

НАУЧНО • ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Серия 2. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И СИСТЕМЫ
ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Издается с 1961 г.

№ 2

Москва 2019

ОБЩИЙ РАЗДЕЛ

УДК 001.102:008:52–54

А.Д. Урсул

Информационная природа эволюции и освоения мира: концептуальная гипотеза

Развивается гипотеза об информационной обусловленности эволюции и освоения мира человеком, опираясь на идеи взаимосвязи эволюции и информации (как всеобщего свойства материи), а также приоритета информации по отношению к веществу и энергии. Среди прочих методов, применяется так называемый инверсионный подход, предполагающий перестановку, изменение обычных, даже общепринятых связей, порядка и т.п., что показано на примерах взаимосвязи понятия «информация» с рядом других фундаментальных понятий и проблем. Эта взаимосвязь интерпретируется таким образом, что приоритетным в этих процессах является информация и формы её накопления и движения, что обуславливает «расширительные» процессы в различных сферах эволюции материи и социальной деятельности; даже Большой Взрыв и расширение Вселенной предлагается интерпретировать как информационный взрыв, поскольку накопление и движение информации, как и самоорганизационно-эволюционные процессы, возможны только в расширяющемся мироздании.

Ключевые слова: *Большой взрыв, глобальная эволюция, информация, информационный критерий развития, инверсионный подход, культура, освоение мира, разнообразие, супермагистраль, эволюционный консерватизм, эволюция*

ВВЕДЕНИЕ

Долгое время полагали, что человечество использует в качестве ресурсов в основном вещество и энергию, а об информации речь даже и не шла. До определённого момента это было вызвано тем, что информацию как научное понятие (и ресурс развития) наука «открыла» совсем недавно, немногим более полувека тому назад, а «ответственность» информации за процессы эволюции – ещё позже, когда были предложены атрибутивная концепция информации и информационный критерий развития.

Но и после своего «открытия» информация как ресурс развития продолжала оставаться в тени доминирования вещественно-энергетического мировоззрения, причём до сих пор её роль оказывается существенно «приниженной» по сравнению с энергией и веществом. Конечно, информация имманентно связана с веществом и энергией, поэтому, выделяя и подчёркивая приоритетную роль информационной составляющей развития, важно иметь в виду, что информация в принципе не существует без своих «более материальных» носителей. Но в прошлом, да и сейчас, вещество и энергия часто рассматриваются в качестве главных ресурсов в эволюционных процессах в обществе и научных способах исследования.

Например, энергетический метод, широко используемый в науках о неживой природе, стал самым первым, применённым в культурологических исследованиях, в чём проявилась инерция распространения традиционного для естествознания подхода. Так, для оценки уровня развития культуры Л. Уайтом был предложен критерий функционирования культуры, который определяется необходимым для этого количеством энергии и тем, каким образом она используется. Имелись в виду изменения количества энергии, потребляемой в год на душу населения, а также рост эффективности орудий труда, при помощи которых используется энергия [1]. Сейчас стало очевидным, что культура имеет иную природу – информационную [2].

Именно благодаря появлению культуры, как собой внеличностной системы средств накопления, хранения и преобразования информации, необходимой для организации любой социальной деятельности, развитие человечества с самого начала его становления имеет принципиально информационную природу и ориентацию, что ведёт к расширению пространства существования человека, освоению природных ресурсов, усилению интеграционно-информационных взаимодействий внутри социума и другим последствиям информационного приоритета развития. Все цивилизационные процессы, как будет нами показано, «укладываются» в эту информационную гипотезу освоения мира и развития социальной ступени эволюции. В настоящей статье на базе ряда общих принципов глобально-универсального эволюционизма выдвигается и обосновывается гипотеза не только об информационной обусловленности освоения человечеством окружающего его мира, но и о более ранних эволюционных процессах.

ИНФОРМАЦИОННЫЙ КРИТЕРИЙ И ВЕКТОР ЭВОЛЮЦИИ

За свою более чем полувековую историю наука об информации не только стала ведущим направлением современного научного знания, но и само понятие информации превратилось в широко употребляемую общенаучную категорию. Изложенное в этом разделе не представляет концептуальной новизны, а лишь содержит некоторые выводы из предшествующих работ автора, однако, для логики статьи эти положения важны. Напомним также, что в научной литературе нет единого мнения о том, является ли информация всеобщим свойством материи или же она характеризует лишь две высшие её ступени развития (биологическую и социальную). Здесь используется атрибутивная концепция (представляющая информацию в качестве одного из атрибутов мироздания, которое никогда не возникает, а существует изначально везде и во всём), которая оказывается эффективной для целей исследования, поставленных в статье.

Предполагается, что информация, также, как и энергия, существует во всех фрагментах мироздания, является характеристикой всех материальных систем и форм существования материи. Поэтому при взаимодействии материальных объектов (систем) между ними происходит обмен не только веществом и энергией, но и информацией. Если акцентировать внимание только на информационном аспекте этого взаимодействия, то его можно рассматривать как «расширенный» отражательно-коммуникативный процесс, выходящий за пределы социума. Этот процесс в общем виде характеризует не только общение между людьми или любыми живыми существами, но и обмен информацией между объектами неживой природы.

Информация в этой (атрибутивной) концепции представляет собой такую часть отражения (в частности образа, возникающего в голове человека), которая может трансформироваться в ходе передачи и других форм движения информации. Это инвариантная часть отражения, не зависящая от материального носителя и форм представления информации. Информация передается с помощью разнообразия или различия, на что в свое время обратил внимание один из основоположников кибернетики У.Р. Эшби, который считал, что самым фундаментальным понятием кибернетики является понятие «различие», означающее, что, либо две вещи различны, либо одна вещь изменилась с течением времени [3]. А возможность фиксации этого различия и составляет «элементарную ячейку» использования информационного подхода, при котором делается акцент не на изменении вещественно-энергетических характеристик, а на динамике (отражении) разнообразия, различия в процессе изменений. Сейчас эта концепция представляет интерес в связи с развернувшимся процессом цифровизации, где акцентируется особое внимание на свойствах дискретности и разнообразия информации. В этом и есть существенное отличие информационного подхода от энергетического, когда абстрагируются от наличия разнообразия в мире.

Само отражение существенно связано со своим материальным носителем и, кроме информации, характеризуется такими параметрами как пространственные, временные, энергетические и т.д. От материального носителя можно отделить лишь ту его часть, которая является инвариантной и потому может транслироваться, преобразовываться, трансформироваться в различные формы (представления), порождая отражение (образ) в ином предмете. Образ, который формируется в сознании одного человека под влиянием передачи информации другим человеком, никогда точно не совпадает с образом передающего, ибо у каждого есть свои индивидуальные отличия. Общее же между ними – в переданной от одного человека к другому информации в результате коммуникативно-отражательного действия.

Несмотря на обилие различных концепций и интерпретаций информации, приходится признать, что пока лишь атрибутивное представление информации как разнообразия (и отражения) использовалось для изучения процессов развития. Было обнаружено, что в ходе прогрессивной эволюции увеличивается количество разнообразия видов структурных единиц – различных представителей структурных уровней матери. Учитывая, что разнообразие видов связано с их информационным содержанием, можно сделать даже без точных подсчетов вывод, что количество информации, характеризующее содержание системы, увеличивается с переходом от низшей к высшей ступени эволюции.

Разнообразие видов материальных систем тесно связано с информационным содержанием «средней» структурной единицы более высокой ступени. Чем больше количество информации, заключенное в структурной единице, тем больше число комбинаций могут дать ее составляющие и, следовательно, возможно наибольшее порождение видов структурных элементов ступени, что следует из простейших комбинаторных соображений. В ходе прогрессивного развития увеличивается количество информации не только структурных единиц, но и соответствующей ступени в целом на более высоком этапе её эволюции. Тем самым, благодаря применению информационного критерия выявились новые возможности определения степени, темпов и направления эволюции материальных систем в природе и обществе.

Принцип увеличения информационного содержания систем и ещё два принципа – преемственности и расширения сферы существования и развития ступеней эволюции – представляют особый интерес для нашего дальнейшего рассмотрения. Согласно принципу преемственности накопленное эволюционирующей системой информационное содержание включается в новые, более высокие структуры, и тем самым «канализируется» траектория эволюции, если этому способствуют определённые условия. Сохранение накопленного ранее информационного содержания в эволюционирующей системе играет детерминирующую роль в дальнейших процессах развития, обуславливая их не только случайное, но и «комбинаторно-направленное» продолжение.

Этот принцип иногда именуют эволюционным консерватизмом, который, по мнению А.Д. Панова, является фундаментальным инвариантом универсальной эволюции [4]. Сохранение материальных систем так или иначе реализуется в тенденции к увеличению длительности их существования. Бытие как бы «стремится» как можно дольше продлиться и тем самым материальная система сохраняется как можно дольше. Однако не только время увеличивает свою длительность в существовании объектов и процессов и даже происходит процесс футуризации, но и расширяется пространство их существования в множественной - «популяционной» форме. Каждая вновь появившаяся ступень эволюции стремится увеличить как число составляющих её единиц, так и суммарный объем своего существования в мироздания.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ВИДЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ

На необходимость нового – информационного видения мироздания обратил внимание один из выдающихся физиков и астрономов Дж.А. Уилер, выдвинувший экзистенциально-информационный принцип: «Всё из бита» (*It from bit*) [5]. По этой идее вся Вселенная может мыслиться как **гигантский квантовый компьютер**, она имеет информационную природу, состоит из информационных феноменов, поскольку «всё – это информация» [6]. Тем самым информация представляет собой не менее реальную физическую характеристику, такую же как масса и энергия. К этой идее примкнули многие исследователи в области физики и астрономии, а ещё больше – информации и её роли в обществе и природе. Если признать, что всё в мире – это информация, то очень многие уже ставшие традиционными знания можно будет пересмотреть, в частности, с позиций упомянутого инверсионного принципа (подхода).

Поясним и даже усилим эту мысль, продолжая развивать её в информационно-космологическом контексте в отношении Большого Взрыва. Но, наблюдая картину эволюции мироздания, можно также предположить, что Большой Взрыв, хотя и произошёл случайно, в принципе был «необходим» для процесса накопления информации в расширяющейся Вселенной, что было невозможно без расширения пространственно-временного континуума мироздания. Если мы признаем наличие информации везде, в том числе и в неживой природе, то эта информация должна была бы существовать и в состоянии сингулярности (т.е. везде и во всём). Причиной (в том числе и информационной) Большого Взрыва могла быть флуктуация (от лат. *fluctuatio* – волнение, колебание, случайное отклонение), имеющая как квантовомеханическую, так и информационную природу, особенно в случае «слабых» флуктуаций.

Такое *информационно-квантовомеханическое воздействие открыло путь другим типам взаимодействия, что все вместе привело к взрывному росту информации в инфляционно «раздувающейся» Вселенной. Можно полагать, что информационное взаимодействие является, если не пятым, то всё же принципиально новым типом взаимодействия в мироздании, которое важно учитывать даже в таких кардинальных*

событиях как Большой взрыв. Представляется, что информационное взаимодействие характерно для любого взаимодействия, это его составляющая, часть, сторона. Существовая во всех взаимодействиях, их информационная составляющая играет тем большую роль, чем слабее взаимодействие, в частности, в фундаментальных физических взаимодействиях (особенно слабых и гравитационных).

В русле развития идеи Дж.А. Уилера, автором настоящей статьи была высказана ещё «более сильная» гипотеза: не исключено, что Большой Взрыв имеет не просто физическую, а ещё и приоритетно-информационную природу и, возможно, он оказался «необходимым» для «запуска» последующей эволюции в мироздании, в особенности как процесса накопления информации [7]. Для исследования Большого Взрыва обычно использовались физико-космологические методы, но можно взглянуть на этот процесс и с позиций атрибутивной концепции информации. Большой взрыв в определённом смысле можно трактовать и как информационный взрыв, поскольку накопление информации возможно только в расширяющемся в трёх измерениях пространстве и в формировании направленной в сторону будущего стрелы времени, т.е. «раздвигающегося» по всем измерениям четырёхмерного пространственно-временного континуума.

И здесь возникает вопрос, а была ли в той «среде» (субстанции), которая предшествовала Большому Взрыву, информация? Может быть, она возникла только после Большого Взрыва? Вопрос достаточно принципиальный даже для признания информации всеобщим свойством материи. На этот вопрос уже можно ответить позитивно. Как полагали академик Я.Б. Зельдович и его соавторы: «какие-то начальные неоднородности Вселенной необходимы, так как на фоне абсолютно однородной Вселенной образование крупномасштабной структуры (галактик, их скоплений) невозможно» [8, с. 12-13]. Информация этих начальных неоднородностей и должна была содержать в закодированном виде физические законы, «программирующие» дальнейшее существование и развитие Вселенной. И.М. Гуревич показал, что при инфляционном расширении из информации, содержащейся в упомянутых начальных неоднородностях массы 10^4 кг, получается объем информации примерно 10^7 бит классической информации, достаточный для кодирования (записи) физических законов [9; 10, с. 222].

В квантовой информатике, исследующей использование квантовых объектов для обработки и передачи информации, появилась возможность представить любую физическую систему как состоящую из дискретных элементов, т.е. разнообразия, и описать её с помощью конечного числа единиц информации, например, квантовых битов – кубитов. А нашу Вселенную в информационном ракурсе можно моделировать в форме супергигантского квантового компьютера, состоящего из кубитов, как это, следуя Дж.А. Уилеру, предположил Сет Ллойд, создавший один из первых квантовых компьютеров [11].

Законы физики и других наук можно рассматривать как компьютерные программы, а конкретные системы (например, элементарные частицы) как ин-

формационные объекты, несущие в своей структуре информацию, передавая и преобразовывая информацию, которая трансформируется, когда эти объекты взаимодействуют. Причём, Вселенная в целом может выполнять до 10^{106} операций в секунду, что в сумме даёт общее количество действий – 10^{123} за все время её существования с момента Большого Взрыва [12].

Все эти процессы не происходили бы без расширения пространства и ускорения времени, особенно в инфляционный период [6]. Другого пути, кроме как расширения пространственно-временного континуума для накопления информации, нет и это открывает совершенно новое видение как инфляционного, так и последующего расширения Вселенной. Были ли информационные причины основными при инициации Большого Взрыва или же, как и раньше, имеет смысл видеть только чисто физические факторы и обстоятельства, покажет будущая наука.

Между тем, с позиций квантовой механики и квантовой информатики информация может содержаться не только в каком-либо материальном объекте, но и в таких его атрибутах как пространство и время, которые также оказываются дискретными, а их отдельные состояния различимы (кванты времени и пространства). Причем время выступает как дискретный феномен, для дальнейшего течения которого и изменения значения единицы информации нужен некоторый минимально различимый период длительности. Время оказывается так тесно связано с информацией, что процесс его течения (в том числе и инфляционной футуризации) можно также представлять в качестве «темпорально-цифрового» феномена. Всё это свидетельствует о том, что информационные процессы представляются не менее фундаментальными, чем физические, космологические, глобальные и другие, выступая в них в качестве компонентов, «отвечающих» за эволюцию.

