

УДК 001/001.5+50

МЕТАЯЗЫК ДЛЯ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО НАУЧНОГО ОБЩЕНИЯ

Горелик С.Л.¹, Марков Я.Г.²

¹СПб НИУ ИТМО «Санкт Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики». Санкт-Петербург, Россия, 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д.49, E-mail: od@mail.ifmo.ru

²Международный банковский институт, Санкт-Петербург, Россия, 191011, Санкт-Петербург, Невский пр., 60, E-mail: admin@ibispb.ru

Рассматривается подход к созданию языка междисциплинарного научного общения на основе теории информации и других смежных математических наук. Формулируются признаки описаний, которым должна соответствовать научная дисциплина, чтобы успешно войти в процесс междисциплинарного общения и использовать один из наиболее продуктивных методов исследования на основе аналогий между утверждениями, доказательствами, теориями. Рассматриваются особенности использования цифровых описаний для создания метаязыка для естественных наук, которые объединяются в рамках новой научной дисциплины «Цифровое естествознание», которая изучает общие методы построения и использования цифровых моделей, прогнозирования, управления сложными системами. Статья ориентирована на научных работников, преподавателей и учащихся высших учебных заведений, заинтересованных в участии в междисциплинарных исследованиях и совершенствовании методологии обучения различным научным и прикладным дисциплинам на единой методологической основе.

Ключевые слова: междисциплинарность, информация, управление, прогнозирование, системный анализ, научная аналогия.

META LANGUAGE OF INTERDISCIPLINARY SCIENTIFIC COMMUNICATION

Gorelik S.L.¹, Markov J.G.²

¹ SPb NRU IFMO St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Fine Mechanics and Optics, St. Petersburg, Russia. 197101, St. Petersburg, Kronversky av. 49, E-mail: od@mail.ifmo.ru

²International Banking Institute. St. Petersburg, Russia, 191011, St. Petersburg, Nevsky av., 60, E-mail: admin@ibispb.ru

Approach to create the Meta language of interdisciplinary scientific communication on the basis of the theory of information and other mathematical sciences is considered. Features of descriptions to which there has to correspond scientific discipline are formulated to enter successfully into process of communication and to use one of the most productive methods of research on the basis of analogies between statements, proofs, theories. In what way to use better the digital descriptions for creating of meta language for natural and social sciences which unite within new scientific discipline "Digital Universal Sciences" are discussed. This discipline studies the general methods of construction and use of digital models, forecasting, management of difficult systems. Article is focused on scientists, teachers and pupils of the higher educational schools interested in participation in interdisciplinary researches and improvement of methodology of training in various scientific and applied disciplines on a uniform methodological basis.

Keywords: interdisciplinarity, information, control, forecasting, system analysis, scientific analogy.

Введение

Современные тенденции в научных исследованиях в последние годы все больше связываются с понятием междисциплинарности. Проблема узкой специализации закладывается еще в начальной стадии образования, когда начинается углубленное изучение специальных предметов. В результате в каждой отрасли знаний возникает

специализированный язык общения, который не позволяет использовать достижения одной отрасли знаний в другой и нормально взаимодействовать специалистам даже из смежных дисциплин.

Известно высказывание знаменитого математика Стефана Банаха: «Математик – это тот, кто умеет находить аналогии между утверждениями, лучший математик – тот, кто устанавливает аналогии доказательств, более сильный математик – тот, кто замечает аналогии теорий; но можно представить себе и такого, кто между аналогиями видит аналогии». Именно «метод аналогий» позволяет создать мощный синергический эффект от взаимодействия различных специалистов и дисциплин [17].

Метод аналогии эффективно реализуется только тогда, когда в различных дисциплинах используются близкие языки для описания. Естественной основой для таких описаний являются математические науки. Можно утверждать, что совокупность научных знаний оформляется в научную дисциплину на первоначальном этапе, когда в ней начинают использоваться математические описания для классификации накопленных знаний. Многие естественные науки (медицина, ботаника, зоология, минералогия и др.) прошли эту стадию еще в средние века. Некоторые, в частности, социальные науки, в конце 19-го – начале 20-го века.

Второй этап формирования научной дисциплины в науку характеризуется активным использованием измерительных методов и статистической обработки результатов для поиска и описания закономерностей и проверки соответствия теории результатам экспериментов. Этот этап характерен для первой половины 20-го века. Тенденции затронули не только естественные науки, но и науки гуманитарной группы (математическая лингвистика, структурный анализ в литературе и т.п. [11,19]).

