

УДК 519.95:681.3.06

МЕТОДОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ И ПРИКЛАДНАЯ ГНОСЕОЛОГИЯ

Л.А.Растригин

Проблема обнаружения закономерностей является многоаспектной проблемой, что связано прежде всего со сложностью и важностью процессов обнаружения закономерностей, которые в своей основе являются познавательными процессами. Действительно, если исключить социальные, исторические, психологические и т.п. аспекты познания, то последнее можно свести к задаче синтеза модели изучаемого явления, т.е. к выявлению закономерностей.

Рассмотрим процедуру выявления закономерности как реакцию субъекта на его взаимодействие с объектом, несущим эту закономерность.

На рис.1 представлено взаимодействие субъекта с объектом F^0 , где R_X и R_Y - рецепторы субъекта, через которые он воспринимает состояние среды X и состояние объекта Y , находящегося в этой среде (при пассивном наблюдении (а) и активном эксперименте (б)). Здесь $X' = R_X(X)$ и $Y' = R_Y(Y)$, т.е. субъект воспринимает какую-то часть состояний среды и объекта, доступную для его рецепторов $X' \in X$ и $Y' \in Y$. Субъект в этом взаимодействии под влиянием своих потребностей P испытывает необходимость познать объект F^0 , т.е. построить его модель F , связывающую входы X'' и выходы Y'' , интересующие субъекта. Здесь $X'' \in X'$, $Y'' \in Y'$. Разница между X' , Y' и X'' , Y'' сводится к тому, что X' , Y' - это то, что можно наблюдать (и фиксировать), а X'' , Y'' - то, что нужно наблюдать для выявления искомой закономерности. Между ними существует прямая зависимость

$$X'' = f_X(X'), \quad Y'' = f_Y(Y'), \quad (1)$$

определяющая существенные связи объекта со средой,

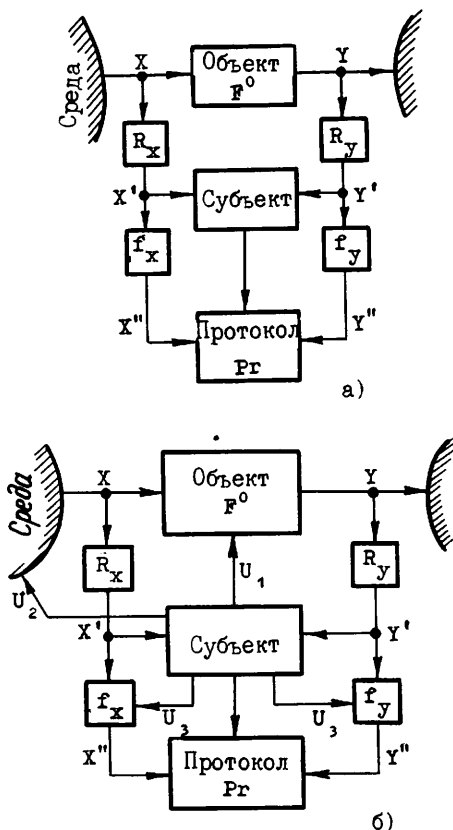


Рис. I

ли) условно. Можно легко представить, что синтез модели требует сбора дополнительной информации, а организация измерений происходит под влиянием представлений о структуре модели F . Тем не менее будем считать, что процедура выявления закономерности имеет только два этапа, а указанные обратные связи реализуются по мере необходимости.

необходимые для выявления закономерности - модели. Здесь операторы f_x и f_y выполняют функцию редукции исходного разнообразия входов и выходов объекта.

Под моделью F подразумевается высказывание, позволяющее определить (точнее, оценить) реакцию объекта F^0 на внешнее воздействие без эксперимента с этим объектом:

$$Y'' = F(X''), \quad (2)$$

где X'' и Y'' - наблюдаемые и фиксируемые входы и выходы объекта, а F - искомым оператор модели.

Синтез модели F и является процессом выявления закономерности. Ему предшествует этап сбора исходных данных.