«ИНФОРМАЦИОННАЯ СТРЕЛА» ГЛОБАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ

Развитие, о котором шла речь выше, имеет место в современную эпоху далеко не везде, а лишь на определённой продолжающейся траектории, которую именуют супермагистралью глобальной эволюции. Этот наиболее важный тип эволюции изучает глобальный (универсальный) эволюционизм, формирующий междисциплинарно-общенаучную концепцию общих законов и тенденций самоорганизации, на протяжении всего времени существования Вселенной после Большого Взрыва.

Глобальная (универсальная) эволюция – это непрерывная самоорганизация материальных систем, начиная с Большого взрыва в неживой природе, затем продолжающаяся в живой природе и обществе, и далее все более охватывающая материальные системы видимой Вселенной. Имеется в виду перманентно-самоорганизационное развитие в нашем мироздании, в частности, объясняющее как появление социальной ступени эволюции, так и её дальнейшее существование, развитие и взаимодействие с природой. Большой взрыв на определённом этапе привёл к появлению Большого социального взрыва в форме эволюционно расширяющегося человечества в ускоренно расши-

ряющей Вселенной. И всё это вполне объяснимо с позиций информационного критерия эволюции.

Для супермагистральной характерен «сохраняющий» (а для высших ступеней эволюции – безопасный) тип прогрессивного перманентного развития, тип самоорганизации, ведущий к появлению всё более высоких структурных ступеней эволюции. Подобная картина усложнения (эволюции) материальных систем как будто бы противоречит второму началу термодинамики, согласно которому любая замкнутая система со временем переходит в состояние с наибольшим значением энтропии. Однако процесс усложнения материи и появления ряда следующих друг за другом эволюционных ступеней на супермагистральной показывает, что нельзя говорить о тепловой смерти Вселенной, по крайней мере, начиная с Большого взрыва (около 14 млрд лет назад). Это также означает, что наша Вселенная является не закрытой, а открытой системой, причём существуют различные модели открытости Вселенной в пространстве и во времени. Представлению (гипотезе) об открытости Вселенной следует придать фундаментальный общенаучный характер, поскольку это приводит к очень важным следствиям. Открытость нашей Вселенной и процессы эволюционного усложнения, как накопления информации в ходе развития в природе, имманентно связаны.

В эволюции как развитии в широком смысле слова происходят конфликты, кризисы, разрушения систем и т.д., но при выходе на супермагистраль имеет место своего рода отбор, когда «способность к будущему» обретают лишь усложняющиеся, обогащающие свое информационное содержание материальные системы. Они после всех взаимодействий (в том числе и кризисно-конфликтных) начинают коэволюционировать с другими системами из окружающих их материальных структур, составляющих среду их существования и развития, поскольку некоэволюционные структуры после бифуркации разрушаются.

Возле супермагистральной имеют место различные типы и формы развития, и это вполне очевидно, но на ней – только самосохраняющиеся и коэволюционирующие системы. Тем самым, сохранившиеся материальные структуры в весьма узком (и далее все более сужающемся) диапазоне, или «коридоре безопасности», получают возможность продолжать существовать на супермагистральной глобальной эволюции. Причём сама супермагистраль может иметь место только в открытой и расширяющейся Вселенной – это следует из основополагающих положений синергетики и космологии. Все же можно предположить, что супермагистраль потому и существует с начала Большого Взрыва, поскольку на ней происходит только перманентное накопление информационного содержания самоорганизующихся систем, причём она каким-то образом «защищена» от негативных воздействий. Рассуждая чисто логически, на супермагистральной в принципе не должно быть «информационных катастроф», потери негэнтропии, поскольку это чревато исчезновением свойства непрерывности этой траектории самоорганизации, которая существует с Большого Взрыва и, можно предполагать, продолжится в неопределённо долгое будущее.

Однако, если оборвется эволюционный ряд, то это будет противоречить одной из тенденций, четко прослеживающейся в глобальной эволюции материи, по крайней мере на ее супермагистральной, т.е. на пути перманентного действия информационного вектора прогрессивного развития. Прежде всего, имеется в виду сохранение предыдущих структурных уровней в более высоких ступенях эволюции и коэволюционном их взаимодействии с более высокими ступенями. Отсюда следует, что для того, чтобы эволюционный ряд супермагистральной нашел свое продолжение, социальная ступень должна сохраниться и продолжать свое безопасное существование и развитие уже в социоприродной коэволюционной форме совместно со всеми другими материальными структурами. Эта рабочая гипотеза и принимается нами для видения перспектив продолжения супермагистральной с участием социальной ступени.

Именно на этой траектории (по сути в основном непрерывного прогрессивного развития), которая связана с переходом от низших ступеней эволюции к высшим, и имеет место перманентное действие информационного критерия, и он тем самым из критерия (или характеристики) превращается в информационный вектор, т.е. четко направленную тенденцию, действующую и в будущем. Информационный вектор (критерий) оказывается инвариантной характеристикой эволюции, «проливающей свет» на роль информации в процессах самоорганизации в мироздании.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПРИРОДА ОСВОЕНИЯ МИРА

Как уже отмечалось, на супермагистральной, по мере её продолжения, выявилось фундаментальное противоречие между вещественно-энергетической и информационной сторонами глобально-перманентного прогресса, в котором для его «продления» информация должна либо стать доминирующим фактором эволюции, либо супермагистраль со временем может исчезнуть. Одним из наиболее приемлемых «выходов» из «информационно-энергетического» противоречия прогресса оказалось появление в какой-то период такой ступени эволюции, которая переломила бы эти естественные тенденции. Чтобы удержаться на главной траектории глобальной эволюции и продолжить накопление информации, эта ступень должна перейти к расширению пространственных и масс-энергетических параметров последующих более высоких ступеней (структурных уровней), что в принципе нехарактерно для стихийно-естественной тенденции «негэнтропийной пирамиды» развития.

Такая «неестественная» возможность расширения среды появляется только на социальной ступени эволюции. Это расширение среды обитания людей, пространственных и масс-энергетических параметров можно было установить не только в космосе (куда эволюционирующая на Земле биологическая ступень в принципе не может проникнуть без человека). Это расширение пространства обитания и кардинальное преобразование природы происходило во все времена антропосоциогенеза – вначале в рамках «несущей емкости экосистем», а в последние несколько столетий все больше за её пределами на нашей планете.

Именно свойства и качества информационной эволюции, имеющие информационную природу вызывают потребность человека в расширении сферы преобразовательной деятельности вначале на планете, а затем и за её пределами. На планете – это глобальное расселение человечества, а в дальнейшем – глобализация и другие процессы, имеющие с самого своего зарождения информационно-глобальную ориентацию.

Поэтому, в отличие от предыдущих ступеней эволюции материи, человечество (а возможно, и некоторые предполагаемые внеземные цивилизации) расширяет сферу своего распространения сначала на Земле, а затем и в космосе не только, и не столько для получения вещественно-энергетических природных ресурсов, сколько для продолжения своих культурно-информационных процессов и накопления информации в расширяющейся по планете и внеземному пространству социосфере.

Важно также обратить внимание, что до сих пор в результате космической деятельности на Землю направлялась в основном информация из космоса. В ресурсном аспекте это был в основном информационный этап освоения космоса, что способствовало переходу к устойчивому развитию. Если на Землю, кроме информации, будут доставляться вещественно-энергетические ресурсы, то такая геокосмическая деятельность в её коммерческом варианте только приблизит экологический коллапс биосферы. Между тем, прогресс на пути к устойчивому развитию в принципе ориентирован на обратное движение – от Земли к космосу: поэтому и начало освоения космоса, и переход к устойчивому развитию происходят примерно в один и тот же исторический период, включая в антропогенную деятельность новые способы и пути выживания человечества.

Информационная концепция освоения мира была высказана вначале для понимания причин космической деятельности ещё в 70-е гг. прошлого столетия [13]. Речь шла об ориентации на выход человека за пределы планеты с «целью» вписаться в супермагистраль глобальной эволюции. Развертывание социальных и социоприродных процессов в глобальном ракурсе подтверждает эту гипотезу.

Сейчас в трактовке понятия глобализации преобладает точка зрения, в которой делается акцент на универсально-транснациональных и интеграционных процессах в развитии цивилизации и обретения ею свойства целостности в самых различных аспектах. Однако для того, чтобы появились связи между различными народами (племенами, расами, странами и т.д.), эти народы должны были пройти путь развития, который предшествовал «универсально-интеграционному» этапу глобализации и который вместе с глобализацией представлял бы ранее протекавший глобальный процесс освоения человеком окружающей его природы. Глобализация не началась с «пустого места», она была «запрограммирована» как особенностями Земного шара – космического тела, так и объективными закономерностями развития человечества. В этом смысле можно считать, что генезис глобального процесса освоения мира в принципе имеет не просто социальный, а именно социоприродный характер.

Речь может идти, прежде всего, о раннем расселении человека и его предков из Африки по другим континентам и территориям, без которого глобализация как процесс интеграции в принципе бы не началась. Ранее предполагалось, что причиной освоения древними людьми новых территорий были климатические изменения. Однако сейчас высказывается мнение, что причинами являются такие в значительной степени информационные феномены, как инновации и овладение новыми навыками, что привело людей к первичной миграции из Африки [14].

Наши предки начали использовать огонь, позволивший готовить разнообразную пищу, защищаться от холода и хищников, развивать активную деятельность в ночное время. Освоение огня способствовало расселению «человека прямоходящего». Например, от двух миллионов лет, вначале *Homo erectus*, а затем примерно 70 тыс. лет тому назад – *Homo sapiens* несколькими волнами стал расселяться по разным местам планеты, что привело к росту его численности (в эпоху верхнего палеолита население достигло нескольких миллионов человек – уже кроманьонцев). А около 10–12 тыс. лет назад рост численности людей в верхнем палеолите, уничтожение ими одних видов (в основном речь идет о мегафауне) и сокращение численности других – все это привело наших предков к первому глобальному социоприродному – эколого-экономическому кризису. Начался переход к производящему хозяйству как форме выхода из глобального кризиса верхнего палеолита, характеризующегося недостатком продовольственных ресурсов и снижением численности населения планеты. Переход к земледелию и животноводству привел к существенному увеличению пищевых ресурсов и росту количества населения в течение неолита по крайней мере на порядок – до десятков миллионов человек. Эти и аналогичные глобальные процессы имеют в своей основе определенные всемирноисторические и даже универсально-глобальные закономерности. Именно они на определенном этапе привели к развертыванию глобализации и к появлению глобальных проблем.

В таком ключе рассуждений можно полагать, что процессы глобального расселения и глобализации имеют глубинные информационные причины и природу, как и процесс освоения космоса. Но если в отношении освоения космоса эта идея была высказана уже давно [13], то в отношении глобализации практически недавно [15], но информационная сущность появления и развертывания этих процессов освоения мира оказывается одной и той же.

К этому же выводу приходят и другие учёные. Сошлюсь на недавно опубликованную в сборнике «НТИ» статью профессора Э.П. Семенюка, подчеркнувшего, что: «глубинные причины выделения человека из природы и обретения им особой роли на нашей планете в значительной мере лежат в информационной плоскости: в силу определённых условий и пружин (естественных факторов) этот вид живых существ оказался способным гораздо эффективнее использовать информационный ресурс для собственного преуспевания и развития» [17]. Поэтому сейчас эту информационную концепцию освоения мира

можно считать уже не гипотезой, а достаточно обоснованной фундаментальной тенденцией (закономерностью) эволюции социальной ступени развития, опирающейся на принципы и законы глобальной (универсальной) эволюции [18, 19].

И это уже не просто некоторый общий вывод, не влияющий на понимание глобальных процессов и формируемых ими систем. Если его применить к социальным и социоприродным глобальным процессам, то станет понятно, почему за столь короткий срок своего существования информационная глобализация «возглавила» список глобализационных процессов [20]. Информатизация и другие информационные процессы просто «обязаны» развиваться намного стремительнее, чем социальные, в частности хозяйственные, процессы (и это в полной мере относится и к глобализационным процессам, т.е. направлениям глобализации).

К тому же социальная ступень эволюции материи, которая своим появлением прекратила сужение масс-энергетического и пространственного конуса (пирамиды), начала формировать обратный – расширяющийся «конус» как необходимое условие дальнейшего продолжения глобальной эволюции в социоприродной форме. Такое расширение вначале происходит на планете, принимая в настоящее время форму глобального развития, а затем в космосе – получило наименование Большого социального взрыва (по аналогии с Большим Взрывом, породившим нашу Вселенную), который имеет глубинную информационную природу.

Наличие надбиологических механизмов, т.е. программ, кодов, алгоритмов и т.д. действительно играет фундаментальную роль в эволюции общества, не только отличая его от предыдущей ступени развития, но фактически выражая информационную природу социальной ступени. Причём многие важные тенденции и закономерности социального развития можно объяснить исходя из того, что природа социального заключена в его культуре.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

После Большого Взрыва возникла пирамида областей мироздания с разным информационным содержанием. Наименьшее содержание в тёмной энергии (космическом вакууме), затем намного больше в тёмной массе (скрытом веществе) и, наконец, огромное и всё растущее количество информации в вещественной Вселенной, о чём и шла речь в настоящей статье. Соответственно такому содержанию информации эти фрагменты Вселенной «выстроились» по степени своей эволюционности: от, видимо, малой или даже нулевой эволюции в тёмной энергии к своего рода мало заметной «протоэволюции» в тёмной материи и далее – к «эволюционному взрыву», в том числе и Большому социальному взрыву в нашей видимой Вселенной. И в этой эволюционной картине особую роль играет глобальная эволюция, на супермагистрали которой имеет место такой феномен как непрерывная самоорганизация материи.

Но на этой супермагистрали, наряду с перманентным действием информационного критерия и вектора, реализуется тенденция сужения эволюционного коридора – уменьшение пространства распростране-

ния и масс-энергетического объема возникающих все более сложных структур, в том числе и ступеней эволюции. С одной стороны, происходит рост информационного содержания в каждой более высокой структурной единице, увеличивается многообразие видов и форм существования все более высоких структурных уровней и ступеней, а, с другой стороны, сужается их общий суммарный объем и пространство распространения в мироздании. Изменение этой тенденции всё большего сужения «эволюционного коридора» перманентной самоорганизации происходит только на социальной ступени эволюции, благодаря появившемуся социокультурному экзогенному принципу накопления информации, что приводит к освоению все большего как планетарного, так и внеземного пространства. Если бы этого не произошло, то супермагистраль могла бы завершить своё существование (но в принципе могла бы появиться новая перманентная траектория самоорганизации, но уже без «достижений» предыдущего развития).