Следующий этап в развитии научной дисциплины, который оформился во второй половине 20-го века и развивается в настоящее время, характерен использованием универсальных методов теоретического анализа на основе математических моделей и теории управления (первый, кто сформулировал этот подход, был Норберт Винер в знаменитой работе [4]).

Многие ученые обращали внимание на то, что теория информации может стать универсальным языком для различных научных дисциплин, а основанная на ней информационная технология – основой для практического внедрения результатов научных исследований в практику и использовали этот факт в своих работах [2, 5, 10, 14, 20, 21]. Но

быстрое движение в этом направлении становится возможным только в настоящее время, в связи с бурным прогрессом цифровых технологий и появлением сверхмощных и доступных технических средств для обработки, хранения и передачи информации.

Целью настоящей работы является исследование метаязыка для междисциплинарного общения представителей различных отраслей науки и разработка «метода аналогий» для научных исследований, основанного на метаязыке.

Цифровое естествознание

Признаками современной научной дисциплины являются:

- использование **«цифровых моделей»** изучаемых объектов и явлений для описания основных закономерностей, по которым можно прогнозировать их поведение в тех или иных условиях;
- наличие модели **информационного взаимодействия** объектов и систем, состоящих из множества объектов;
- наличие технологии **экспериментальной оценки** численных параметров, описывающих модель, в том числе и в первую очередь на основании измерения параметров информационных сообщений и сигналов, отправляемых и получаемых объектами и системами друг другу;
- наличие алгоритмов для **сравнения результатов** оценки с полученным ранее прогнозом;
- наличие алгоритмов (в первую очередь эвристических) для **принятия управленческих решений** на основе результатов сравнения;

Модель должна предусматривать соответствующие подсистемы, входящие в изучаемую систему или объект, которые обеспечивают поддержку указанных операций:

- выработки и передачи сообщений;
- приема и обработки (фильтрации) сигналов (для выделения полезных сообщений);
- измерения и оценки параметров;
- принятия управляющих решений;
- исполнительные механизмы для выполнения решений.

Из указанных подсистем формируется полная структура системы с обратными связями, которая определяется такими характеристиками, как устойчивость, стабильность, точность, вероятность пропуска целевой информации и формирования ложных сообщений и др. Все

эти понятия сформулированы и используются в теориях управления, обнаружения, оценок, модуляции, измерения, принятия решений, распознавания образов [3, 5, 18], которые, наряду с теорией информации, образуют базовый набор математических теорий, язык которых может стать основой **метаязыка для междисциплинарного общения**. На основе этого языка формируется новая научная дисциплина **«Цифровое естествознание»** (“Digital Universe Sciences”), в которой методология указанных теорий применяется к исследованию различных природных систем, состоящих из взаимодействующих объектов разной природы. «Цифровое естествознание» создает естественную площадку для взаимодействия других научных дисциплин и широкого использования **«метода аналогий»**.

В нашем представлении природа – это множества чисел, определяющих состояние объектов и взаимодействие между ними. Преобразования объектов – это случайный процесс. Конкретные «цифровые модели» объектов и систем возможны только в вероятностном смысле. Вспомните знаменитую фразу А. Франса: «Случай, как сказал Анатолий Франс, – это псевдоним Бога, когда он не хочет подписаться своим именем!» Добавим: «Бог управляет числами!» И это очень продуктивное описание, которое предоставляет каждому объекту природы (богу, человеку, космосу, социальной системе и др.) свое место в информационном процессе, с помощью которого управляются и регулируются все объекты и системы в природе. **Целочисленные описания** естественно возникают при переходе от пространственно-временных к спектральным координатам при описании одних и тех же процессов с помощью ортогональных преобразований типа Фурье – Уолша. Спектральные описания состоят из целого числа гармоник (описываемых с помощью натурального бесконечного ряда целых чисел) и образуют естественную числовую решетку в многомерном пространстве, которую можно рассматривать как дискретное представление различных объектов и систем. Этим определяется исключительная роль целых чисел и связи различных числовых закономерностей с закономерностями в природных явлениях, которые исследовались различными дисциплинами. Измерительный прибор влияет на измеряемый объект, наблюдатель – на наблюдаемый (например, опубликованная статистика влияет на процесс, который в ней оценивается через систему принятия решений и исполнительные механизмы). Это утверждение не вытекает из принципа неопределённости, который связан с невозможностью измерения спектра в фиксированный момент времени (так как для измерения спектра необходимо несколько отсчётов в разные моменты времени). Принцип неопределённости является объяснением некоторых принципиальных ограничений при

