$ ) причины (наличия / отсутствия) свойства  $p_j$ .

**Правило 2.3.** Объект  $O_k \in O$  может обладать или не обладать свойством  $p_j (\pm 0)$ , если:

- $O_k \in O$  содержит хотя бы одну возможную причину наличия  $p_j$  И
- $O_k \in O$  содержит хотя бы одну возможную причину отсутствия свойства  $p_j$  ИЛИ
- $O_k \in O$  содержит хотя бы одну ( $\pm$ ) причину для  $p_j$
- $O_k \in O$  содержит хотя бы одну причину отсутствия  $p_j$  ИЛИ.

**Правило 2.4.** Неизвестно, обладает ли объект  $O_k \in O$  свойством  $p_j$ , если:

- $O_k \in O$  не содержит ни одной возможной причины наличия  $p_j$  И
- $O_k \in O$  не содержит ни одной возможной причины отсутствия  $p_j$  ИЛИ
- $O_k \in O$  не содержит ни одной ( $\pm$ ) причины (наличия / отсутствия) свойства  $p_j$ .

Таким образом, правила первого рода порождают:

- гипотезы о возможных причинах наличия свойств объектов;
- гипотезы о возможных причинах отсутствия свойств объектов;
- гипотезы о том, что некоторые фрагменты  $f$  являются причиной как наличия, так и отсутствия свойств;
- «пустые гипотезы» о том, что «об объекте  $O_k \in O$  ничего не известно».

Например, выясним, какие фрагменты наших объектов влекут (являются причиной), свойства *ходить*, то есть нужно породить гипотезу о причинах наличия данного свойства. С этой целью проверим, есть ли в табл. 10.9 положительные примеры ((+) примеры) для свойства *ходить*. Да, есть. Это: *Вася* и *птица*, так как  $H_1(\text{Вася}, \text{ходить}) = +1$  и  $H_1(\text{птица}, \text{ходить}) = +1$ . В табл. 5.3 посмотрим, какими общими фрагментами они обладают. Это — (*ноги, глаза*). Проверим, не обладают ли этими же фрагментами представители класса, *не умеющих ходить*, т.е. не являются ли *ноги, глаза* общими фрагментами отрицательных примеров ((-) примеров) для свойства *ходить*. Мы видим, что эти фрагменты оба не входят в ((-) примеры) (имеют глаза, но не имеют ног). Следовательно, согласно правилу 1.1 мы можем принять *ноги, глаза* в качестве причины свойства *ходить*.

В соответствии с правилами второго рода определим функцию  $H_2 : F \times P \rightarrow V$ , где  $V = [+1, -1, \pm 0, \tau]$  — множество истинностных оценок.

$H_2 = +$ , если фрагмент  $f_i$  является возможной причиной наличия  $p_j$ ;

$H_2 = -$ , если фрагмент  $f_i$  является возможной причиной отсутствия  $p_j$ ;

$H_2 = \pm$ , если фрагмент  $f_i$  является возможной причиной как наличия, так и отсутствия  $p_j$ ;

$H_2 = \tau$ , если о фрагментах  $f_i$  и  $p_j$  ничего не известно.

В результате получаем новую табл. 10.3 с гипотезами  $H_2$ .

Таблица 10.3

**Развитие данных (гипотез) БФ таблицы 6.2**

$P$ $F$	Ходить	Летать	Плавать
Ноги	+1	$\pm 0$	$\pm 0$
Руки	$\tau$	$\tau$	$\pm 0$
Плавники	$\tau$	$\tau$	$\tau$
Глаза	+1	$\pm 0$	$\pm 0$
Крылья	$\tau$	$\tau$	$\pm 0$