В ходе глобальной эволюции разрешается то незаметное ранее противоречие между сужающимся коридором эволюции на пути самоорганизации и продолжающимся после Большого взрыва расширением Вселенной. Это произошло только на социальной ступени развития, которая беспрецедентно расширяет сферу своего распространения сначала на Земле, а затем и в космосе, причем не только для получения вещественно-энергетических ресурсов, но, прежде всего, для продолжения своих информационных процессов в форме культуры. Передача и другие формы движения культурной информации требуют освоения пространства и материальных объектов, а также активного участия в этом процессе различных форм и уровней интеллекта.

Большой Взрыв как и дальнейшее расширение Вселенной сопровождается «тиражированием» появляющихся структур и составляющих систем (основных единиц) ступеней эволюции, что было бы невозможно без расширения Вселенной. Это расширение и «популяционный рост» возникающих всё более сложных систем взаимосвязаны с увеличением количества информации, что, казалось бы, уже стало очевидным. Однако эту взаимосвязь трактовать можно и по-иному: первичным в этих процессах оказывается информация и такое её свойство как накопление (аккумуляция), которое требует наличия «расширительных» тенденций в ряде фундаментальных, даже «атрибутивных» сферах мировых процессов. Именно такой «информационный поворот» в основах миропонимания и был предметом и результатом нашего исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уайт Л. Энергия и эволюция культуры // Антология исследований культуры. – СПб: Университетская книга, 1997. – Т. 1. – С. 439-464.
2. Урсул А.Д. Информационная природа культуры // Научно-техническая информация. Сер. 1. – 2018. – № 6. – С. 1-6; Ursul A.D. Information nature of culture // Scientific and Technical Information Processing. – 2018. – Vol. 45, № 2. – P. 100-105.

3. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1959. – 432 с.
4. Панов А.Д. Инварианты универсальной эволюции и эволюция в Мультиверсе // Универсальная эволюция и глобальные проблемы. – М.: Наука. 2007. – С. 76-77.
5. Wheeler J.A. Information, physics, quantum: The search for links // Complexity, Entropy, and the Physics of Information / ed. W. Zurek. – Redwood City, CA: Addison-Wesley, 1990. – P. 3–28.
6. Wheeler J.A., Kenneth F. Geons, Black Holes & Quantum Foam: A Life in Physics. – NY: W.W. Norton & Company, 1998. – 380 p.
7. Урсул А.Д. Информационный контекст инфляционной футуризации // Философия и культура. – 2018. – № 7. – С.1-12. – URL: http://e-notabene.ru/pfk/article_26867.html. DOI: 10.7256/2454-0757.2018.7.26867.
8. Долгов А.Д., Зельдович Я.Б., Сажин М.В. Космология ранней Вселенной. – М.: МГУ, 1988. – 199 с.
9. Гуревич И.М. Информационные характеристики физических систем. – М.- Севастополь: «11-й ФОРМАТ», Кипарис, 2009. – 170 с.
10. Гуревич И.М., Урсул А.Д. Информация – всеобщее свойство материи: Характеристики. Оценки. Ограничения. Следствия. – М.: URSS, 2013. – 312 с.
11. Lloyd S. Programming the Universe. – NY: Knopf, 2004. – 221 p.
12. Ллойд С., Энджи Дж. Сингулярный компьютер // В мире науки. – 2005. – № 2. – С. 32-42.
13. Урсул А.Д. Освоение космоса. Философско-методологические и социологические проблемы. – М.: Мысль, 1967. – 240 с.
14. Технологические прорывы – главная причина расселения людей в древности. – URL: <http://podrobnosti.ua/technologies/2008/11/03/564111.html>
15. Урсул А.Д. Космическая глобалистика в ракурсе информационной гипотезы освоения мира // Глобалистика как область научных исследований и сфера преподавания / под ред. И.И. Абылгазиева, И.В. Ильина. – Вып. 5. – М.: МАКС Пресс, 2011. – С.56-78.
16. Ильин И.В., Урсул А.Д., Урсул Т.А. Глобальный эволюционизм: Идеи, проблемы, гипотезы. – М.: МГУ, 2012. – 616 с.
17. Семенюк Э.П. Человек и информация в зеркале науки: прошлое, настоящее, будущее // Научно-техническая информация. Сер.1. – 2018. – №1. – С.1-14; Semenyuk E.P. Man and Information in the Mirror of Science: Past, Present, and Future // Scientific and Technical Information Processing. – 2018. – Vol. 45, № 1. – P. 1-13.
18. Урсул А.Д., Урсул Т.А. Универсальный эволюционизм: проблемы методологии. – Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2017. – 332 с.
19. Урсул А.Д. Исследование информационных и глобальных процессов: междисциплинарные подходы и связи // NB: Проблемы общества и политики. 2012. – № 3. – С.154-201.
20. Урсул А.Д. Информация и информационный подход: от информатики к глобалистике // Научно-техническая информация. Сер. 1. – 2012. – №2. – С. 1-11; Ursul A.D. Information and the information approach: from informatics to globalistics // Scientific and Technical Information Processing. February – 2012, – Vol. 39, № 1. – P. 20–29. DOI <https://doi.org/10.3103/S0147688212010066>.

Материал поступил в редакцию 05.12.18.

Сведения об авторе

УРСУЛ Аркадий Дмитриевич – доктор философских наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, академик Академии наук Молдавии, почётный работник высшего профессионального образования РФ, директор Центра глобальных исследований и профессор факультета глобальных процессов Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва.
e-mail: ursul-ad@mail.ru

Интеллектуальная информационно-управляющая система энергосберегающего управления

Приводятся подходы, позволяющие интеллектуализировать информационно-управляющую систему энергосберегающего управления. При проектировании системы объекты управления описываются на множестве состояний функционирования. Математически постановка задачи управления формулируется как задача с закрепленными концами траектории изменения фазовых координат, фиксированным интервалом управления и минимизируемым функционалом затрат энергии. Приводится пример решения поставленной задачи для управления асинхронными двигателями с использованием технологии интеллектуализации синтеза энергосберегающего управления.

Ключевые слова: энергосберегающее управление, интеллектуальная информационно-управляющая система, информационная модель предметной области, множество состояний функционирования, метод синтезирующих переменных, алгоритмизация синтеза управляющих воздействий, интегрированный граф интеллектуализации синтеза управления, программируемый контроллер, асинхронные двигатели

ВВЕДЕНИЕ

Быстро сокращающиеся запасы высокоэнергетического сырья и рост стоимости производства энергии одним из приоритетов научно-технического прогресса на современном этапе выдвигают проблему энерго- и ресурсопотребления. В энергоемких отраслях промышленности остро стоят вопросы модернизации производственных процессов и управления ими на основе энергетических показателей с использованием различных систем управления.

Следует отметить, что управление энергоемкими объектами имеет ряд особенностей. Целесообразно проведение исследовательских работ, после выполнения которых можно использовать готовые программные продукты типовых SCADA-систем или CALS-технологий. Несмотря на то, что многие SCADA-системы, используемые как в России, так и за рубежом, позволяют решать проблемы автоматизированной разработки программного обеспечения для систем управления, в характеристиках этих систем отсутствуют сведения об алгоритмах, синтезирующих в режиме реального времени энергосберегающие управляющие воздействия без участия лица, принимающего решение (ЛПР). Этот вывод сделан на основе анализа рекламных проспектов ведущих производителей средств промышленной автоматизации, наиболее подходящих по функциональным возможностям для решения аналогичных задач. В публикуемой технической документации контроллеров,

решающих задачи максимального быстродействия, оптимальной фильтрации и использования нечеткой логики, отсутствует информация о том, могут ли они в режиме реального времени синтезировать управляющее воздействие, минимизирующее затраты энергии. Поэтому разработка интеллектуальной информационно-управляющей системы энергосберегающего управления является актуальной задачей.

При проектировании интеллектуальной информационно-управляющей системы энергосберегающего управления (ИИУСЭУ) разработано ее математическое, методологическое, информационное, алгоритмическое, программное и техническое обеспечение. При этом использовались как традиционные подходы, такие как методы системного анализа, математического моделирования, искусственного интеллекта, теории дифференциальных уравнений, оптимального управления, многокритериальной оптимизации, так и раздел комбинаторной топологии – линейные направленные графы, электрические измерения, информационные технологии и технологии объектно-ориентированного программирования, алгоритмы поиска решения задачи в пространстве состояний [1].

ИИУСЭУ реализует алгоритмы, позволяющие идентифицировать текущее состояние функционирования объекта и оперативно реагировать на изменения основных параметров процесса управления. При этом учитывается неполнота и неточность данных, влияющих на процессы, происходящие при управлении.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ

Под интеллектуальной информационно-управляющей системой энергосберегающего управления понимается совокупность технических, программных и информационных средств, обеспечивающих решение задач анализа и синтеза управления в динамических режимах работы объектов управления в реальном масштабе времени без участия лица, принимающего решение.

Интеллектуализация разработанной системы заключается в алгоритмизации синтеза управляющих воздействий, минимизирующих энергопотребление исследуемых объектов в реальном масштабе времени без участия ЛПР. Интеллектуализация базируется на следующих основных подходах:

- теория анализа и синтеза систем на множестве состояний функционирования [2];
- метод синтезирующих переменных для оперативного получения вида функций оптимального управления и их параметров;
- интегрированный граф интеллектуализации синтеза управления [1].

Рассмотрим предлагаемые подходы.

Множество состояний функционирования (МСФ) [1, 2], в отличие от метода собственных состояний [3], является декартовым произведением множеств режимов работы (\mathbf{H}^{pp}) и состояний работоспособности (\mathbf{H}^{cp}) объектов управления и оборудования, составляющего ИИУСЭУ. Факторы, воздействующие на состояние функционирования из множества \mathbf{H}^{pp} , подразделяются на внутренние ($H_i^{im}, i = \overline{1, n}$), связанные с изменением вида и параметров моделей динамики объектов управления, пригодных для решения задач энергосберегающего управления в реальном масштабе времени и внешние (H^k, H^{oc}), косвенно влияющие на управляющие воздействия, где H^k – изменения напряжения и частоты питающей сети и т.п., H^{oc} – изменения окружающей среды. Таким образом, множество состояний функционирования режимов работы объектов управления можно записать в виде $\mathbf{H}^{pp} = H_1^{im} \times \dots \times H_n^{im} \times H^k \times H^{oc}$. Множество состояний работоспособности $\{H_{вер}, H_{кр}\} \subset \mathbf{H}^{cp}$ содержит $H_{вер}$ – наиболее вероятные (при корректной работе всех технических средств, составляющих ИИУСЭУ) и $H_{кр}$ – критические состояния (в случае отказов технических средств).

Рассмотрение множества такой размерности обусловлено тем, что разрабатываемая система достаточно сложна в силу необходимости адекватного отражения изучаемых процессов.

Значения переменных $h \in \mathbf{H}^{pp} \times \mathbf{H}^{cp}$, описывающей различные состояния функционирования исследуемого объекта управления, задаются кортежем $h = \langle h^{pp}, h^{cp} \rangle$, где $h^{pp} \in \mathbf{H}^{pp}$, $h^{cp} \in \mathbf{H}^{cp}$. Изменение состояния h происходит в том случае, когда меняется значение хотя бы одной компоненты кортежа. Введение множества состояний функционирования при

разработке ИИУСЭУ требуется для создания алгоритмического и программного обеспечения, которое содержит используемые при безотказной работе оборудования алгоритмы управления (т.е. для наиболее вероятных состояний $h \in H_{вер}$) и возможные алгоритмы управления при отказе технических средств (т.е. при $h \in H_{кр}$).

Применение при создании ИИУСЭУ метода синтезирующих переменных [1] позволяет определить все множество состояний функционирования и для каждого состояния оперативно получать виды функций оптимального управления и их параметры. Метод синтезирующих переменных дает возможность свести многомерную задачу энергосберегающего управления к использованию двух-трех синтезирующих переменных, а также обеспечивает возможность оперативно без участия ЛПР, синтезировать решение задачи энергосбережения на всем множестве состояний функционирования.

Реализация вышеописанных подходов позволяет реализовывать задачи управления посредством ИИУСЭУ в условиях неопределенности в реальном масштабе времени без ЛПР.

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Важной задачей анализа ИИУСЭУ является построение модели предметной области. Используемые при формализации задач системы модели образуют единый комплекс, имеющий иерархическую структуру.

Верхний уровень иерархии занимает информационная модель предметной области $M_{по}$. Формально она отражает описание типовых сущностей (состава) моделей комплекса и набора связей между ними: $M_{по} = (M_{оу}, M_{иупс}, M_{иипс}, M_{ги}, S_{св})$, где M_{γ} , $\gamma \in \{оу, иупс, иипс, ги\}$ – информационные модели представления соответственно объектов управления, информационно-управляющей подсистемы (ИУПС), информационно-измерительной подсистемы (ИИПС), графического интерфейса (ГИ), а $S_{св}$ – матрица информационных связей между моделями M_{γ} . Модель $M_{по}$ позволяет отразить информационные потоки системы, необходимые для достижения целей управления.

Последовательно опишем все составляющие информационной модели предметной области. Информационная модель объекта управления (ОУ), являющаяся частью модели $M_{по}$, представляет собой объединение множества моделей $M_{оу} = \bigcup_{\eta} M_{\eta}^o$, формализующих знания об особенностях объекта управления, где η – номер объекта. В ИИУСЭУ могут входить десятки ОУ и их моделей управления для каждого состояния функционирования h . Морфологически модель M_{η}^o можно представить в виде кортежа: $M_{\eta}^o = \langle NN, SF, RR, CU, K \rangle$, где NN – наименование объекта управления, SF – класс задачи управления на множестве состояний функционирования; RR – режим

работы (статический, динамический), CU – цель управления, K – задача управления.

В общем виде постановка задачи управления динамическими режимами объектов ИИУСЭУ включает модель динамики объекта $M_{\eta h}^o$, для каждого состояния h ($M_{\eta h}^o \in M_{\eta}^o$), вид минимизируемого функционала I , стратегию реализации оптимального управления C и ряд ограничений и условий O . Формально задача управления может быть представлена в виде кортежа из четырех символов $K = \langle M_{\eta h}^o, I, C, O \rangle$, при этом $M_{\eta}^o \in \mathbf{M}$, $I \in \mathbf{I}$, $C \in \mathbf{C}$, $O \in \mathbf{O}$, где $\mathbf{M}, \mathbf{I}, \mathbf{C}, \mathbf{O}$ – множества соответственно моделей объектов управления, видов функционала, стратегий реализации оптимального управления и особенностей задачи [1].

Цель принадлежит множеству целей $CU \in \mathbf{CU}$, имеющему вид: $\mathbf{CU} = \{En, Fl, Tm, Qp, Pr, Sq\}$, включающему цели: En – минимизация затрат энергии, Fl – минимизация расхода топлива, Tm – быстродействие, Qp – повышение качества производимой продукции, Pr – повышение производительности управляемого процесса, Sq – комбинированная цель управления. Для достижения каждой цели минимизируется соответствующий ей функционал I .