Очевидно, что представление процесса выявления закономерности в виде двухэтапной процедуры сбора информации и ее обработки (на этапе синтеза модели)

§1. Этап сбора исходных данных

Исходные данные рассматриваемой задачи довольно четко подразделяются на два вида: априорные и апостериорные. Рассмотрим их отдельно.

1. Априорные данные определяются целями познания, выявляющего закономерность субъекта (точнее, его потребностями). Не будем углубляться в механизм происхождения таких целей (и тем более потребностей), а лишь отметим, что они могут быть двоякого рода: стратегические и тактические. Стратегические цели познания не связаны непосредственно с жизненной необходимостью субъекта. Они лишь удовлетворяют его потребность в получении информации (типа инстинкта любознательности И.П.Павлова). Назначение стратегических целей – заготовка моделей, которые могут быть использованы субъектом в его дальнейшей жизнедеятельности.

В противоположность им тактические цели познания имеют вполне определенное "потребительское" значение – они формулируются для удовлетворения сиюминутных потребностей субъекта. Получаемые при этом модели нужны для принятия вполне определенных управляющих решений субъекта, с помощью которых удовлетворяются его потребности.

Таким образом, и те и другие цели познания обеспечивают субъекта моделями для его жизнедеятельности, т.е. служат для удовлетворения его потребностей. Но если стратегические цели позволяют создавать модели, используемые субъектом в будущем, то тактические цели познания направлены на создание моделей, необходимых субъекту в данный момент времени, т.е. имеют сугубо прагматический характер.

Не будем в дальнейшем различать цели познания, а постулируем их проявление в виде набора требований к структуре априорных данных для создаваемой модели. Эта структура имеет вид тройки:

$$I = \langle F^0, XY, S \rangle, \quad (3)$$

где F^0 – объект (предмет) искомой закономерности; XY – структура наблюдаемых причинно-следственных связей, т.е. их содержательное описание и указание измерительных шкал; S – представление о структуре (или механизме) причинно-следственных взаимодействий, т.е. априорные представления о структуре связи между X и Y .

Например, для управления каким-то объектом необходимо создать его модель [1]. В данном случае априорные данные включают

F^0 – содержательное описание объекта управления, XU – сведения о его взаимодействии со средой (куда входит и управление) вместе с описанием всех измеряемых параметров среды и объекта, влияющих на достижение целей управления в этом объекте. И наконец, S – структура модели объекта, определяемая механизмом его функционирования как объекта управления и удобством ее эксплуатации в системе управления.

2. Апостериорные данные представляют собой наблюдения входов и выходов объекта, модель которого строится. Эти данные представляются в виде протокола наблюдений:

$$Pr = \langle X_i'', Y_i'' \quad (i = 1, \dots, N) \rangle, \quad (4)$$

где i – номер моментов времени, когда производился замер входов и выходов объекта наблюдения. Вообще говоря, протокол может иметь и непрерывный характер, т.е. иметь вид записей $X''(t), Y''(t) (0 \leq t \leq T)$, которые, однако, легко переводятся в дискретную форму (4) очевидным преобразованием:

$$X_i'' = X''(t_i), \quad Y_i'' = Y''(t_i), \quad i = 1, \dots, N. \quad (5)$$

Способ получения протокола может быть различным от пассивного наблюдения (см. рис. I, а) до активного эксперимента (см. рис. I, б), в котором субъектом могут изучаться не только состояние объекта познания (U_1) и состояние среды (U_2), но и датчики сбора информации (U_3) об их поведении. Такая активность субъекта при фиксации протокола (4) делает иногда этот протокол малоинформативным.

Действительно, изменяя объект, среду и систему сбора информации, субъект может получать практически любой протокол. Это и приводит часто к тому, что получаемый результат больше отражает априорные представления субъекта об изучаемой закономерности, чем действительное положение дел. Говоря строго, в управляемом эксперименте протокол может коррелировать с априорными представлениями субъекта значительно сильнее, чем при "пассивном" наблюдении, рассмотренном выше.