попытке получения одновременных оценок дополнительных величин (например, координата и скорость). Но если учесть четырехмерность пространства – времени и равноправность временной и пространственных координат, то можно объединить высказанные ранее утверждения в общий принцип **невозможности одновременного измерения с нулевой погрешностью**, даже в условиях отсутствия мешающих шумов, **двух и тем более нескольких величин, описываемых некоммутирующими операторами** (точные определения упоминаемых понятий можно найти в литературе по теории относительности, квантовой механике и высшей алгебре). Возможная формулировка принципа неопределенности может быть основана на особенностях прямого и обратного спектральных преобразований. Невозможно иметь одновременно с нулевой погрешностью описания одной системы в пространственном и спектральном описаниях. Переход от одного описания к другому может быть сделан только в вероятностном смысле, то есть с погрешностью, которая обусловлена как неточностью задания исходных описаний, так и влиянием шумов, создающих случайные искажения в процессе преобразования. Из-за шумов и ограничений, накладываемых теоремой Котельникова – Шеннона, спектральные преобразования не являются обратимыми, что соответствует теоретико-информационным представлениям об энтропии.

Единство пространственных и временных координат проявляется в более общем виде многомерного описания (где число измерений определяется количеством параметров), могут быть интерпретированы понятия «близости» и «связности» (в топологическом смысле) и «расстояния» между объектами. Близкие по пространственным координатам объекты могут быть удалены по временной оси, а далекие – оказаться близкими. С учетом криволинейности многомерного пространства, можно предположить, что информационные сообщения от объекта, вышедшие из него в разные моменты времени, могут доходить до одной и той же точки пространства-времени разными путями (но в одно и то же для данной точки значения времени) и взаимодействовать («интерферировать») друг с другом. Простым примером может служить ситуация, когда сообщение из Северного полюса Земли может быть доставлено в точку, находящуюся на Южном полюсе по любому из меридианов, проходящих по криволинейной поверхности Земли, но также и напрямую, по хорде, совпадающей с диаметром. Причем сообщения, доставленные разными путями (по меридиану и хорде), придут неодновременно и могут быть восприняты получателем как разные. Если в сообщениях есть специальные метки (коды), которые позволяют сопоставить их по

временной оси, то можно ввести соответствующие задержки (корректировки) и с некоторым запаздыванием равным промежутку времени между первым и последним из доставленных сообщений с одинаковой меткой принять решение по совокупности, полученной с нескольких параллельных каналов передачи информации сигналов. То есть доставка сообщений может происходить параллельно по нескольким каналам коммуникаций («траекториям») и реально, объем передаваемой информации в виде сообщений в единицу времени может быть сколь угодно большим, несмотря на то, что скорость распространения сигнала (скорость «транспорта для доставки сообщения») ограничена в соответствии с теорией относительности. Если предположить, что многопараметрическое описание объектов в пространстве-времени можно рассматривать как отображение в точку в многомерном пространстве параметров («размытую» из-за неточностей оценки координат этой точки), то возникает интересное описание мира в виде множества точек, взаимодействие между которыми описывается геометрическими преобразованиями типа неточечных геометрических отображений [1, 6]. Такое описание позволяет выявить интересные аналогии и закономерности, которые присущи многим, подчас далеким друг от друга системам. Вопрос составления описания объектов с помощью набора числовых параметров («переменных») также нетривиален. Необходимо решать две задачи: **оценить «компактность» и «полноту»** описания. Компактность определяет отношение объема информации, используемого для описания, к минимальному возможному объему, который представляет собой набор собственных значений разложения описания объекта по собственным функциям [12,16]. Набор собственных значений может быть принят за минимальный объем для стационарного процесса, а для нестационарного необходимо рассматривать локально-адаптивные пространственно-неинвариантные разложения по ортогональному базису. Такое разложение может быть описано, в частности, преобразованием Карунена – Лозва, используемым для создания компактных описаний многомерных сигналов (например, изображений). Компактное описание может быть сопоставлено с так называемым «статистическим (термодинамическим) весом» объекта, так как каждый из параметров разложения может быть определен с конечной точностью (то есть в пределах динамического диапазона изменения этого параметра). Отношение между динамическим диапазоном изменения параметра (при этом удобно использовать ортонормированные базисы) определяет минимальный информационный объем в битах, необходимый для числового представления параметра. Полнота описания (модели объекта)