Модели информационно-управляющей и информационно-измерительной подсистем информационной модели предметной области $M_{по}$ можно представить в следующем виде:

$$M_{иуис} = \{IE^y, A^y, PM^y, TS^y, KR^y, OGR^y, S^y\} \text{ и}$$

$$M_{ииис} = \{IE^n, A^n, PM^n, TS^n, KR^n, OGR^n, POG^n, S^n\},$$

соответственно. Они содержат множества:

- информационных элементов

$$IE^y = \{IE_{ji}^y \mid j = \overline{1, d^y}; i = \overline{1, n_{\mu}^y}\},$$

$IE^n = \{IE_{ji}^n \mid j = \overline{1, d^n}; i = \overline{1, n_{\mu}^n}\}$, где IE_{ji}^y, IE_{ji}^n – j -ый информационный элемент i -го алгоритма, d^y, d^n – количество информационных элементов соответствующей подсистемы;

- алгоритмов $A^y = \{A_{i\mu}^y \mid i = \overline{1, n_{\mu}^y}; \mu = \overline{1, n^y}\}$ и

$A^n = \{A_{i\mu}^n \mid i = \overline{1, n_{\mu}^n}; \mu = \overline{1, n^n}\}$, где $A_{i\mu}^y, A_{i\mu}^n$ – i -ый алгоритм соответствующей подсистемы, n_{μ}^y, n_{μ}^n – количество алгоритмов в μ -ом модуле соответствующей подсистемы, n^y, n^n – количество используемых функциональных программных модулей;

- функциональных программных модулей

$$PM^y = \{PM_{\mu}^y \mid \mu = \overline{1, n^y}\} \text{ и } PM^n = \{PM_{\mu}^n \mid \mu = \overline{1, n^n}\}$$

каждой подсистемы соответственно;

- множества технических средств

$$TS^y = \{TS_t^y \mid t = \overline{1, n_{тс}^y}\} \text{ и } TS^n = \{TS_t^n \mid t = \overline{1, n_{тс}^n}\}$$

(например, для подсистемы управления: управления, обработки и передачи информации, согласования с объектом и т.д.; для подсистемы измерения: измерений, согласований, обработки и передачи информации и т.д.);

- множества критериев, ограничений и погрешностей технических средств измерений при решении задач построения ИУПС и ИИПС

$$KR^y = \{KR_i^y \mid i = \overline{1, k^y}\}, KR^n = \{KR_i^n \mid i = \overline{1, k^n}\} \text{ и}$$

$$OGR^y = \{OGR_i^y \mid i = \overline{1, o^y}\},$$

$$OGR^n = \{OGR_i^n \mid i = \overline{1, o^n}\},$$

$$POG^n = \{POG_i^n \mid i = \overline{1, o^n}\}, \text{ где } k^y, k^n, o^y, o^n -$$

количество критериев и ограничений для каждой подсистемы соответственно;

- множества матриц смежности синтезируемой подсистемы $S^y = \{S_i^y \mid i = \overline{1, \gamma^y}\}$, $S^n = \{S_i^n \mid i = \overline{1, \gamma^n}\}$,

где γ^y, γ^n – количество различных вариантов ИУПС и ИИПС [1].

Графический интерфейс представляет совокупность технических, программных и информационных средств, обеспечивающих заданному кругу пользователей возможность решения множества задач в интерактивном режиме, как на этапе проектирования ИИУСЭУ, так и на этапе ее эксплуатации. Модель $M_{ги} = \{DS, Pol, IS\}$ содержит: **DS** – множество сценариев диалогов взаимодействия интегрированной программно-технологической среды $IS \in \mathbf{IS}$ ИИУСЭУ с множеством пользователей системы **Pol**, имеющих различные категории доступа. Сценарий диалога представляет формализованную схему решения задач пользователей.

Множество $IS = \langle TC, Po \rangle$ включает техническое и соответствующее программное обеспечение. Множество программного обеспечения $Po = P_{sis} \cup P_{in} \cup P_{pr}$ состоит из программного обеспечения трех видов: системного, инструментального и прикладного.

Прикладное программное обеспечение P_{pr} для решения каждой из K задач с соответствующим набором J приоритетов (категорий доступа) и имеющимся количеством N инструментальных средств может быть представлено в виде:

$$P_{pr} = \bigcup_{k=1}^K \bigcup_{j=1}^J \bigcup_{i=1}^N p_{ijk},$$

где p_{ijk} – программное обеспечение для решения k -ой задачи с j -ой категорией доступа с i -м инструментальным программным средством.

Решение большинства задач, в том числе трудно формализуемых, в ИИУСЭУ связано с применением методов искусственного интеллекта и производится на основе использования баз данных и знаний информационно-измерительной и информационно-управляющей подсистем, что позволяет расширить их функциональные возможности. В качестве модели баз данных ($M_{бд}$) применяется реляционная модель, которая позволяет структурировать необходимую информацию в виде, удобном для хранения, дополнения и использования всеми частями системы. Информационная эффективность работы ИИУСЭУ во

многим определяется моделью представления данных. Преимущество реляционной модели заключается в способе хранения данных, который минимизирует их дублирование и исключает определенные типы ошибок обработки, возникающие при других способах хранения данных. Модели баз знаний ($M_{БЗ}$) поддерживают работу с сетевыми, продукционными и фреймовыми представлениями знаний.

Техническая эффективность работы ИИУСЭУ во многом зависит от возможностей и параметров аппаратных средств, используемых для её реализации. При их выборе, в первую очередь, необходимо учитывать следующие аспекты:

1) *быстродействие* – при достаточном запасе по быстродействию система будет работать надежно, а при недостатке процессорного времени для расчета параметров объектов управления система перейдет в нестабильный режим, возможны частые сбои в работе, управление будет происходить с задержкой, что сделает его неактуальным в текущий момент времени;

2) *помехозащищенность* – объекты управления эксплуатируются в условиях, характеризующихся значительными электромагнитными полями от мощных силовых цепей, высоковольтными электростатическими потенциалами, сильными искажениями напряжения при включении и выключении мощного технологического оборудования. Помехозащищенность зависит от качества созданной защиты от помех по входным цепям и питающей электросети и обеспечивается гальванической развязкой, соответствующими фильтрами в устройстве связи с объектом, блоком питания, схемами бесперебойного питания и др.;

3) *работоспособность* микропроцессорного устройства при перепадах напряжения в питающей электросети – при снижении напряжения или отключении питания в этих устройствах не должно возникать необратимых искажений информации, приводящих к отказу промышленного контроллера, работоспособность которого обеспечивается созданием бесперебойной системы питания, как элементов памяти, так и всего устройства;

4) *надежность* элементной базы и схемных решений, использование резервирования – при выходе из строя какого-либо элемента необходимо осуществлять переключение объекта на традиционное управление;

5) *наличие самодиагностики* и возможность быстрого определения и локализации неисправности.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

При постановке задачи энергосберегающего управления динамическими режимами объектов управления в обобщенном виде [1, 2] задаются:

- модели динамики объекта управления

$$\dot{z} = f_1(A, B, z, u, t), \quad (1)$$

где A, B – матрицы параметров модели объекта управления, z, u – векторы фазовых координат и управляющих воздействий;

- ограничения на изменение фазовых координат, управляющих воздействий и минимизируемый функционал, т.е.

$$z(t_0) = z^0 \rightarrow z(t_k) = z^k, \quad (2)$$

$$\forall t \in [t_0, t_k]: u(t) \in [u_n, u_b], \quad (3)$$

$$I = \int_{t_0}^{t_k} u^2 dt \rightarrow \min_u, \quad (4)$$

где z^0 и z^k – начальное и конечное состояния вектора фазовых координат; u_n и u_b – нижняя и верхняя границы управления; t_0, t_k – начальное и конечное время управления; I – минимизируемый функционал.

Массив параметров задачи энергосберегающего управления можно представить в следующем виде:

$$\mathfrak{R} = \{ A, B, z_0, z_k, u_n, u_b, t_0, t_k, h \}.$$

Необходимо перевести объект управления, представленный моделью (1), из начального состояния z^0 в конечное z^k за фиксированный интервал времени при ограничении на управляющие воздействия (3) с минимумом функционала (4).

Решить задачу энергосберегающего управления (1)–(4) означает: для заданного массива \mathfrak{R} определить вид функции управления $u^*(t), t \in [t_0, t_k]$, рассчитать параметры функции управления, определить оптимальную траекторию изменения фазовых координат $z^*(t)$ и значение функционала I .

ТЕХНОЛОГИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ СИНТЕЗА УПРАВЛЕНИЯ

Решение задачи управления осуществляется посредством технологии интеллектуализации синтеза энергосберегающего управления, реализованной в виде интегрированного графа. Эта технология отражает представление множества задач алгоритмизации синтеза управления исследуемыми объектами в пространстве состояний, в котором вершины графа соответствуют состояниям решения задач и представляют собой фреймы знаний, оперирование которыми реализуется с использованием алгоритмов процедур программных модулей, а ребра – информации, передаваемой и получаемой в результате их работы. Вершины располагаются на уровнях абстрагирования – стратах [1]. Граф также включает одно или несколько целевых условий, которые соответствуют решениям исходной задачи. Поиск в пространстве состояний характеризует решение как процесс нахождения пути решения (цепочки, ведущей к решению задачи) от исходного состояния к целевому (рис. 1).

Интегрированный граф технологии строится на основании информационной модели предметной области $M_{по}$ и содержит страты: информационная модель исследуемого объекта управления $M_{ов}$, классов задач SF на множестве состояний функционирования, режимов работы RR , целей управления I , математических моделей объектов MO , стратегий управления C , особенностей задач O , анализа и синтеза.

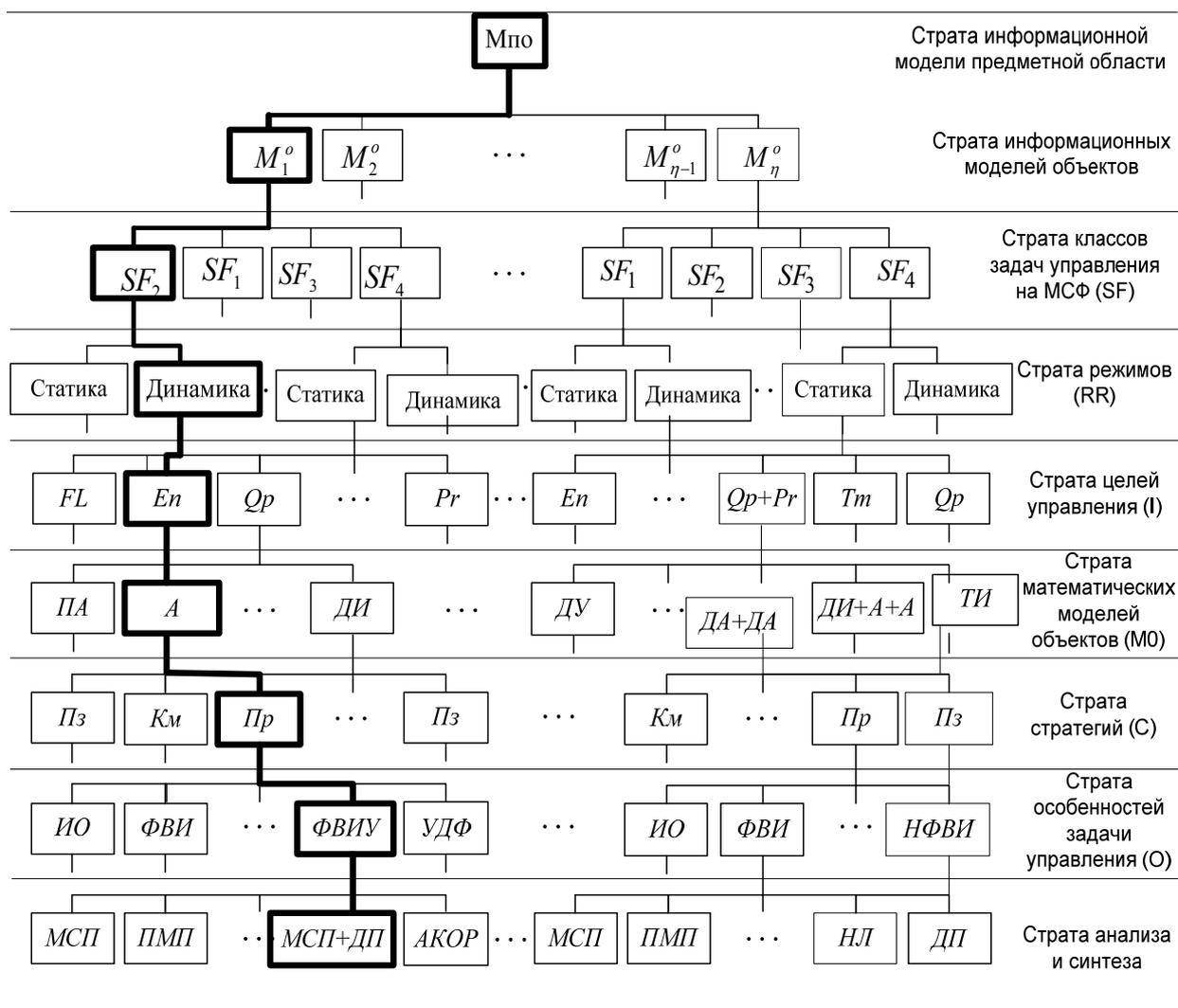


Рис. 1. Интегрированный граф технологии интеллектуализации синтеза энергосберегающего управления

При функционировании ИИУСЭУ передача информации между пользователями **Рoi** и базами данных активными процедурами осуществляется посредством диалогов интерфейса, модуля анализа и интеллектуального синтеза решения задачи энергосберегающего управления.

Две верхние страты графа предназначены для идентификации информационной модели исследуемого объекта управления. Процедуры модулей страты PM_{μ}^y и PM_{μ}^h реализуют сценарии диалога **DS** с пользователем, в результате работы которых извлекается необходимая информация об объекте управления, представляемая в виде морфологической модели M_{η}^o и хранящаяся в базе данных.

Страта классов задач управления на множестве состояний функционирования дает возможность при описании моделей объекта рассматривать условия его работы с учетом воздействия внешнего окружения и других факторов, имеющих детерминированную, вероятностную или нечеткую (расплывчатую) природу. Изменение состояния функционирования h

может происходить в случайные моменты времени. Классы задач на множестве состояний функционирования характеризуются следующим образом: SF_1 – для каждого рассматриваемого интервала времени управления значение h постоянно и известно, SF_2 – значение h на интервале управления постоянно, однако оно неизвестно, известны лишь его вероятности, SF_3 переменная h может изменяться в пределах временного интервала управления, значение h в текущий момент времени идентифицируется (известно) и SF_4 – значения h на интервале времени управления неизвестны, известны лишь их вероятности и при моделировании на временном интервале управления рассматривается множество различных траекторий, начинающихся при начальном состоянии.