Таким образом, двойка

$$\langle I, Pr \rangle \quad (6)$$

и образует ту исходную информацию, которая лежит в основе процесса обнаружения закономерности. Обозначим через ϕ метод обнаружения закономерности F . Тогда

$$F = \phi(I, Pr). \quad (7)$$

Однако в общем случае формализация метода ϕ невозможна, так как он должен перерабатывать пока неформализуемые сведения об объекте F^0 , содержащиеся в I (3). В настоящее время такую операцию может реализовать лишь человек (работы по формализации сведений, представленных на естественном языке, ведутся и очень интенсивно в области, которую принято называть искусственным интеллектом).

Естественно возложить процесс учета сведений об объекте F^0 на человека с тем, чтобы преобразовать неформальную тройку (3) в двойку:

$$I' = \langle (XY)', S' \rangle, \quad (8)$$

где $(XY)'$ - формализованные сведения о структуре взаимодействия объекта со средой, учитывающие описание F^0 , а S' - структура причинно-следственных связей объекта F^0 , которые должны быть отражены в модели F . Теперь метод ψ , позволяющий получить модель F по (8) и (4):

$$F = \psi(I', Pr),$$

можно считать машинным методом обнаружения закономерности F , т.е. алгоритмом. Рассмотрим основные подходы при синтезе алгоритма ψ .

§2. Алгоритмы обнаружения закономерностей

Существуют два подхода к синтезу искомой модели F , эксплуатирующие идеи интерполяции и оптимизации. Рассмотрим их подробнее.

1. Интерполяционный подход связан с введением метрики в пространство входов (причин) $\{X''\}$. Ближайшие по этому критерию точки протокола и оказывают наибольшее влияние на формирование выхода модели.

Например, в соответствии с [2]:

$$Y_j = \frac{\sum_{i=1}^N \chi(X_j, X_i'') Y_i''}{\sum_{i=1}^N \chi(X_j, X_i'')}, \quad (9)$$

где $\chi(\cdot, \cdot)$ – метрика в $\{X''\}$; X_j – точка, в которой оценивается Y_j . Здесь задание метрики однозначно определяет искомую закономерность. Поиск такой оптимальной метрики может производиться путем решения следующей минимизационной задачи:

$$\sum_{j=1}^N \mu(Y_j(\chi), Y_j'') \rightarrow \min_{\chi \in \Omega} \rightarrow \chi^*, \quad (10)$$

где $Y_j(\chi)$ – определяемая по (9), но с исключением Y_j'' , $\mu(\cdot, \cdot)$ – метрика в пространстве выходов (следствий) $\{Y''\}$; а Ω – класс метрик, среди которых определяется искомая χ^* . В качестве Ω может быть выбран, например, хорошо изученный [3] класс парзеновских представлений, широко используемых в непараметрической статистике.

Другой способ задания метрики предложен в [4] и назван методом МЛЭ – многомерной линейной экстраполяции:

$$Y_j = \sum_{i=1}^k \lambda_i^* Y_i'', \quad (11)$$

где λ_i^* ($i = 1, \dots, k$) определяются решением оптимизационной задачи

$$\chi(X_j, \sum_{i=1}^k \lambda_i X_i'') \rightarrow \min_{\sum_{i=1}^k \lambda_i = 1} \rightarrow \lambda_i^*, \quad i = 1, \dots, k. \quad (12)$$

Здесь $k \leq \dim X'' + 1$. Такое представление дает разрывную функцию модели F , преодолеть которую можно с помощью сплайновых представлений, которые сейчас интенсивно разрабатываются.

2. Оптимизационный подход связан с решением задачи минимизации невязки выходов модели F и объекта F^0 :

$$Q(F) = \sum_{i=1}^N v_i \mu(F(X_i''), Y_i'') \rightarrow \min_{F \in \Xi} \rightarrow F^*, \quad (13)$$

где $\mu(\cdot, \cdot)$ – метрика в $\{X''\}$, т.е. мера близости следствий изучаемого объекта; v_i – коэффициент информативности i -го измерения, а Ξ – язык, на котором записывается искомая модель.