– также интересная проблема. Дело в том, что реальные описания никогда не могут быть «полными». Это связано с тем (мы отмечали это выше), что в описаниях всегда присутствуют неизбежные погрешности оценки, вызванные воздействием измерительных инструментов на измеряемый объект и принципом неопределенности, который ограничивает принципиально возможность бесконечно точного измерения значения коммутируемых параметров, например, импульса и координат (или времени и координаты, или двух координат), то есть собственных значений разложения по собственным функциям. Это означает, что любой процесс описывается как сигнал, содержащий полезное сообщение (компактное описание объекта) и шум, определяемый воздействием обязательных погрешностей оценок и неполноты описания (неполнота соответствует тому обстоятельству, что имеется отличная от нуля вероятность влияния окружающих объектов на исследуемый – это следствие незамкнутости объектов, то есть наличия информационного взаимодействия с другими объектами). Можно указать на связь между полнотой числовых описаний моделей объектов и теоремами Геделя, что может привести к интересным аналогиям между описаниями, использующимися в различных научных дисциплинах.

Информационное взаимодействие объектов

Взаимодействия объектов приводят к непрерывному изменению параметров описания. Поскольку в любом взаимодействии присутствует случайная составляющая (шум, погрешность оценок), вызванная указанными выше факторами, **то преобразования объектов, возникающие в процессе взаимодействия, необратимы.** Указанные процессы рассматриваются в теории незамкнутых систем, к которым относятся практически все реальные системы. Поведение систем в равновесных и неравновесных состояниях изучено достаточно полно, начиная с основополагающих работ И. Пригожина по неравновесной термодинамике [13]. Важно понимать, что перенос физических теорий на социальные и биологические системы не всегда корректен. Необходимо избегать простых аналогий и каждый раз проверять построенные модели на соответствие опыту [15]. Особенно важно учитывать, что все теории и модели хорошо работают только вблизи состояния равновесия системы. Если система теряет устойчивость и выходит из состояния, близкого к равновесию, то необходимо учитывать возможность изменения модели. Другими словами, большинство теоретических моделей работают в том небольшом диапазоне отклонений, когда они могут быть аппроксимированы линейными преобразованиями. Процесс информационного взаимодействия между объектами реализуется с помощью различных механизмов, каждый

из которых является предметом изучения соответствующей отрасли науки. Между этими процессами, однако, есть аналогии, которые необходимо отметить, так как они приводят к важным выводам. Передача сигналов от одного объекта к другому может рассматриваться в соответствии с классическими принципами теории связи с использованием спектральных представлений на основе рядов Фурье, которые являются частным случаем более общего представления процессов в виде разложений по ортогональным базисам. Разложение многомерного процесса, которым является изменение объекта во времени и многопараметрическом пространстве, в ряды Фурье – Уолша приводит к представлению сложного многомерного сигнала в виде суперпозиции монохроматических сигналов (гармоник), частоты которых содержат кратные основные гармоники и гармоники, порожденные произведением частот по различным координатам. В любом сигнале содержится информация о параметрах объекта, которую несут коэффициенты разложения. Процесс наложения сообщения на несущий сигнал называется модуляцией. Приемник выделяет из сигнала соответствующие частоты и оценивает амплитуду каждой гармоники. Каждый объект обычно использует для передачи сообщений набор колебаний с длинами волн, который могут генерировать устройства, из которых он состоит. Как правило, этот набор длин волн находится в области значений, соизмеримых с размером объекта или его компонентов (речевой и слуховой аппарат у человека, размеры антенных решеток у радиопередатчиков и приемников и т.д.). Именно поэтому для **взаимодействия объектов разных размеров** (от нано до мега) необходимы специальные устройства, чувствительные к тому или иному спектру излучения. Человек до определенного времени, пока не были развиты соответствующие технологии связи, мог общаться, как говорится, на расстоянии прямого видения и «слышания». По мере развития технологии человек стал воспринимать невидимые и невоспринимаемые на слух сигналы с длинноволновым и коротковолновым спектром, а затем создал инструменты и для изучения других диапазонов. Суть технологии состоит в том, что приборы, принимая колебания в диапазоне, соответствующим своим возможностям, преобразуют информацию в форму и частоты, доступные для человека. Объекты разных размеров могут воспринимать сигналы от сильно отличающихся по размерам объектов за счет того, что в спектре сигналов при модуляции начинают появляться более высокие и низкочастотные составляющие. А эти составляющие могут дать представление: о чем «общаются» объекты из другого по размеру «мира». Таким образом, в общем виде процесс информационного взаимодействия описывается в спектральных

представлениях и позволяет представить, как происходит информационный обмен в природе между объектами космического, человеческого и микромиров.