Страта режимов содержит постановки задач в динамическом или статическом режиме в зависимости от особенностей объекта и целей управления.

Страта целей содержит следующие компоненты: затраты энергии (En), топлива (FL), качество (Q) выпускаемой продукции, производительность (Pr) и быстродействие (Tm). Для достижения каждой цели минимизируется соответствующий ей функционал.

Страта моделей идентифицирует математическую модель объекта, пригодную для решения задачи алгоритмизации синтеза управления. При этом фреймы модулей идентификации позволяют по заданным экспериментальным данным подбирать наиболее адекватную модель объекта управления. Модели могут быть представлены в виде: ДУ – систем дифференциальных уравнений в частных производных с граничными условиями; ПА – процедурно-аналитических моделей (нейронные сети, нечеткая логика и т.д.); А – аperiodического звена, ДИ – двойного интегратора; ДА – двойного аperiodического звена, ТИ – тройного интегратора; а также многостадийных моделей, т.е. систем дифференциальных уравнений с разрывной правой частью, например, ДА+ДА, ДИ+А+А и т.д.

Страта стратегий предлагает стратегии реализации оптимального управления: Пр – программную, ПЗ – позиционную, Км – комбинированные стратегии управления и их разновидности [1, 2].

Страта особенностей содержит фреймы, позволяющие решать задачи с учетом: интегральных ограничений (ИО), фиксированного и нефиксированного временного интервала управления (ФВИУ) и (НФИУ), закрепленных и незакрепленных концов траектории фазовых координат, фиксированных и интервальных параметров моделей объектов, с учетом дестабилизирующих факторов (УДФ) и т.д.

Страта анализа и синтеза содержит процедуры реализации методов: синтезирующих переменных (МСП), принципа максимума Понтрягина (ПМП), аналитического конструирования оптимальных регуляторов (АКОР), динамического программирования (ДП), комбинированных и т.д.

Важнейшими компонентами системы, использующими интегрированный граф технологии, являются база знаний (БЗ) и база данных (БД) [1]. БЗ обеспечивает не только рассуждения на основе опыта, но и фундаментальные знания о математических методах анализа и синтеза, а также знания прикладного характера, используемые разработчиками алгоритмического обеспечения, в том числе математические постановки задач управления. БЗ также содержит соотношения для определения видов функций управления при различных функционалах, соотношения для определения синтезирующих переменных, соотношения, используемые при решении задач имитационного моделирования, и др. Эти соотношения используются при разработке новых моделей с применением принципов наследования. В БД включены сведения о результатах внедрения системы компьютерного оптимального управления, реальный эффект от использования алгоритмов управления; виды моделей динамики, состав моделей для многостадийных объектов, значения параметров; используемые стратегии; ограничения и т.д.

Приведенная технология позволяет оперативно синтезировать решения задач управления без участия лица, принимающего решение.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Энергоемкие объекты, такие как сушильные установки вальце-ленточного типа, в составе своего оборудования могут иметь системы электроприводов с различными типами двигателей, в том числе и асинхронными. Благодаря конструктивной простоте, высокой надёжности и низкой стоимости асинхронные двигатели широко применяются не только в промышленности, но также и в бытовых приборах. В связи с широкой популярностью асинхронных двигателей целесообразно использование для них интеллектуальной информационно-управляющей системы по критерию энергосбережения.

В качестве примера функционирования ИИУСЭУ рассмотрим решение задачи энергосберегающего управления асинхронным трехфазным двигателем с короткозамкнутым ротором. Эти двигатели используются, например, в циркуляционных и вытяжных вентиляторах, входящих в состав оборудования камер вальцеленточных сушильных установок на ОАО «Пигмент» (г. Тамбов). Каждая сушильная установка содержит от шести до десяти двигателей в зависимости от конструктивных особенностей установок. В процессе сушки могут участвовать порядка 50 сушильных установок. Таким образом, управление осуществляется около 300 двигателями.

Пример приведен для двигателя, рабочая частота вращения которого 2850 об/мин, число лопастей крыльчатки – 31, время выхода в статический режим 370 мс, интервал дискретизации 20 мс. Кривая разгона приведена на рис. 2. Для решения поставленной задачи, на основании исходных экспериментальных данных, используя модули идентификации модели динамики, базы данных и знаний ИИУСЭУ, получаем вид модели динамики – дифференциальное уравнение, соответствующее инерционному объекту первого порядка $\dot{z} = az(t) + bu(t)$. Этот вывод ИИУСЭУ о виде модели динамики асинхронных двигателей не противоречит видам моделей динамики, описанным в [4-7]. Модели, используемые в ИИУСЭУ, должны быть пригодны для решения в реальном масштабе времени поставленных задач анализа и синтеза, поэтому они идентифицируются с учетом множества состояний функционирования.

Параметры модели разгона асинхронного двигателя в модуле идентификации модели динамики ИИУСЭУ аппроксимируются по экспериментальным данным (рис. 2), согласно следующим формулам:

$$a_i = \frac{1}{\Delta t} \ln c_i, \quad b_i = \frac{d_i \cdot a_i}{c_i - 1},$$

$$c_i = \frac{y(t_i)u(t_i) - y(t_{i+1})u(t_{i-1})}{\Delta_i},$$

$$d_i = \frac{y(t_{i+1})y(t_{i-1}) - y^2(t_i)}{\Delta_i},$$

$$\Delta_i = y(t_{i-1})u(t_i) - y(t_i)u(t_{i-1}),$$

здесь минимальный временной интервал расчета равен $2 \Delta t$, т.е. $[t_n; t_k] = [t_{i-1}; t_{i+1}]$.

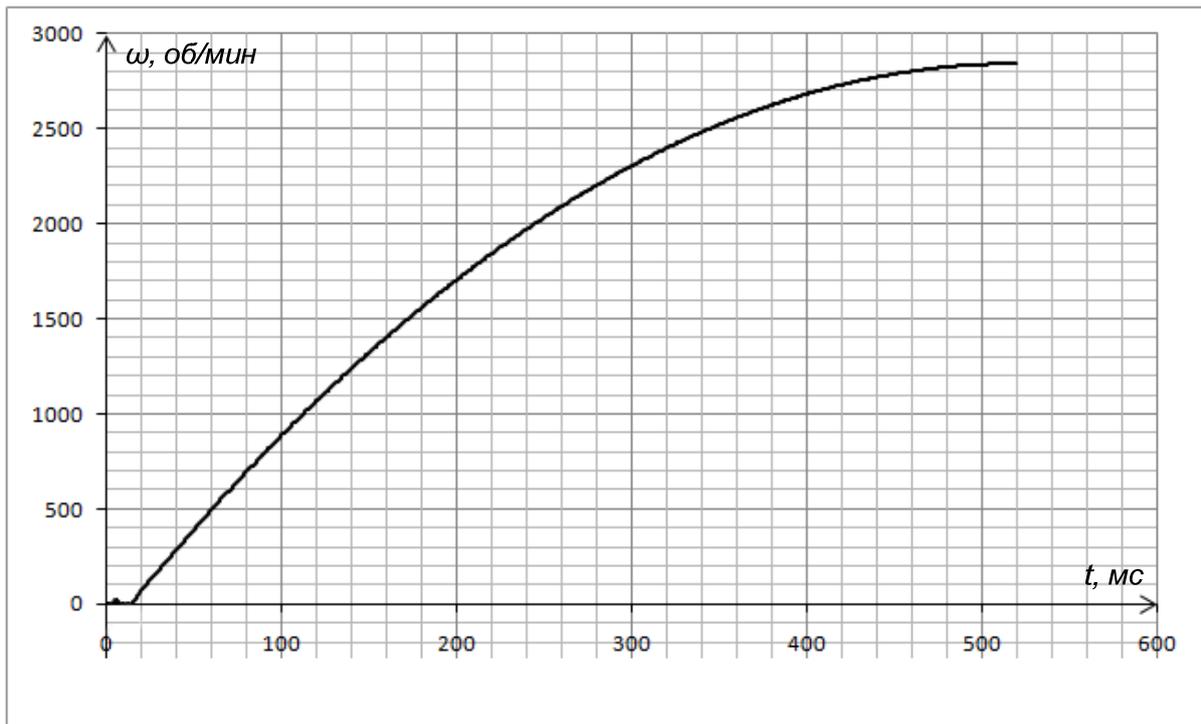


Рис. 2. Кривая разгона асинхронного двигателя

Массив параметров задачи энергосберегающего управления асинхронным двигателем имеет следующий вид:

$$\mathfrak{R} = (a = -0.0025, b = 0.033, u_0 = 0, u_e = 380, t_0 = 50, t_k = 400, z^0 = 0, z^k = 3000).$$

Эти данные поступают в модуль анализа и интеллектуального синтеза решения задачи энергосберегающего управления ИИУСЭУ, в результате работы которого определяются синтезирующие переменные $A = -0,492$ и $L = 1,128$. В их плоскости определяется зона вида функции управления, рассчитываются ее параметры по синтезирующим переменным A, L и массиву \mathfrak{R} . На основании полученной информации синтезируется оптимальная программа энергосберегающего управления асинхронным двигателем, которую можно представить:

$$u_7^*(t) = \begin{cases} 115,176e^{-0,00209(t-t_0)} + u_0, & t \in [t_0, 289, 21] \\ u_n, & t \in [289, 21, t_k]. \end{cases}$$

Графический интерфейс модуля анализа и интеллектуального синтеза решения задачи энергосберегающего управления представлен на рис. 3. Здесь отображаются параметры задачи управления, плоскость синтезирующих переменных на всем множестве состояний функционирования, рассчитываемая по полученной программе функция энергосберегающего управления и траектория изменения фазовых координат при этом управлении, а также отображается значение рассчитываемого функционала затрат энергии.

Изменение множества состояний функционирования оказывает влияние на изменение массива параметров задачи энергосберегающего управления. ИИУСЭУ без участия лица принимающего решения

в режиме реального времени синтезирует энергосберегающую программу управления для текущего состояния функционирования.

Экономия энергии при данном управлении динамическим режимом асинхронного двигателя составила 13,93%. Выделенный путь на интегрированном графе технологии интеллектуализации синтеза, представленном на рис. 1, соответствует найденному решению задачи.

Важной является проблема структурного построения ИИУСЭУ для управления асинхронными двигателями, решение которой представляет собой выбор наиболее перспективной архитектуры создаваемой системы из множества альтернативных архитектур [8].

Совокупность технических средств $\mathbf{TS} = \{TS_m, m = \overline{1, T}\}$ выбирается исходя из требований к быстродействию и сложности процессов, контролируемых ИИУСЭУ для управления асинхронными двигателями. В данном примере в качестве головного элемента на объекте управления выбран промышленный контроллер *WinCon I-8737G*. Доступ к базам данных и знаний, а также к функциональным модулям ИИУСЭУ для управления асинхронными двигателями осуществляется посредством интерфейса, имеющего несколько входов с разным уровнем доступа для инженера-когнитолога, экспертов, программистов и оператора системы. Посредством сети Интернет через маршрутизатор осуществляется подключение интерфейса к программируемому контроллеру, реализующему работу программных модулей ИИУСЭУ для управления асинхронными двигателями. Связь программируемого контроллера и маршрутизатора обеспечивается с использованием технологии *Ethernet* и сетевых протоколов *TCP/IP*.

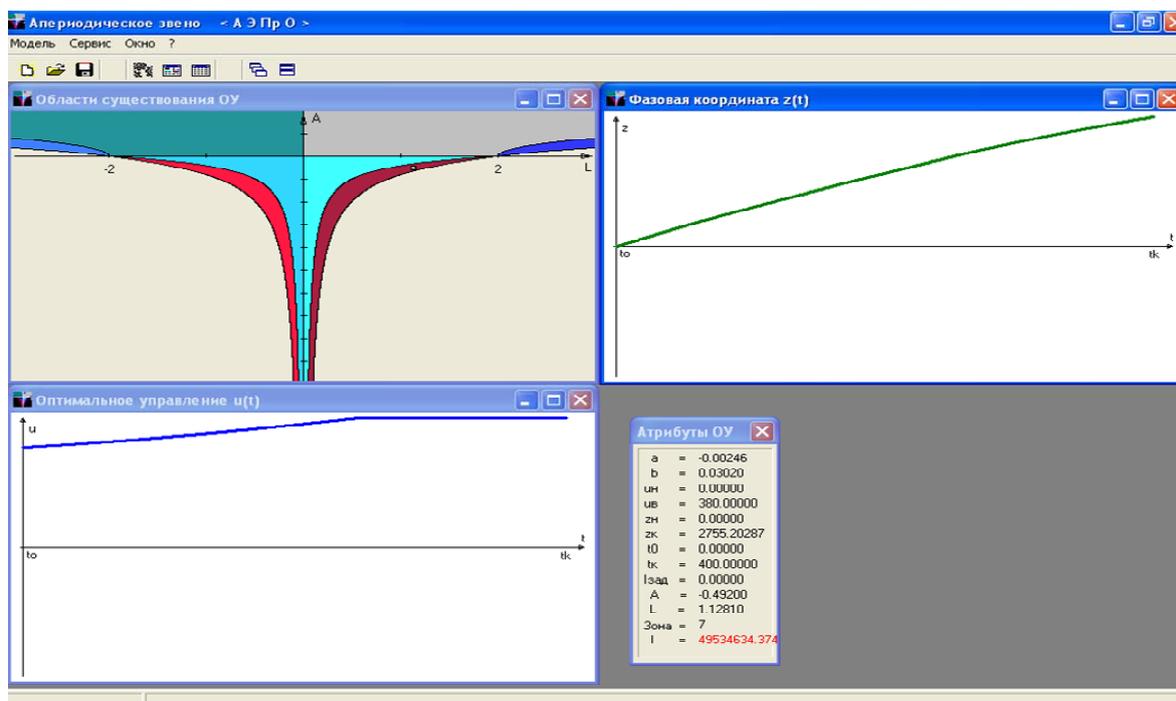


Рис. 3. Графический интерфейс модуля анализа и интеллектуального синтеза решения задачи энергосберегающего управления для асинхронного двигателя

Маршрутизатор в составе системы выполняет функции обеспечения доступа к системе управления как из локальной сети предприятия, так и с удаленного интерфейса, а также защиту от несанкционированного доступа посредством создания между интерфейсом и маршрутизатором защищенного VPN-канала. Данный канал связи используется для получения разработчиком телеметрической информации, экспорта управляющей программы и её отладки. Следует заметить, что по завершении процедур телеметрии и отладки при любых изменениях состояния функционирования присутствие оператора на объекте более не является необходимым.