Как видим,  $H_2$  принимает в основном противоречивые и неопределенные значения из-за неестественно малого числа примеров. Тем не менее, используя матрицу гипотез о возможных причинах (наличия / отсутствия) свойств ( $H_1$ ), можно сформулировать гипотезы о наличии или отсутствии свойств  $P$  у тех объектов из множества  $O$ , для которых изначально не было известно, обладают ли они этими свойствами, т.е. для тех объектов, для которых  $H_2(O,P) = \tau$ . На втором этапе ДСМ-рассуждений выполняется порождение гипотез о наличии или отсутствии свойств  $P$  у тех объектов из множества  $O$ , для которых это не было известно, т.е. осуществляется прогнозирование свойств. Так, в нашем примере в матрице  $H_2$  вычислена причина свойства *ходить*. Это — *ноги, глаза*. У объекта *Петя* этот фрагмент есть. Значит  $H_1(\text{Петя}, \text{ходить}) = +1$ . Для наличия свойства *летать* (+)-примеров недостаточно. Антипричин тоже нет, так как фрагмент *глаза*, присущий примерам *человек Вася, рыба, змея*, входит и в (+) пример *птица*. Так, относительно свойства *летать* человек *Петя* не определен. Относительно свойства *плавать* есть ( $\pm$ ) примеры. Их общим фрагментом являются *глаза*, но они не входят в (-) примеры. Значит, *глаза* являются ( $\pm$ ) причиной свойства *плавать*. И по правилу второго рода получим, что  $H_1(\text{Петя}, \text{плавать}) = \pm 0$ . Таким образом, сделан один шаг в ДСМ-рассуждениях. Осталась неопределенность свойства *лететь*. Условия каузальной (причинной) полноты не выполняются, т.е. следует пополнить БФ.

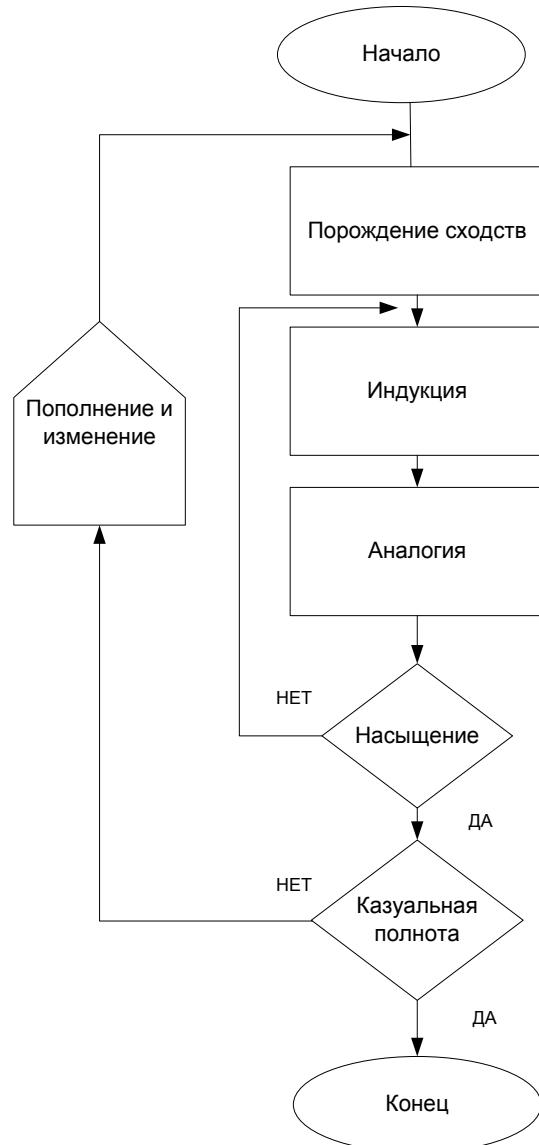
Но про *Петю* мы теперь знаем, что он умеет *ходить* и, возможно, *плавать*.  
Табл. 10.4 дополняет новые знания.

*Таблица 10.4*

**Дополнение данных БФ таблицы 5.3**

$P \backslash O$	Ходить	Летать	Плавать
Человек Вася	+1	-1	$\pm 0$
Рыба	-1	-1	+1
Птица	+1	+1	$\pm 0$
Змея	-1	-1	$\pm 0$
Человек Петя	+1	$\tau$	$\pm 0$

Приведем общую схему работы ДСМ-системы (рис. 10.1).