Время и информация

Рассмотрим один из важнейших аспектов информационного взаимодействия объектов – **понятие относительности времени**. Мы понимаем под этим понятием факт изменения масштаба временной координаты для каждого объекта в зависимости от поступающей к нему информации. В теории информации полезным сообщением является только та часть поступающего информационного потока, которая является новой для принимающего объекта. Мы полагаем, что за единичный интервал времени для каждого объекта целесообразно принять промежуток между поступлениями новой информации. Другими словами, можно интерпретировать отсутствие информации как остановку времени. Чем меньше информации поступает в объект, тем медленнее течёт время в его системе координат. Для источника информации течение времени определяется собственной скоростью обновления информации, и она может отличаться от скорости приёмника, в частности, за счёт информации от третьих объектов. Таким образом, все объекты сложной системы рассматриваются как источники и получатели одновременно и имеют собственную шкалу времени. Это, кстати, очень хорошо согласуется с субъективным мнением, что если «ничего не происходит, то время замедляется», а если, наоборот, много событий, то «время течёт быстро». Отсюда следует, что понятия «старения и времени жизни» объектов применимы к любым объектам живой и неживой природы и связаны с процессами информационного взаимодействия с другими объектами. Если объект перестает выдавать информацию на языке, воспринимаемом другими объектами – он становится для них «невидимым», но это означает, что он прекратил существование только для этих объектов, а для других остается таким же партнером по взаимодействию. Причиной прекращения потока информации от объекта может быть его переход в другое состояние, деформация или разрушение структуры, распад на составляющие объекты. «Черные дыры» и «темная энергия» существуют, хотя незаметны для наблюдателей, пользующихся обычными телескопами, но «наблюдаются или вычисляются» другими методами. Смерть человека или другого биологического объекта не означает прекращения его взаимодействия с внешним миром. Оно становится другим, но сохраняется до тех пор, пока получаемая другими объектами информация ассоциируется именно с этим объектом («сохраняется в памяти потомков»). Существование социальных систем может также рассматриваться в терминах

временных процессов. Если масштабы времени для различных объектов, образующих социальную систему, имеют существенно различные значения, то такая система (в вероятностном смысле), будет иметь другое время жизни. (Время жизни можно оценивать «периодом полураспада объекта», то есть временем, за которое поток полезной информации, воспринимаемой объектом и излучаемой им, уменьшается вдвое.) Другими словами, **масштаб времени объекта (и время его жизни, в свою очередь) имеет двойственный характер**: с точки зрения других объектов (наблюдателей) и точки зрения внутренних взаимодействий объектов, составляющих систему. Один объект может быть не существующим с точки зрения одной из систем, в которую он входит как «внутренний», и существующим с точки зрения других систем и самого себя. Устойчивость систем, состоящих из множества объектов, связана с различными масштабами их «внутренних» временных координат (часто воспринимается как отсутствие синхронизации). Неоднородность системы в этом смысле затрудняет обмен информацией между объектами системы и порождает задержки в цепях регулирования через обратные связи и системы принятия решений, приводит к возникновению неустойчивостей («кризисов»). Эта связь мало исследована, но может привести к полезным способам оценки общего состояния системы. Как мы уже отмечали выше, с точки зрения информационной теории, именно наличие «нового» в сообщении и есть полезная информация. Ощущение того, что ничего не меняется, эквивалентно, в некотором смысле, **«замедлению времени»**. Применительно к ощущениям отдельного человека можно утверждать, что отсутствие новизны приведёт к тому, что каждый новый сигнал будет все с большей вероятностью относиться к шумовым, а не полезным (сообщениям). Повышается вероятность пропуска цели, которая может привести к ошибочным решениям и действиям. Субъективно **отсутствие новизны воспринимается как «скука»**. Скука убивает любовь и симпатии. Скука «заразна», так как передается от «объекта к объекту (человека к человеку)». Таким образом, в отношении ощущения социальных объектов можно утверждать, что **отсутствие «новизны» порождает скуку**.

Двойственность описаний и ее последствия

Очень важным обстоятельством, вытекающим из фундаментальных наук, которое активно используется в настоящей работе, является **принцип «двойственности»**, который в логически-алгебраическом смысле допускает одновременную принадлежность объекта к разным множествам и обуславливает определенные отношения между объектами,