Управление асинхронными двигателями осуществляется посредством многоканального модуля дискретного вывода (I7045), управляемого программируемым контроллером. Исполнительные устройства выполнены на оптосимисторах со схемой детектирования нулевого потенциала. Для получения информации о частоте вращения роторов асинхронных двигателей используются датчики Холла, входящие в их конструкцию. Сигнал с датчиков преобразовывается многоканальным модулем аналогового ввода (i-7017) и считывается программируемым контроллером.

Соединение программируемого контроллера и модулей ввода-вывода осуществляется через интерфейс стандарта RS-485 с использованием коммуникационного протокола DCON, широко применяемого в промышленности для организации связи между электронными устройствами. Электрическое питание системы управления осуществляется модулем питания ACE-540A. Следует отметить универсальность данного подхода к построению технического

обеспечения интеллектуальной информационно-управляющей системы для управления асинхронными двигателями и его возможное применение на других объектах.

ВЫВОДЫ

Рассмотрен подход к созданию интеллектуальной информационно-управляющей системы энергосберегающего управления, который позволил сделать следующие выводы.

1. Особенность разработанной информационно-управляющей системы энергосберегающего управления заключается в применении при проектировании её математического обеспечения теории анализа и синтеза систем на множестве состояний функционирования и методе синтезирующих переменных для оперативного получения вида функций оптимального управления и её параметров.
2. Решение задачи энергосберегающего управления объектом осуществлено посредством технологии интеллектуализации синтеза, реализованной в виде интегрированного графа.
3. Математическое, программное и техническое обеспечение информационно-управляющей системы энергосберегающего управления инвариантно и применимо для различных объектов управления.
4. Результаты решения задачи энергосберегающего управления асинхронными двигателями и ИИУСЭУ внедрены на ОАО «Пигмент» (г. Тамбов). Экономия энергии составляет от 5% до 15% в зависимости от объекта управления и состояния его функционирования. Следует отметить, что долговечность службы двигателей повышается за счет их мягкого пуска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артемова С.В., Артемов А.А., Каменская М.А. Методология проектирования интеллектуальной информационно-управляющей системы тепло-технологическими аппаратами: монография. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ». – 2017. – 196 с.
2. Муромцев Ю.Л., Ляпин Л.Н., Попова О.В. Моделирование и оптимизация сложных систем при изменении состояния функционирования. – Воронеж: Изд-во ВГУ.–1993. – 164 с.
3. Мокеев В.В. Об оценке деятельности предприятий методом собственных состояний // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2014. – № 9. – С.1–11.
4. Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. Теория автоматизированного электропривода: учеб. пособ. для вузов. – М.: Энергия. – 1979. – 616 с.
5. Смирнова В.И., Разинцев В.И. Проектирование и расчет автоматизированных приводов. – М.: Машиностроение. – 1990. – 368 с.
6. Яуре А.Г., Богословский А.П., Певзнер Е.М. и др. Современное состояние и тенденции развития тиристорных электроприводов переменного тока для краново-подъемных механизмов: обзорная информация. – М.: Информэлектро, 1981. – 52 с.
7. Файнштейн В.Г. Файнштейн Э.Г. Микропроцессорные системы управления тиристорными электроприводами / под ред. О.В. Снежановского. – М: Энергоатомиздат, 1986. – 240 с.
8. Артемова С.В., Артемов А.А., Подхватилин П.А., Чуриков А.А. Технология построения интеллектуальных информационно-управляющих систем тепло-технологическими аппаратами // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015 – Т. 21, № 4.– С. 561–566.

Материал поступил в редакцию 30.10.18.

Сведения об авторах

АРТЕМОВА Светлана Валерьевна – доктор технических наук, доцент; профессор кафедры «Информатика» МИРЭА–Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), Москва
e-mail: SArtemova@yandex.ru

АРТЕМОВ Анатолий Анатольевич – доктор физико-математических наук, доцент; профессор кафедры «Высшая математика» РТУ МИРЭА
e-mail: a3rt@rambler.ru

КАМЕНСКАЯ Мария Анатольевна – кандидат технических наук; ассистент кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», Тамбовский государственный технический университет
e-mail: art_mari@bk.ru

Проблема когнитивного мониторинга распределенных объектов

Описан новый подход, позволяющий перейти от традиционного мониторинга к когнитивному, изложены основные положения когнитивного мониторинга и определены его особенности. Для формального описания моделей когнитивного мониторинга предложен аппарат вложенных иерархических относительно конечных операционных автоматов и приведен обобщенный алгоритм когнитивного мониторинга. Продемонстрированы количественные оценки эффективности когнитивного мониторинга по двум ключевым показателям: числу одновременно наблюдаемых объектов и полноте синтезируемых моделей объектов.

Ключевые слова: когнитивный мониторинг, относительно конечные операционные автоматы, моделирование объектов и процессов

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в прикладных предметных областях непрерывно увеличивается число объектов, как природных, так и искусственных, которые используются для решения практических задач. При этом каждому объекту свойственны свои параметры, отражающие его состояние, поведение и возможности управления. Основным источником информации об этих объектах – поступающие от них информационные потоки или отдельные фрагменты этих потоков [1]. Объекты объединяются в локальные и глобальные сети. Мониторинг и управление этими объектами требует активного участия специалистов предметных областей. Автоматизация процессов вызывает ряд сложностей: модели наблюдаемых объектов, как правило, не известны; постановки задач мониторинга и управления, а также способы их решения зависят от наблюдаемой ситуации, оказываются плохо формализуемыми.

Решение рассмотренных проблем возможно за счет поддержки когнитивных возможностей на машинном уровне. До настоящего времени такие возможности рассматривались, в основном, как возможности, свойственные только биологическим системам. Однако в последние годы как отечественными, так и зарубежными специалистами ведутся активные исследования, направленные на создание искусственных когнитивных систем.

Под когнитивными системами понимаются искусственные системы, т.е. небиологические системы, присущие машинам с признаками искусственного интеллекта, обладающим когнитивной функцией. При этом когнитивная функция определяется как

«способность связывания событий во времени, построение интерактивной пространственно-временной модели событий».

Анализ существующих решений в области когнитивных систем показал, что в последние годы было разработано значительное число когнитивных моделей, методов и архитектур [2–20]. Среди них существенный интерес представляют когнитивные системы управления, предложенные Симоном Хайкиным [2, 3]. Под когнитивными системами С.Хайкин предлагает понимать системы, способные адаптивно преобразовывать поступающие потоки данных в управляющие команды. При этом должно обеспечиваться сокращение информационного разрыва между входными данными и выходными воздействиями. Сокращение информационного разрыва соответствует снижению рисков формирования ошибочных решений прикладных задач.

Предлагаемые им системы, в частности, когнитивный радар, предусматривают построение байесовских и марковских моделей этих устройств. Системы достаточно эффективно работают в условиях, когда необходимо обеспечить мониторинг и управление ограниченного числа объектов с известными моделями. Однако, они не отвечают многим современным требованиям. Например, таким как необходимость мониторинга и управления крупными сетями разнородных объектов, состав и характеристики которых определены частично. В этих условиях возникает необходимость в динамическом перестроении процессов сбора данных с учетом наблюдаемости объектов, состава и состояния средств измерений, полноты получаемых данных, их связанности и качества. При этом накладываются ограничения на

объем собираемых данных. Такие ограничения обычно определяются пропускной способностью сетей передачи данных.

Примером области, требующей перехода на использование когнитивных систем, является Интернет вещей (*Internet of Things – IoT*). В рамках концепции *IoT* рассматриваются вопросы построения динамических сетей физических объектов («вещей»). Сети *IoT* включают многие тысячи разнообразных устройств, снабженных датчиками состояния и исполнительными устройствами. Дальнейшее развитие платформ *IoT* связывается, в первую очередь, с поддержкой новых интеллектуальных возможностей «вещей». При этом сложная инфраструктура существующего *IoT* будет наделена интеллектом. Интеллектуальная среда предполагает способность отдельных устройств, а также наблюдаемых объектов корректировать поведение в соответствии со сложившейся ситуацией, обучаться, делать логические выводы, взаимодействовать между собой, с другими объектами, с внешней средой. Ожидается, что в перспективе платформы *IoT* обеспечат интеграцию физического и социального миров, создание на их основе интеллектуального кибер-пространства [21, 22]. Одна из ключевых задач перехода к перспективному *IoT* – создание систем, способных обеспечить мониторинг и управление новым киберпространством, в качестве которых могут выступать системы когнитивного мониторинга и управления.

Опираясь на существующие достижения в области когнитивных систем, а также на современные требования *IoT* и других областей, необходимо разработать новые решения задач мониторинга технических объектов. Новый аппарат должен позволять создавать когнитивные системы мониторинга, которые способны обеспечить автоматический мониторинг состояния объектов и ситуаций. Наличие когнитивных функций у машин должно выражаться, в первую очередь, в их способности автоматически синтезировать модели объектов и процессов мониторинга.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА

Вопросы и проблемы мониторинга исследуются достаточно давно. Традиционно мониторинг основывается на схемах поиска оптимальных адаптивных решений. Схема классической замкнутой системы оптимального мониторинга и управления предложена А.А. Фельдбаумом [23]. Она обеспечивает решение задачи анализа системы управления или синтеза управляющей части системы, при этом задача формулируется и решается как статистическая. Рассматриваются задающее воздействие x и помеха z . Считается, что x и z могут быть заранее неизвестны. Эти процессы являются случайными, априорная информация о них ограничивается знанием их вероятностных характеристик. Для таких процессов можно построить некоторые классы кривых $x(\lambda)$ и $z(\mu)$, где λ и μ – векторы параметров, соответственно $(\lambda_1, \dots, \lambda_q)$ и (μ_1, \dots, μ_m) с известными или неизвестными вероятностными распределениями. Ошибки измерения или шумы в каналах связи, соединяющих меж-

ду собой блоки систем, рассматриваются как дополнительные случайные процессы, характеристики которых также могут быть неизвестными. Такая схема позволяет отчасти нейтрализовать помехи z за счет управляющих воздействий. Устранение помехи возможно за счет пассивного или активного наблюдения за объектом.

В первом случае помеха z определяется косвенно за счет измерения входа и выхода объекта путем изучения его характеристик. Эта информация не является полной из-за наличия шумов, а также ограниченности временного интервала наблюдения. Однако, как правило, этой информации оказывается достаточно для построения апостериорного вероятностного распределения параметров возмущающего воздействия.

При активном изучении изменяется воздействие, оказываемое на управляемый объект, который как бы «прощупывается» воздействиями, носящими познавательный характер. Это позволяет быстрее и точнее определять характеристики объекта. Таким образом, при активном его исследовании управляющие воздействия u на объект могут иметь целью, как изучение, так и управление, т.е. несут двойственный характер. Такое управление является дуальным. При этом между двумя сторонами управляющего воздействия возникает противоречие. Задача состоит в определении наивыгоднейшего сочетания двух сторон в управляющем воздействии. Неполнота информации об объекте выражается наличием некоторого вероятностного распределения возможных характеристик объекта. Управляющая часть оценивает различные гипотезы об объекте и вырабатывает управляющее воздействие. Каждая гипотеза имеет свою вероятность, вероятности изменяются со временем.

Для систем автоматической оптимизации предусматривается, что воздействие u , оказываемое на исследуемый объект, имеет двойственный характер и служит для изучения объекта, и создания условий для оптимального режима его работы. Последний находится путем автоматического поиска. Дополнительная управляющая часть изучает процесс в системе и вырабатывает воздействия, позволяющие изменить алгоритм, реализуемый основной управляющей частью. Автоматический поиск производится в замкнутой цепи воздействий $u \rightarrow x \rightarrow u$.

Для рассмотренных схем построены и исследованы математические модели процессов. Однако все эти модели ориентированы на работу с линейными системами. Даже при достаточно простых условиях сложность моделей заставляет отказываться от описания процессов управления в аналитическом виде. Переходят на описание управляющих воздействий в виде структурных схем вычислительных устройств. Но при увеличении сложности процессов они становятся также практически не применимы.

Имеются модели и методы мониторинга, основанные на использовании интеллектуальных информационных технологий. Возможности интеллектуального мониторинга и средства их достижения подробно рассмотрены в [24]. В результате непрерывного развития области искусственного интеллекта появляются новые модели, в том числе самообу-

чающиеся, которые также могут использоваться при решении рассматриваемых нами задач [25–27]. Однако большинство интеллектуальных систем мониторинга не поддерживают возможностей синтеза моделей. Отдельные системы, которые обладают такими способностями, позволяют строить типовые модели, пере-строение этих моделей не предусматривается.

При синтезе моделей мониторинга наибольший интерес представляют существующие подходы, разработанные для синтеза структур и программ [28–33], включающего построение их вариантов, оценку эффективности, выбор целесообразных решений. Синтезируемые программы должны быть результативными, т.е. завершать работу за конечное число шагов. Различают дедуктивный и индуктивный синтез программ. Дедуктивный синтез основан на доказательстве существования программ на заданном множестве условий, которые связывают исходные данные с планируемым результатом. Из доказательств извлекаются сами программы. Для этого применяется метод резолюций и обратного вывода [28–30, 34]. Для успешного решения задачи синтеза программ необходимо формальное описание набора условий (правил), связывающих входные и выходные данные. Для формального описания простых программ достаточно определить ограниченное число правил. Однако, при описании реконфигурируемых программ в условиях изменяющихся информационных потоков и внешних факторов возникает необходимость в использовании специальных правил, учитывающих текущую ситуацию. Для описания реконфигурируемых программ возможностей существующих моделей и методов синтеза оказывается недостаточно. Аппарат для формального описания реконфигурируемых программ предложен в [35, 36]. Он позволяет определять параметры моделей на некоторый момент времени относительно их параметров в предшествующий момент.

В настоящее время проработаны методы и модели синтеза достаточно простых одноуровневых реконфигурируемых процессов и программ. Применение этих моделей при решении задач мониторинга более сложных многоуровневых объектов реального мира приводит к высокой сложности синтеза, что существенно ограничивает их применение на практике. Для сокращения времени, затрачиваемого на синтез, обычно используют различные методы распараллеливания процессов доказательства существования программ и их извлечения. Однако это не позволяет решить проблему сложности в полной мере. Необходимо выйти на существенно более низкий уровень сложности решения задач синтеза.

Один из возможных путей решения этой проблемы связан с использованием многоуровневого подхода, который был предложен еще в 1983 г. [37] и получил развитие в работах [38, 39]. Однако до настоящего времени этот подход не проработан в должной мере и его потенциальные возможности не раскрыты.

В целом, результаты проведенного анализа показывают, что существующие подходы к синтезу не позволяют обеспечить машинный синтез моделей объектов и процессов когнитивного мониторинга и

управления распределенными объектами (РО). Требуется создание нового теоретического и методологического аппарата для когнитивного мониторинга.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОГНИТИВНОГО МОНИТОРИНГА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Определимся с понятием когнитивности в контексте мониторинга распределенных объектов и другими связанными с ним понятиями.