*Рис. 6.1. Схема алгоритма работы ДСМ-системы*

На практике применяется модификация метода, который называется простым ДСМ-методом с запретом на контрпримеры. Цель модификации — избежать порождения гипотез, заведомо противоречащих исходным фактам.

ДСМ-системы (как интеллектуальные системы) используются в качестве средства интеллектуального анализа данных (ИАД). ДСМ-метод — как нестатистический метод анализа данных — позволяет учитывать индивидуальные особенности изучаемых объектов исследования, если их структура представлена настолько информативно, что используемых параметров достаточно для выявления сходства — условия порождения эффекта (т.е. причины изучаемого явления).

Второй важной особенностью ДСМ-метода является его способность порождать полезные гипотезы на малых массивах данных благодаря выявленному сходству объектов, характеризуемых существенными параметрами.

Третья особенность ДСМ-метода состоит в том, что он работает с открытыми массивами данных в БФ, распознавая необходимость расширения БФ, если таковая возникает в результате объяснения ее начального состояния, что соответствует интеллектуальной способности (способность находить объяснение и отвечать на вопрос «почему?» и абдуктивное объяснение результатов ИАД с помощью интеллектуальных КС (ИКС)).

Примерами предметных областей, для которых были созданы интеллектуальные системы типа ДСМ, являются фармакология, медицинская диагностика, социология, криминалистика и работы с адаптивным поведением.

Первыми были разработаны ДСМ-системы для прогнозирования биологически активных химических соединений. Эти системы в качестве базы фактов имеют представление предиката  $X \Rightarrow_1 Y$ , где значением  $X$  является описание структуры химических соединений, а значениями  $Y$  является информация о биологической активности соединения  $X$ . На этапе I по правилу индукции порождаются гипотезы типа «подструктура химического соединения является причиной наличия (отсутствия) биологической активности  $W$ ». Таким образом порождается предикат  $V \Rightarrow_2 W$ , образующий фрагмент БЗ.

Для анализа данных о непрямых канцерогенах и хронической токсичности химических соединений и порождения соответствующих прогнозов потребовалось развитие ДСМ-метода на предметную область (представление знаний, добавление вычислительных процедур в Решателе

задач, введение числовых параметров). Настройка ДСМ-системы на предметную область состояла в учете метаболизма веществ в организме, вида животных (для прогноза канцерогенности), вводимой дозы вещества и количественной оценки биологической активности. Для прогнозирования токсичности и канцерогенности созданы специальные варианты ДСМ-системы.

Была создана экспериментальная версия ДСМ-системы, имитирующая биотрансформации (для некоторых типов реакций), с использованием базы знаний для необходимых условий биотрансформации. Посредством правила индукции порождались достаточные условия биотрансформации, а посредством правила аналогии строились гипотезы о метаболизируемости химических соединений, из которых специальная программа, использующая достаточные условия биотрансформации, порождала метаболиты, являющиеся гипотезами ДСМ-системы.

Другим классом задач, решаемых ДСМ-системами, являются задачи медицинской диагностики по клиническим данным. В ВИНИТИ РАН были созданы три версии ДСМ-систем для задач медицинской диагностики: для прогнозирования высокопатогенных типов вируса папилломы человека по цитологическим результатам исследования мазков; система диагностики двух заболеваний глаз: дегенеративного ретиношизеса и наследственных витреоретинальных дистрофий; система для диагностики системной красной волчанки.

ДСМ-метод позволяет решать также задачи интеллектуального анализа социологических данных: порождение детерминант социального поведения (действий, установок, мнений), использование порожденных детерминант для создания типологии индивидуального поведения; формальное определение мнений и их прогнозирование, распознавание степени рациональности мнений. Интересным также является применение ДСМ-систем для интеллектуального анализа криминалистических данных, например, задач судебно-почерковедческой экспертизы. Важным приложением ДСМ-метода является его использование для создания интеллектуальных роботов. В рамках проекта «Адаптант–2005» был создан мобильный миниробот, реализующий динамическую версию ДСМ-метода в целях адаптации поведения (движения) для выбора соответствующей траектории посредством индуктивного поведения.