относящимся к различным множествам. Более строго это утверждение выглядит так: дополнение к объединению множеств равно пересечению их дополнений, а дополнение к пересечению множеств равно объединению их дополнений [9]. Этот принцип легко обобщается на произвольное число переменных. Другая, не противоречащая предыдущей трактовка принципа двойственности используется в настоящей работе, формулируется в проективной геометрии (или, в более общем виде, в интегральной геометрии Римана) [7]. Важно понимать, что принципиальным элементом, который позволяет более эффективно моделировать реальные системы, является **совместное рассмотрение** таких точных утверждений, которые соответствуют **алгебраическим и логическим понятиям с вероятностными утверждениями**, которые вытекают из теории случайных процессов и теорий информации. Такое рассмотрение иногда удобно вести на основе представлений о нечетких множествах [9]. Методы теории нечетких множеств эффективно используются в различных научных приложениях – от систем управления летательными аппаратами до прогнозирования исхода выборов. Современный уровень IT и компьютерных технологий позволяет нечеткую логику и, соответственно, нечеткие множества, в которых принадлежность объекта к множеству оценивается в вероятностном смысле, позиционировать между экспертными системами и нейронными сетями. На уровне современных научных представлений можно предположить, что Вселенная как совокупность взаимодействующих объектов присутствует во всех измерениях (пространстве, времени и других) как в отрицательной, так и в положительной областях (по осям координат). Поскольку координаты объекта в параметрическом пространстве известны только с некоторой погрешностью (это означает, что с конечной вероятностью объект присутствует в нескольких точках или, точнее, в некоторой области параметрического пространства), то результаты прогнозирования его значения по любой из координатных осей могут быть предсказаны только в вероятностном смысле. Для временной координаты это означает, что **объект одновременно присутствует в прошлом, настоящем и будущем**, потому что точка отчета по каждой координате, в том числе и временной, у каждого объекта своя. Это означает, что для наблюдателя, который находится на некотором пространственном расстоянии от наблюдаемого объекта, информация о прошлом наблюдаемого объекта соответствует настоящему в собственной системе координат (так как сигнал от наблюдаемого объекта может доходить до наблюдателя только с конечной скоростью, пределы которой определяются теорией относительности). Двойственность означает также,

что можно рассматривать в описаниях объектов пространственно-временной системы координат и пространстве пространственно-временных частот, которые связаны через преобразования типа Фурье – Уолша. Очень важно обратить внимание на то, что в спектральном представлении очень естественно **проявляется бесконечность и ограниченность**, которая рассматривается по осям частот, а не по пространственно-временным осям. Именно из такого понимания можно исходить при рассмотрении различных «замкнутых и открытых» систем, что приводит к интересным аналогиям и выводам.

Прогнозирование состояния объектов

Можно сказать, что в некотором смысле мы имеем симметричные возможности **предсказать будущее и описать прошлое** в собственной временной системе координат. Разница только в том, что, как правило, при «предсказании прошлого» мы имеем больше априорных данных о фактах из прошлого, сохраненных в документах, археологических раскопках, астрономических наблюдениях, памяти людей и т.п., чем при «предсказании будущего». Это позволяет нам делать более достоверные и точные оценки прошлого (хотя тоже только вероятностные), чем будущего. Прошлое, как и будущее, может быть представлено только как вероятностный прогноз. Нельзя прогнозировать с высокой точностью далеко вперед, если мы не обнаружим в прошлом объектов, аналогичных тем, развитие которых мы пытаемся предсказать. Аналогичная ситуация и по другим координатам. Если мы пытаемся прогнозировать изменение объекта при перемещении по одной из пространственных осей, то встречаемся с похожей ситуацией. Проблема еще и в том, что попытки точного предсказания сталкиваются с ограничениями, накладываемыми соотношением неопределенности, понимаемым в многопараметрическом смысле. Все перемещения объекта по любой оси влияют на возможную точность определения его положения на других. Это означает, что **любое развитие системы**, обусловленное взаимодействием объектов ее образующих и каждого объекта (который, в свою очередь, является системой, обращенной «внутри себя», например, в микропространство), **приводит к необратимому изменению** параметров системы. То есть невозможно ТОЧНО восстановить предыдущие состояния. Это другая формулировка второго начала термодинамики или, в более широком смысле, принципа максимума энтропии. Разрушить структурированный объект всегда легче, чем его воссоздать или создать, и для этого требуется определенная информация о его состоянии, которая, однако, может быть известна лишь с конечной точностью. При воссоздании

затрачивается определенная энергия, величина которой связана с разницей между априорной информацией о структуре восстанавливаемого объекта и тем текущем состоянием, из которого происходит восстановление. И еще надо учесть, что придется преодолевать влияние посторонних объектов (другими словами, шумов, излучаемых ими). И все равно реставрация не сможет быть бесконечно точной. Реставрированный объект будет лишь «похож» в определенном смысле на объект из прошлого. Иначе говоря, расстояние между ними в параметрическом пространстве будет не очень велико, не и не бесконечно мало. Из сказанного вытекает, что между различными фундаментальными научными утверждениями и законами имеется глубокая связь. Можно предположить, что фундаментальных утверждений значительно меньше, чем мы предполагаем, если их сформулировать в некотором «оптимальном» описании.