Как и в п.1, здесь модель F^* определяется выбором ряда факторов, а именно: метрикой $\mu(\cdot, \cdot)$, информативностью v_i , языком описания модели Ξ .

Таким образом, тройка

$$\langle \mu, v_i, \Xi \rangle \quad (14)$$

формирует модель F^* вместе с протоколом (4). Выбор этих факторов (так же, как и других при интерполяционном подходе) осуществляется исследователем. Очевидно, что синтезированная модель F^* в значительной степени определяется указанными факторами, в чем и проявляется субъективное влияние исследователя на искомую закономерность F^* .

Таким образом, в процессе синтеза закономерности неизбежно присутствует субъективный фактор, который не может не внести искажения в синтезированную модель F^* по сравнению с идеальной (обозначим ее F^{**}). Как оценить смещение, вызванное отмеченным неизбежным субъективизмом? На этот вопрос едва ли возможен прямой ответ. Для этого следовало бы предложить, хотя бы гипотетически, объективные способы выбора указанных факторов.

Автор не видит прямых путей такой объективизации процесса определения тройки (I4), кроме проверки полученной закономерности F^* на материале, не включенном в исходный протокол (4), т.е. на так называемых "свежих" точках.

Другим эффективным способом проверки адекватности модели следует считать ее использование для принятия каких-то управленческих решений, т.е. включение модели (закономерности) в систему управления объектом F^0 . Эффективность этой системы управления зависит от адекватности модели F^* объекту F^0 .

Именно таким критерием практического использования модели можно всегда проверить ее адекватность.

Нетрудно показать, как взаимодействуют экстраполяционный и оптимизационный способы выявления закономерностей: один сводится к другому. Действительно, решение оптимизационной задачи (I3) осуществляется рекуррентным алгоритмом α : $F_{n+1} = \alpha(F_n)$, $n=1, \dots$, который представляет собой функцию, определенную на F . Эту функцию всегда можно представить в интерполяционной форме, например, в виде (9) или (II). При этом протокол (4) однозначно определяет эти функции. Варьируя протоколы, можно получить достаточно широкий класс алгоритмов $\{\alpha\}$, из которого уже нетрудно найти оптимальный α^* для решения данной задачи (I3).

§3. Двухэтапный подход к выявлению закономерностей

Любой процесс обнаружения закономерностей может быть реализован двояким образом. Традиционно он представляет собой процедуру Φ над априорными и апостериорными данными (7). Сама по себе

процедура Φ почти всегда имеет рекуррентный характер, что способствует процессу последовательного улучшения модели, который заканчивается на F^* .

Однако в последнее время сложился другой подход, в котором процедура Φ имеет двухэтапную структуру. На первом этапе она определяет систему очень приближенных "прамоделей": $F_1, \dots, F_n$, из которых на втором этапе создается искомая модель F^* . И первый и второй этапы могут иметь рекуррентный характер.

Этот двухэтапный подход идейно близок к методу группового учета аргументов [5], в котором система функций разложения также строится из грубых приближений к искомой функции. Опишем предлагаемый подход применительно к задаче распознавания.

В данном случае роль прамodelей $F_1, \dots, F_n$ могут играть любые алгоритмы распознавания, обученные на протоколе (4). Если таких простейших структур не хватает, то можно их неограниченно синтезировать путем случайной вариации протокола (4), на котором обучаются эти правила. Таким образом, набор достаточно разнообразных правил (4), отражающих в то же время специфику протокола, всегда можно иметь в той мере и степени, в какой это необходимо.

Теперь рассмотрим способы синтеза правила F^* . Имеются два метода.

1. Синтез гибридного правила образуется как определенная функция грубых решений:

$$F = f(F_1, \dots, F_n) . \quad (15)$$

Оптимизация этой функции на протоколе (4) дает возможность построить оптимальное решающее правило:

$$Q(f) = \sum_{i=1}^N |f(F_1(X_i), \dots, F_n(X_i)) - Y_i| \rightarrow \min_{f \in \Delta} = f^* , \quad (16)$$

где Δ - класс функций, на котором имеется оптимальная f^* . В простейшем случае f - линейная функция:

$$F = \sum_{i=1}^n \alpha_i F_i , \quad (17)$$

и оптимизацию следует вести в R^n по параметрам α_i ($i=1, \dots, n$).