Под распределенным объектом понимается объект, данные о котором имеют дополнительную составляющую, в качестве которой может выступать пространственная привязка элементов объекта. В распределенных объектах в соответствии с этой составляющей выделяются связанные между собой элементы и группы элементов. Возможность учета взаимосвязей между элементами объектов играет существенную роль при анализе состояния распределенных объектов по данным мониторинга, а также при управлении этим объектом [40].

Основным источником данных о таких объектах является содержание (контент) поступающих от них информационных потоков. Способы обработки и интерпретации контента зависят от контекста, который определяется условиями функционирования наблюдаемого объекта, условиями формирования информационных потоков и другими факторами.

Когнитивный мониторинг распределенных объектов – это машинно-управляемое получение и обработка информации о наблюдаемых объектах, обеспечивающие целесообразное решение прикладных задач. Когнитивный мониторинг РО предусматривает машинное построение моделей наблюдаемых объектов и процессов мониторинга. Моделирование, реализуемое при когнитивном мониторинге – это управляемое моделирование, реализуемое на машинном уровне, что отличает его от традиционного математического моделирования.

Когнитивный мониторинг можно рассматривать как следующий уровень развития адаптивного и интеллектуального мониторинга. Адаптивность предусматривает возможность настройки моделей в соответствии с контентом и контекстом. При этом считаются известными настраиваемые параметры и способы их настройки. Интеллектуальный мониторинг предполагает использование обучаемых и самообучаемых моделей и методов. Когнитивность определяет возможность машинной перестройки моделей процессов и объектов исходя из контента, контекста и результатов их обработки. Исходя из этого, можно дать следующее определение когнитивным системам мониторинга. Когнитивная система мониторинга – это самоперестраивающаяся интеллектуальная информационная система, обеспечивающая адаптивный мониторинг наблюдаемых объектов на основе собираемых с объектов данных и результатов их обработки на машинном уровне.

Когнитивность процессов состоит в их целенаправленном развитии на основе накапливаемого опыта. При этом определяется их структура, выделяются структурные уровни. Совокупность процессов мониторинга строится таким образом, что внача-

ле формируются предварительные варианты решения, которые затем уточняются и совершенствуются. Эти процессы зависят от состояния объектов мониторинга и среды на текущий, предыдущие и последующие интервалы времени. При их изменении процессы мониторинга перестраиваются. Основными особенностями процессов когнитивного мониторинга, отличающими его от традиционного мониторинга, является адаптивность этих процессов и возможность полной машинной перестройки.

Модели объектов, формируемые при когнитивном мониторинге, – это машинные модели, представляющие объект как совокупность информационных элементов и связей между ними. При построении моделей объектов решающими задачами связывания элементов, несущих информацию о состоянии объектов, происходящих событиях, а также оцениваются изменения этих связей в пространстве и во времени. Модели наблюдаемых объектов могут восстанавливаться только частично, в объеме, необходимом для решения поставленных задач мониторинга. Построение именно таких моделей на основе связей между элементами отличает когнитивный мониторинг от традиционного, основанного на математическом моделировании. При традиционном мониторинге, как правило, строятся аналитические модели, основанные на информации о структуре моделируемого объекта.

Отметим, что модели, которые строят специалисты предметных областей при решении прикладных задач, оказываются схожи с моделями когнитивного мониторинга. Моделирование объектов человеком во многом сводится к выявлению ассоциативных связей, характеризующих наблюдаемый объект, и их исследованию. Основываясь на результатах анализа, специалисты определяют способы перестройки процессов мониторинга. При когнитивном мониторинге такая логика моделирования реализуется средствами когнитивных информационных систем.

Когнитивность систем мониторинга состоит в том, что они имеют собственные модели. Это позволяет системам оценивать собственное состояние. В результате когнитивные системы оказываются способными оперировать моделями объектов наблюдения и процессов мониторинга, управлять мониторингом, основываясь на оценках полноты сформированных моделей объектов, наблюдаемых условиях проведения мониторинга. Наличие собственных моделей и возможность работы с ними отличает когнитивные системы от других систем мониторинга, которые не воспринимают себя как некоторую самостоятельную сущность, имеющую свою структуру, логику работы, состояние.

Предлагаемые когнитивные системы способны решать задачи мониторинга в таких современных условиях, как значительные объемы информационных потоков, поступающих от наблюдаемых объектов, влияние множества меняющихся во времени факторов на состояние и поведение наблюдаемых объектов. Кроме того, решаемые прикладные задачи, в интересах которых проводится мониторинг, являются сложными, что требует реализации многих процессов обработки данных.

Опираясь на приведенные понятия и учитывая условия соответствующих задач, сформулируем основные положения, определяющие возможности когнитивного мониторинга:

1. Процессы сбора данных, а также их последующей обработки при когнитивном мониторинге являются управляемыми. Они формируются исходя из имеющегося контента и контекста, а также поставленных целей.

2. Управляемость мониторинга обеспечивается за счет согласованного синтеза моделей объектов и моделей процессов. Синтез осуществляется на машинном уровне, что обеспечивает возможность оперативного построения и перестройки моделей объектов и процессов мониторинга.

3. Синтез моделей когнитивного мониторинга основан на контентно-адаптивной обработке данных, собираемых о наблюдаемых объектах. Адаптивность к контенту предусматривает обработку содержания информационных потоков с учетом наблюдаемого контекста. Синтезируемые когнитивные модели объектов и процессов – это контентно-адаптивные модели, целесообразная структура и логика которых формируется по имеющимся об объектах данным.

Формально задача когнитивного мониторинга может быть сформулирована как многокритериальная оптимизационная задача с множеством ограничений. Требуется найти целесообразный способ B_o построения или перестройки моделей мониторинга, при котором достигается W_{opt} – экстремум основного показателя эффективности (целевой функции) при ограничениях на вспомогательные показатели. В качестве основного показателя эффективности могут выступать показатели эффективности мониторинга и управления РО на уровне решения прикладных задач. Вспомогательные показатели можно разделить на три основные группы: показатели эффективности синтезируемых моделей объектов ($M_1(B_v)$) и процессов мониторинга ($M_2(B_v)$), показатели эффективности процессов обработки данных ($M_3(B_v)$). В обобщенном виде задачу можно сформулировать так:

$$W_{opt}(B_o) = \text{extr}_{v \in \Lambda} \{W_v(M(B_v))\},$$

$$M(B_v) = F(M_1(B_v), M_2(B_v), M_3(B_v)) \in E,$$

$$M_1(B_v) \in E_1; M_2(B_v) \in E_2; M_3(B_v) \in E_3,$$

где Λ – множество вариантов построения моделей когнитивного мониторинга; E, E_1, E_2, E_3 – области допустимых значений для показателей эффективности. Учитывая, что модели объектов и процессов когнитивного мониторинга являются иерархическими, каждая из выделенных групп показателей может быть подразделена на показатели нескольких уровней.

Решение задачи когнитивного мониторинга требует решения прямой и обратной задачи анализа. Прямая задача состоит в анализе информационных потоков, поступающих от объектов мониторинга для последующего прогнозирования их поведения. Решение обратной задачи анализа предполагает восстановление информации о реальных объектах (например, о физических параметрах объектов, их

структуре) в прошлом по имеющейся об этих объектах информации на текущий момент.

Формально прямую и обратную задачи анализа можно записать в виде: $X \xrightarrow{F(X)} Y$; $Y \xrightarrow{F^{-1}(X)} X$, где X – исходное состояние объекта; Y – конечное состояние объекта; $F(X)$ – функция, позволяющая определить конечное состояния объекта в зависимости от его исходного состояния; $F^{-1}(X)$ – функция, позволяющая определить исходное состояние объекта в зависимости от текущего его состояния. При такой постановке прямая задача анализа предполагает построение Y при известных X и $F(X)$, обратная задача – восстановление X при известных Y и $F(X)$.

Решение задач синтеза процессов осуществляться на основе знаний об исходных и конечных состояниях исследуемых объектов и конечного множества частных связей состояний друг с другом. Задача синтеза сводится к определению функции F , позволяющей перейти от X к Y : $X, Y \xrightarrow{\Omega_F} F$, где Ω_F – множество условий переходов..

Решение рассмотренных задач на машинном уровне представляет актуальную проблему, сложность которой обуславливается необходимостью машинного понимания содержания обрабатываемой информации, автоматической формулировкой задач мониторинга и поиском целесообразных решений.

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ КОГНИТИВНОГО МОНИТОРИНГА

В обобщенном виде схема когнитивного мониторинга распределенных объектов, реализуемая в условиях реального мира, отражена на рис. 1. Приведенная на рисунке структура показывает место когнитивных моделей в общей схеме мониторинга и управления распределенными объектами. За счет использования когнитивных моделей на машинном уровне может решаться значительная часть задач, которые в настоящее время требуют непосредственного участия лица, принимающего решения (ЛПР).

Управление мониторингом обеспечивает обоснованный сбор данных и их обработку с использовани-

ем существующих средств, в частности технических средств, сетей передачи данных. При этом достигается существенная экономия ресурсов, необходимых для решения задач мониторинга.

При когнитивном мониторинге собираемые данные преобразуются таким образом, чтобы обеспечивалась возможность последующей выработки эффективных управляющих воздействий на объект наблюдения. При этом процессы управления определяют цели, задачи и ограничения для процессов мониторинга.

Схема когнитивного мониторинга, приведенная на рис. 1, предполагает перестройку моделей объектов и процессов мониторинга как при изменении получаемых и обрабатываемых данных, так и изменении требований к результатам. К основным параметрам, определяющим способы перестройки моделей когнитивного мониторинга, можно отнести: уровень общности решаемой практической задачи, уровень абстракции описания контента, форму его представления, уровень его формализации и информативности, характер информации, вид функциональных перестроек процессов и др.

Когнитивный мониторинг и управление распределенными объектами обеспечиваются средствами когнитивной машины (КМ). Предлагаемая машина представляет собой абстрактный вычислитель, обеспечивающий решение задач синтеза моделей когнитивного мониторинга по результатам контентно-адаптивной обработки получаемых данных. При этом могут рассматриваться модели внешней среды и другие модели, определяющие условия мониторинга, а также существующие модели мониторинга и управления, в том числе аналитические.

При синтезе моделей когнитивной машиной, в первую очередь, осуществляется синтез формальных схем, определяющих конструкцию моделей мониторинга, в частности, их структуру. Переход от абстрактных к реализуемым моделям мониторинга выполняется за счет решения задач прямого и обратного анализа на основе данных, получаемых в процессе наблюдения за объектами реального мира.

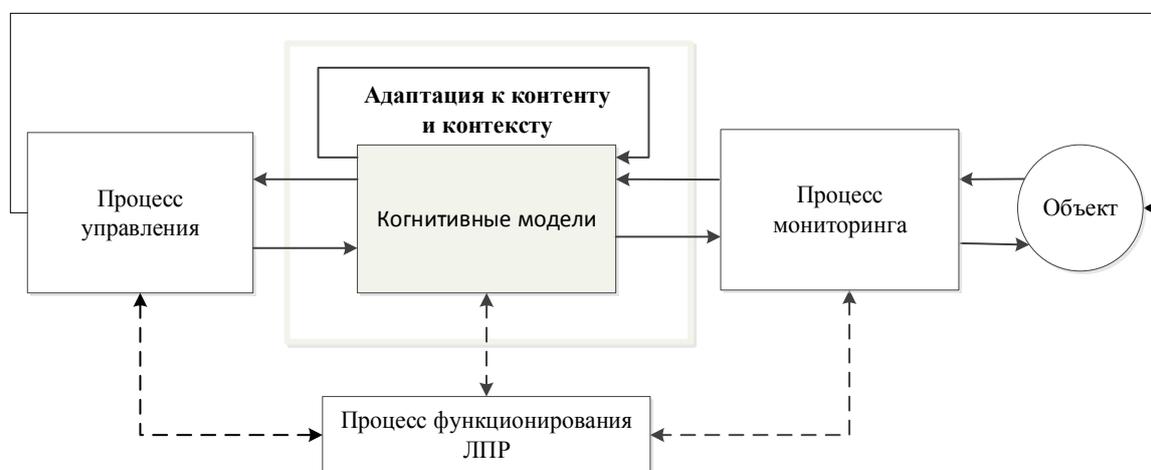


Рис. 1. Обобщенная схема когнитивного мониторинга и управления распределенных объектов

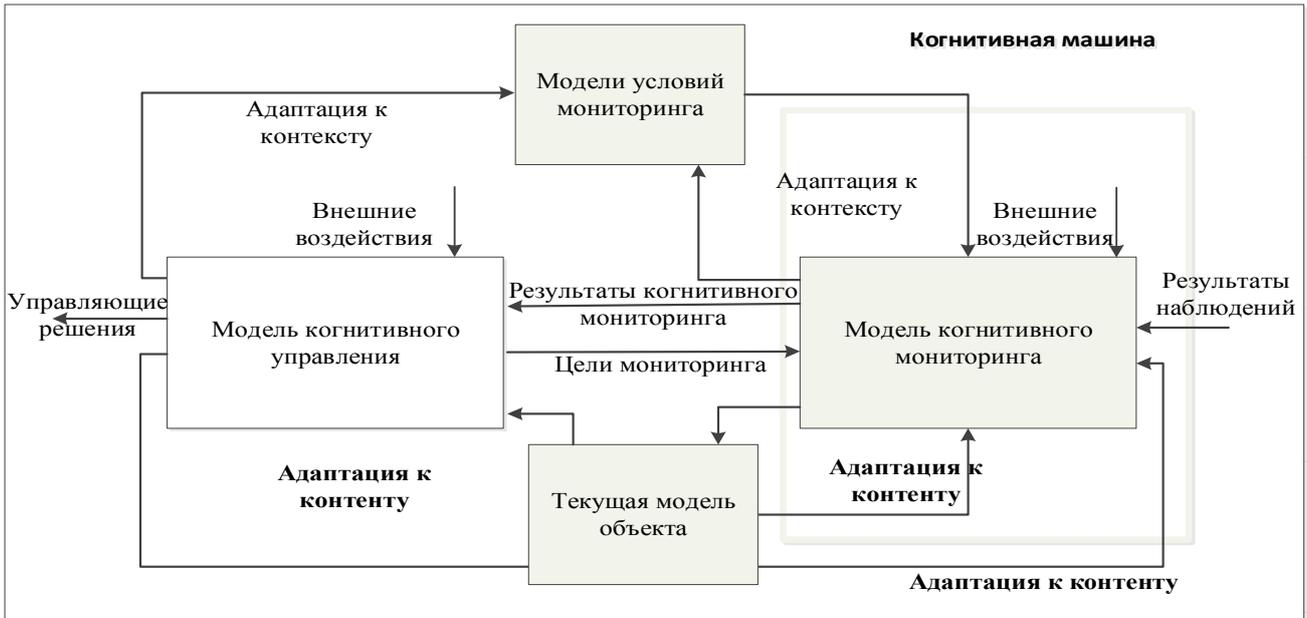


Рис. 2. Обобщенная модель когнитивной машины

Результаты решения этих задач используются для наполнения формальных структур. Синтезируемые таким образом модели содержат информацию о состояниях объектов мониторинга, функциях, определяющих связи между состояниями, условия существования связей, а также другую информацию, характеризующую объект и его поведение. Информация, содержащаяся в результирующих моделях мониторинга, позволяет синтезировать модели процессов мониторинга. Множество состояний этих процессов определяется в соответствии с информационными элементами моделей, а множество переходов между состояниями – в соответствии со связями, установленными между элементами. Таким образом, результирующие модели мониторинга определяются в терминах исходных информационных элементов и результатов их преобразований.