Структура объектов

Системы принятия решений и исполнительные механизмы заложены во всех природных системах и **являются объективной реальностью**, существующей вне зависимости от человека. При принятии решения учитываются, с той или иной точностью и достоверностью, все доступные для участников процесса данные. Но некоторые данные, в силу ограниченности возможностей восприятия информации (это свойственно каждому объекту), не учитываются при принятии решений (не могут быть учтены в силу того, что объект не воспринимает их через свои сенсорные системы в силу физических ограничений). В условиях неполноты априорных данных принятые решения оказываются малодостоверными и неточными, а соответствующие модели, по которым осуществляется прогнозирование состояния системы, оказываются, по результатам эксперимента, не удовлетворяющими требованиям поставленных задач (как правило, эти задачи требуют обеспечения устойчивости моделируемой системы или ее развития в соответствии с заданными критериями). Особенно актуальна указанная проблема в многокритериальных задачах, когда принятие решение по одному критерию влияет на решение по другому (то есть зависит от последовательности исполнения решений), где невозможно или объективно трудно формализовать критерии и расставить формальные приоритеты. В такой ситуации **«активные» объекты** (то есть объекты, которые развивают себя через эволюционные процессы и воспроизводство себе подобных) включаются в процессы принятия решения. Системы, содержащие такого рода объекты, обычно называют интеллектуальными. Процесс учета плохо формализуемых знаний и опыта в них реализуется с помощью экспертных

систем, в которых в процесс принятия решений (на одном или нескольких этапах) включен сам активный объект или его представитель. Система принятия решений реализуется через интеллектуальный алгоритм, в котором заложены опыт и знания создателей или прямое участие эксперта – человека или, например, животных, замечающих признаки опасности (будущего землетрясения, извержения вулкана, появление постороннего на охраняемой территории и т.п.) гораздо раньше технических средств, осуществляющих мониторинг и контроль.

Философский аспект

Можно сказать, что с появлением теории информации изменился способ видения мира. Если при прежнем способе мы видели преимущественно то, что неподвижно, то при новом мы **обращаем внимание преимущественно на то, что движется**. Изменения – это новая информация, получаемая в процессе череды экспериментов, которые составляют основу развития. Оказывается, что именно информационные взаимодействия (коммуникации) определяют и определяли главные сущностные характеристики современного мира. И понять этот мир можно только при ориентации не на статику, а на динамику, не на состояния, а на процессы, не на положения, а на отношения явлений природы и общества. С научной точки зрения можно утверждать, что **изменяется подход к предмету анализа**. Мы **используем аналогии** между различными явлениями природы и их описаниями, которые находим через информационную теорию взаимодействия, для **поиска новых описаний** и составления вероятностных прогнозов состояния объектов. Можно образно сказать, что от поиска все уменьшающегося количества «постоянных» мы переходим к поиску все возрастающего количества «переменных». Наука начинается тогда, когда имеются некоторые математические модели или описания объекта или процесса, на основании которых можно сделать вероятностный прогноз той или иной ситуации и провести проверку результатов прогноза с помощью эксперимента. Для этого также должны существовать методы измерения (оценки) параметров моделируемого объекта или процесса и соответствующий инструментарий. Достижения современных ИТ позволяют перейти от описания моделей в виде математических уравнений или образов к цифровым описаниям, что качественно изменило ситуацию в тех отраслях знания, которые плохо поддавались традиционным описаниям в виде уравнений. Можно утверждать, что сначала такие традиционные науки, как оптика, теория связи, астрономия и другие, начали использовать цифровые модели и цифровые методы обработки сигналов и сообщений. В настоящее время

появились цифровые модели в биологии, химии, социологии, экономике и т.п. Все это привело к тому, что появилась возможность сравнивать и выявлять аналогии между различными процессами и явлениями на уровне цифровых моделей и создавать междисциплинарные модели на едином языке. Это делает метод аналогий одним из самых эффективных в процессе развития современной науки.