В общем случае функцию f можно задать обучающей выборкой (протоколом)

$$\langle w_i, v_i \quad (i = 1, \dots, T) \rangle \quad (18)$$

и правилом интерполяции, например (9), где $Y_j'' = V_j$, $X_j'' = W_j$ и $N = T$. Задача оптимизации (16) здесь решается в пространстве $\{W, V\}$.

Эксперименты [6] показывают эффективность такого подхода. Во всяком случае, всегда удается получить правило F^* , лучше любого из исходных моделей $F_1, \dots, F_n$.

2. Другим способом организации решения F из исходного множества $F_1, \dots, F_n$ является использование идеи медицинского консилиума, так называемого коллектива решающих правил [7]. Эта идея сводится к тому, что принимаемое решение зависит не только от решения исходных правил, как в гибриде (15), но и от ситуации X :

$$F(X) = g(F_1(X), \dots, F_n(X), X), \quad (19)$$

т.е. в каждой точке X принимает решение свой гибрид:

$$F_X = f_X(F_1, \dots, F_n). \quad (20)$$

Простейшей формой организации f_X является выбор правила, наилучшего в этой ситуации:

$$F = F_i \quad (i = \arg \min_{j=1, \dots, n} Q(F_j)), \quad (21)$$

где $Q(\cdot)$ – критерий эффективности правила. Такая организация разбивает все пространство ситуаций $\{X\}$ на области "компетентности" исходных правил $F_1, \dots, F_n$ и сводится к решению n -классовой задачи распознавания (по числу исходных правил).

Такой подход без труда обобщается и на другие задачи выявления закономерностей (аппроксимации, синтеза оптимального управления и т.д.) [8].

§4. Прикладная гносеология – наука о практических методах познания

В кибернетике (и в смежных с ней науках) имеется ряд направлений (идентификация, планирование эксперимента, теория систем, искусственный интеллект и т.д.), разрабатывающих специальные формальные методы, с помощью которых можно описывать широкий класс сложных явлений окружающего мира. Эти методы ориентированы на применение ЭМ.

В связи с этим возникает проблема: выяснить, что нового вносят эти специальные методы в процесс научного познания? Это направление получило название прикладной гносеологии (термин предложен в [9]). Этим подчеркивается, что здесь рассматриваются не общетеоретические проблемы гносеологии (природа познания, его возможности, отношение к реальности, условия достоверности и истинности), а лишь конкретные методы познания конкретных (в основном естественнонаучных) явлений с конкретными целями научного познания и конкретными средствами (ЭВМ).

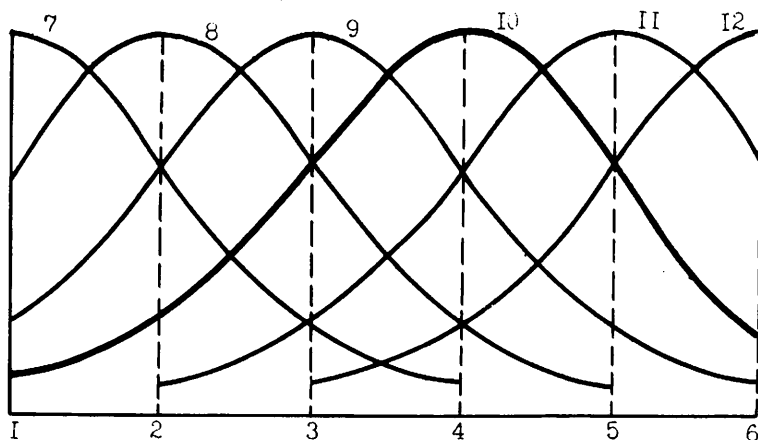


Рис. 2

Укажем место прикладной гносеологии среди других направлений, близких к ней, средствами размытых представлений. На рис. 2 показаны функции принадлежности различных уровней процессов познания в иерархии подходов к изучению нашего мира: формальная логика (арифметика, ЭВМ) - 7; идентификация (и распознавание образов) - 8; машинные методы обнаружения закономерностей - 9; прикладная гносеология - 10; философия (теоретическая гносеология) - 11; ивентология - 12. В качестве аргумента выбраны уровни абстракции три подходе к изучаемым явлениям, а именно: число (знак) - 1; формула - 2; алгоритм - 3; метод - 4; методология - 5; мировоззрение - 6. Место прикладной гносеологии находится между машинными методами обнаружения закономерностей и гносеологией (см. жирную кривую).