Заключение

Для выявления научных аналогий и их эффективного использования необходимо хотя бы общее представление о каждом из перечисленных выше научно-математических подходов и о наличии связей между различными математическими описаниями. Один и тот же объект или процесс может быть по-разному интерпретирован в различных подходах, что часто случается на практике. Это приводит к тому, что в некоторых приложениях получены результаты (алгоритмы, модели, выводы), которые не получены в других, только благодаря тому, что было использовано более удобное математическое описание. Поэтому заимствование подходов на основе математических аналогий – эффективный способ развития тех или иных приложений. Удобно вести изложение на двух уровнях, чтобы обеспечить возможность «активного» восприятия изложенного специалистами и «пассивного» восприятия любителями. То удовольствие, которое можно получить от пассивного восприятия красивых научных теорий и гипотез, может сравниться только с восприятием произведений искусства. Зритель тоже не всегда может исполнить музыкальное произведение и нарисовать картину, но часто способен очень глубоко их воспринимать. Именно эта проблематика и является главной в «Цифровом естествознании» – междисциплинарной наукой, порожденной современными технологическими возможностями и представляющей собой наиболее целостное описание природы с точки зрения человека 21-го века. Цифровое естествознание исследует аналогии и связи между различными научными дисциплинами, чтобы выявить общие закономерности и создать новые практические приложения. Таким образом, «Цифровое естествознание» – это научная дисциплина, исследующая аналогии и связи между различными научными дисциплинами с помощью единого метаязыка для научного взаимодействия. Метаязык позволяет выявить общие закономерности и создать новые практические приложения и позволяет создать естественную основу для междисциплинарного научного взаимодействия.

Список литературы

1. Александров П.С., Маркушевич А.И. Энциклопедия элементарной математики. Т. IV. Геометрические преобразования. – С.121–124. – URL: <http://page-book.ru/i42210> (дата обращения 07.10.13).
2. Бриллюэн Л. Наука и теория информации. – М.: Физматгиз, 1960. – 286 с.
3. Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. – М.: Советское радио, 1972. – 1245 с.
4. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине: Пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Наука, 1983. – 344 с.
5. Горелик С.Л., Кац Б.М., Киврин В.И. Телевизионные измерительные системы. – М.: Связь, 1980. – 169 с.
6. Горелик С.Л., Михелевич Е.Г., Пинцов В.А., Пинцов Л.А. Обработка изображений при помощи неточечных преобразований // Автоматика и телемеханика. – 1979. – № 2. – С. 100-109.
7. Карган Э. Геометрия римановых пространств. Изд.: Либроком, 2010. – 345 с.
8. Клини Стефен Коул. Математическая логика. – М.: Мир, 1973. – 480 с.
9. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
10. Лебедев Д.С., Цуккерман И.И. Телевидение и теория информации. – М.: Энергия, 1965. – 218 с.
11. Лотман Ю.М. Избранные статьи: В 3 т. Т. I. Статьи по семиотике и топологии культуры. – Таллин: Александра, 1992. – С.191-199.
12. Наймарк М.А. Линейные дифференциальные операторы в гильбертовом пространстве. Глава VI. Спектральный анализ дифференциальных операторов. § 21. Разложение по собственным функциям. – М.: Наука, 1969. – 528 с.
13. Осипов А.И. Термодинамика вчера, сегодня, завтра. Часть 1. Равновесная термодинамика // Соросовский Образовательный Журнал. – 1999. – С. 79-85.
14. Пирс Д. Символы, сигналы, шумы. Закономерности и процессы передачи информации. – М.: Мир, 1967. – 338 с.
15. Сергеев В.М. Пределы рациональности. – М.: Фазис, 1999. – 146 с.
16. Солодовщиков А.Ю., Платонов А.К. Исследование метода Карунена-Лоэва / РАН, ИПМ им. М.В. Келдыша. – М., 2006; URL: www.keldysh.ru/papers/2006/source/rep2006_19.doc (дата обращения 07.10.13).

17. Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980. – 404 с.
18. Хемди, А. Таха. Теория игр и принятия решений. Введение в исследование операций. Глава 14. – М.: Вильямс, 2007. – С. 549-594.
19. Хомский Н. Язык и мышление: Пер. с англ. – М.: Наука, 1972. – 368 с.
20. Ярославский Л.П. Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии. Введение в цифровую оптику. – М.: Наука, 1982. – 220 с.
21. Vode H.W., Shannon C.E. A simplified Derivation of Linear Least Square. Smoothing and Prediction Theory // Proceedings of I.R.E. — 1950. – Vol. 38. – Iss. 4. – P. 417-425.

Рецензенты:

Тарлыков В.А., д.т.н., профессор, начальник управления проектирования образовательных программ (ФГБОУ высшего профессионального образования «СПб НИУ ИТМО»), г. Санкт-Петербург.

Харланов А.С., д.э.н., к.т.н., ректор Международного банковского института (Автономная некоммерческая организация высшего профессионального образования «Международный банковский институт»), г. Санкт-Петербург.