Задача прикладной гносеологии как науки – это исследование и создание формализованных методов познания, опирающихся на методы кибернетики и достижения современной вычислительной техники.

Для прикладной гносеологии важность методов кибернетики как науки об управлении сложными системами очевидна. Действительно, в прикладной гносеологии процесс познания рассматривается как процесс синтеза моделей изучаемых явлений (исторических, социальных, психологических и др.). Такое познание будем называть просто познанием в узком смысле. Но синтез модели является процессом управления, где объектом являются исходные (априорные и апостериорные) знания об изучаемом явлении, управление – преобразование этих знаний в модель, а цель – установление адекватности модели с изучаемым явлением. Именно поэтому для прикладной гносеологии методы кибернетики предпочтительны как универсальные и формализуемые подходы к синтезу познавательных моделей.

Вычислительные машины также формируют облик прикладной гносеологии как науки. Действительно, использование мощных методов кибернетики исключает их "ручную" реализацию. Такие методы, как имитационное моделирование, оптимизация, эволюционное моделирование и аналогичные им появились благодаря ЭВМ. Именно поэтому формализация процессов познания должна ориентироваться прежде всего на современные и будущие вычислительные средства (ЭВМ, вычислительные системы и сети), которые неизбежно окажут (и уже оказывают) обратное влияние на процесс познания – особенно научного. Ориентация на ЭВМ в прикладной гносеологии является лишь констатацией давно начавшегося процесса "машинизации" процессов познания (в указанном узком смысле).

Таким образом, машинные методы обнаружения закономерностей, методология которых рассмотрена выше, обобщаются прикладной гносеологией – наукой о методах познания в узком смысле.

Л и т е р а т у р а

1. РАСТРИГИН Л.А. Современные принципы управления сложными объектами. – М.: Сов. радио, 1980. – 230 с.
2. КАТКОВНИК В.Я. Линейные оценки и стохастические задачи оптимизации. – М.: Наука, 1976. – 487 с.
3. ТАРАСЕНКО Ф.П. Непараметрическая статистика. – Томск, Томский госуниверситет, 1976. – 292 с.
4. РАСТРИГИН Л.А., ЗАБРИКАНТ М.Н. Эмпирическое прогнозирование методом многомерной линейной экстраполяции. – В кн.: Машинные методы обнаружения закономерностей. Новосибирск, 1976, с. 85–89.

5. ИВАХНЕНКО А.Г. Системы эвристической самоорганизации в технической кибернетике. - Киев: Техника, 1971.

6. ДЖАНДИЕРИ В.В., РАСТРИГИН Л.А. Об одном способе синтеза алгоритма распознавания. - В кн.: Динамика систем оптимизации. Горький, 1976, с.168-179.

7. РАСТРИГИН Л.А., ЭРЕНШТЕИН Р.Х. Принятие решений коллективом решающих правил в задачах распознавания образов. - Автоматика и телемеханика, 1975, № 9, с.133-144.

8. РАСТРИГИН Л.А., ЭРЕНШТЕИН Р.Х. Коллектив алгоритмов для обобщения алгоритмов решения задач. - Изв. АН СССР, Техн. кибернетика, 1978, № 2, с.116-126.

9. ЗАГОРУЙКО Н.Г. Детерминизм как методологическая основа прикладной гносеологии. - В кн.: Современный детерминизм и наука. Т.1. Общие проблемы детерминизма. Новосибирск, 1975, с.284-292.

Поступила в ред.-изд.отд.
6 февраля 1981 года