Обобщенная модель предлагаемой машины и основные элементы, входящие в ее состав, показаны на рис. 2. Формально такую машину можно представить как $F^T(\bar{d}_a) \rightarrow \bar{d}_b$; $F^{IDT}(\bar{d}_b) \rightarrow \bar{d}_{b+1}$; $F^{IT}(\bar{d}_b) \rightarrow \bar{d}_c$, где \bar{d}_a и \bar{d}_c – входные и выходные информационные потоки, \bar{d}_b – внутреннее информационное пространство когнитивной машины, F^T – преобразования, обеспечивающие восприятие исходных потоков; F^{IDT} – преобразования, применяемые для связывания информационных элементов при синтезе моделей объектов и процессов; F^{IT} – преобразования, обеспечивающие согласование выходных данных КМ с входами процессов управления.

В когнитивных машинах перестраиваемые модели объектов и процессов мониторинга описываются в пространстве состояний этих объектов и процессов, а также связей между ними. При построении когнитивных моделей в пространстве

состояний определяется последовательность переходов, которые позволяют перевести модель из исходного состояния \bar{d}_r в требуемое \bar{d}_s : $F^b: \bar{d}_r \rightarrow \bar{d}_s$, $\bar{d}_r, \bar{d}_s \in D^k$, $F^b \subseteq F^k$, где F^b – множество функций. Как правило, восстанавливается только часть пространства. Восстановлению всего пространства может препятствовать наличие различных ограничений, отсутствие всей необходимой информации во входящих потоках.

Для построения математических моделей объектов и процессов когнитивного мониторинга осуществляется переход в дискретное пространство состояний, что позволяет использовать автоматные модели (АМ) для формального описания объектов и процессов мониторинга. Структура и параметры АМ определяются структурой и параметрами моделей наблюдаемых объектов и процессов мониторинга.

С учетом особенностей моделей когнитивного мониторинга для их формального описания требуется использовать относительно конечные операционные автоматы (ОКА) [34, 36]. ОКА являются полностью перестраиваемыми автоматами. В частности, предусматривается перестроение множеств входных и выходных данных, функций переходов и выходов, а также допустимых множеств входных и выходных данных и функций переходов. Каждый такой автомат OKA_r на r -й момент времени в полном виде можно задать совокупностью десяти параметров:

$$OKA_r = \{\bar{d}_a, \bar{d}_b, \bar{d}_c, F_r^b, F_r^c, DA(\bar{d}_{b-1}), DB(\bar{d}_{b-1}), DC(\bar{d}_{b-1}), FB(\bar{d}_{b-1}), FC(\bar{d}_{b-1})\}, \quad (1)$$

где \bar{d}_a – вектор входных данных; \bar{d}_b – вектор параметров внутреннего состояния; \bar{d}_c – вектор параметров состояния выхода. Входящие в (1) функции

F_r^b переходов автомата из одного внутреннего состояния в другое и функции F_r^c выходов можно записать в виде:

$$\bar{d}_{br+1} = F_r^b(\bar{d}_{ar}, \bar{d}_{br}), \quad (2)$$

$$\bar{d}_{cr} = F_r^c(\bar{d}_{ar}, \bar{d}_{br}). \quad (3)$$

Состояния \bar{d}_{br} , \bar{d}_{cr} , \bar{d}_{ar} , и функции F_r^b , F_r^c , характеризующие автомат на r -й момент времени, должны удовлетворять определенным условиям:

$$\bar{d}_{ar} \in DA(\bar{d}_{br-1}), \quad (4)$$

$$\bar{d}_{br} \in DB(\bar{d}_{br-1}), \quad (5)$$

$$\bar{d}_{cr} \in DC(\bar{d}_{br-1}), \quad (6)$$

$$F_r^b \in FB(\bar{d}_{br-1}), \quad (7)$$

$$F_r^c \in FC(\bar{d}_{br-1}). \quad (8)$$

Условие (4) показывает, что состояние входов автомата на r -й момент времени ограничивается множеством $DA(\bar{d}_{br-1})$ допустимых состояний, определенных относительно $r-1$ момента времени. Согласно (5) внутреннее состояние автомата на r -й момент времени должно относиться к множеству $DB(\bar{d}_{br-1})$ его допустимых внутренних состояний. Выражение (6) характеризует ограниченность возможных состояний выходов автомата. Эти состояния должны относиться к множеству $DC(\bar{d}_{br-1})$. По условию (7) реализуемая автоматом на r -й момент функция переходов F_r^b должна входить в множество $FB(\bar{d}_{br-1})$ допустимых функций, определенное относительно $r-1$ момента времени. Множество $FB(\bar{d}_{br-1})$ функций переходов отражает систему команд, характерных для автомата в r -й момент.

По условию (8) функция F_r^c выходов на r -й момент времени должна принадлежать множеству $FC(\bar{d}_{br-1})$ допустимых функций, активных относительно $r-1$ момента времени.

Переход от автомата OKA_r к автомату OKA_{r+1} на $r+1$ момент можно записать в виде:

$$F_r^b : OKA_r, \bar{d}_{ar} \rightarrow OKA_{r+1}. \quad (9)$$

Одноуровневые модели мониторинга составляют основу новых многоуровневых моделей, позволяющих описывать объекты и процессы, имеющие более сложную структуру. Эти модели развивают существующий аппарат относительно конечных автоматов. Новый аппарат позволяет формировать системы вложенных автоматов, строить автоматы с иерархической структурой.

Определим вложенные автоматные модели на основе рассмотренных линейных конечных операционных автоматов. На глубину вложений M в общем случае ограничений не накладывается.

Суть системы вложенных автоматов состоит в следующем. Каждая автоматная модель может раскрываться в виде одного или нескольких вложенных автоматов. Так, при глубине вложенности равной двум ($M=2$) автомат имеет вид:

$$OKA^{(i)}_r = \{OKA^{(1)}_r, OKA^{(2)}_r, \dots, OKA^{(K)}_r\},$$

где $OKA^{(i)}_r$ – вложенные автоматы, K – число вложенных автоматов $OKA^{(i)}_r$ является основным автоматом для автоматов $OKA^{(i)}_r$.

Вложенные автоматы, так же как и основные, описываются параметрами, определенными в (1). Однако на эти параметры накладываются дополнительные ограничения:

1. Входные и выходные данные вложенного автомата, а также их допустимые множества определяются внутренними состояниями основного автомата.

2. Внутренние состояния вложенного автомата, функции внутренних переходов, функции выходов и их допустимые множества зависят от уровня вложенности.

Тогда вложенный автомат, для которого глубина вложения $m=2$, можно определить следующим образом:

$$OKA^m_r(\bar{d}_{br}^i) = \{\bar{d}_{ar}^m(\bar{d}_{br}^i), \bar{d}_{br}^m(m=2), \bar{d}_{cr}^m(\bar{d}_{br}^i),$$

$$F_r^{b^m}(m=2), F_r^{c^m}(m=2),$$

$$DA^m(\bar{d}_{br}^i, \bar{d}_{br-1}^m), DB^m(m=2, \bar{d}_{br-1}^m), DC^m(\bar{d}_{br}^i, \bar{d}_{br-1}^m),$$

$$FB^m(m=2, \bar{d}_{br-1}^m), FC^m(m=2, \bar{d}_{br-1}^m)\}$$

Предложенный аппарат вложенных автоматов позволяет сначала формировать модели объектов и процессов когнитивного мониторинга в общем виде, а затем их поэтапно детализировать. При этом перестройка автоматных моделей, имеющих глубину k , влечет за собой перестройку только моделей с глубиной $m > k$. Модели, у которых глубина $m < k$, не требуют изменений. Это свойство автоматных моделей позволяет более гибко подходить к построению моделей наблюдаемых объектов и процессов мониторинга в быстро меняющейся динамической обстановке, поскольку выполняется перестройка только отдельных элементов моделей когнитивного мониторинга.

Для построения иерархических ОКА выделяются опорные множества допустимых параметров: $DOKA^0 = \{DA^0, DB^0, DC^0, FB^0, FC^0\}$. Из элементов этих опорных множеств формируются допустимые множества параметров более высоких i -х уровней, $DOKA^i = \{DA^i, DB^i, DC^i, FB^i, FC^i\}$. В результате автомат может характеризоваться допустимыми множествами параметров на различных уровнях иерархии: $DOKA^0 \Leftrightarrow DOKA^1 \Leftrightarrow \dots \Leftrightarrow DOKA^i \Leftrightarrow \dots \Leftrightarrow DOKA^K$. Учитывая, что автомат на текущий момент описывается $DOKA^i = \{DA^i, DB^i, DC^i, FB^i, FC^i\}$, и эти множества в общем случае изменяются во времени, их можно записывать как зависящие от его внутренних состояний, $DOKA^i = DOKA^i(\bar{d}_{br-1}^i)$.

Аппарат иерархических ОКА позволяет работать с моделями когнитивного мониторинга на различных уровнях, т.е. реализовывать иерархический синтез. Иерархический синтез позволяет снизить вычислительную сложность формируемых решений.

ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОГО МОНИТОРИНГА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Обобщенный алгоритм решения задач когнитивного мониторинга и управления распределенных объектов, основанный на адаптивной обработке контента, показан на рис. 3. Согласно этому алгоритму вначале осуществляется оценка текущего состояния наблюдаемого объекта и условий мониторинга. Она формируется на основе обработки полученной информации от различных источников. При такой обработке выясняются текущие характеристики контента входных потоков, выявляются их особенности. Контекст обработки зависит от состояния среды, в которой функционируют объекты, условий выполнения обработки и состояния используемых систем мониторинга и управления. При оценке значимую роль может сыграть имеющаяся априорная информация об объектах и накопленные статистические данные.

По результатам такой контентно-адаптивной обработки информации определяется текущее состояние объектов мониторинга и управления. При обработке может потребоваться решение задач восстановления, идентификации, классификации, распознавания, прогнозирования изменения состояния наблюдаемого объекта. На основе информации, извлекаемой из контента, выявляются несоответствия между фактическим состоянием распределенных объектов и практическими потребностями. К возможным причинам возникновения таких несоответствий можно отнести: сложное поведение объектов; высокую динамику изменения состояния среды; возникновение сбоев в работе оборудования, программного обеспечения, ошибки операторов; появление новых фактов, событий, не укладывающихся в существующие модели объектов и не воспринимаемые процессами обработки; невозможность достижения желаемых целей существующими способами и др.

Задачи мониторинга могут решаться не только исходя из практических потребностей, но и исходя из внутренних целей мониторинга. Например, к таким целям может относиться обеспечение устойчивости мониторинга и управления в условиях появления дополнительных внешних факторов, при возникновении нештатных ситуаций.



Рис. 3. Обобщенный алгоритм когнитивного мониторинга распределенных объектов

Для оперативного поиска целесообразных способов контентной адаптации необходимо, чтобы формулировка оптимизационных задач обеспечивалась на машинном уровне. В ряде случаев система может иметь уже готовый набор типовых формулировок задач (оптимизационных моделей). Однако для решения этих задач в различных трудно прогнозируемых ситуациях невозможно обойтись фиксированным заранее разработанным набором моделей. В каждом конкретном случае требуется их перестройка.

Поиск решений при когнитивном мониторинге предусматривает синтез структур моделей когнитивного мониторинга и их последующее наполнение. При этом, в первую очередь, синтезируются структуры моделей объектов мониторинга. Для их наполнения формируются процессы сбора и обработки данных. В процессе решения задач мониторинга, как правило, выполняется многократная перестройка моделей объектов и процессов мониторинга. Синтезированные процессы реализуются средствами информационных систем. Для этого с использованием существующих инструментальных средств по формальному описанию синтезированных моделей генерируется программный код.

Этапы формулировки задач, синтеза и оценки эффективности формируемых способов мониторинга, как правило, реализуются в цикле. Число циклов может быть достаточно большим. В результате обеспечивается поступательное согласованное развитие общего процесса мониторинга и управления распределенными объектами.

ПРОГРАММНО-РЕАЛИЗУЕМЫЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ КОГНИТИВНОГО МОНИТОРИНГА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Когнитивный мониторинг обеспечивается за счет построения системы программно-реализуемых методов синтеза (рис. 4), определяющих способы приме-

нения рассмотренного формального аппарата при решении практических задач. Выполнение методов обеспечивается средствами КМ. Из рис. 4 видно, что применение методов позволяет обеспечить требуемые показатели эффективности мониторинга. В структуре системы можно выделить два связанных контура. В состав первого входят программно-реализуемые методы синтеза моделей объектов и процессов мониторинга. Ко второму контуру отнесены методы обеспечения синтеза процессов когнитивной обработки данных и метод построения программных структур [41, 42]. В первом контуре синтезируются формальные модели, а во втором – программные. Основным связующим элементом контуров являются методы синтеза процессов когнитивной обработки данных, предполагающей преобразование по некоторым правилам одних информационных элементов в другие.

Предложенная схема позволяет согласованно решать задачи синтеза моделей наблюдаемых объектов и процессов когнитивного мониторинга, процессов когнитивной обработки данных, а также синтеза программных структур для когнитивного мониторинга.

Для решения этих задач необходимо определить конкретные модели и методы в качестве которых могут выступать существующие математические модели среды, классические модели и методы мониторинга, традиционные методы синтеза процессов и структур, новые методы интеллектуального анализа и машинного обучения и др.

Задачи мониторинга могут решаться не только исходя из практических потребностей, но и исходя из внутренних целей мониторинга. Например, к таким целям может относиться обеспечение устойчивости мониторинга и управления в условиях появления дополнительных внешних факторов, при возникновении нештатных ситуаций.



Рис. 4. Система программно-реализуемых моделей и методов когнитивного мониторинга распределенных объектов

При необходимости мониторинга многих объектов возможностей одной КМ может оказаться недостаточно, тогда строится сеть, объединяющая многие машины. Возможны различные варианты организации их взаимодействия. Так, на каждую когнитивную машину может возлагаться решение отдельной группы задач, например, мониторинга одного из наблюдаемых объектов. Возможно построение конвейера, элементами которого являются отдельные КМ, а в ряде случаев, оказывается целесообразным использовать подход, предусматривающий, что каждая машина действует автономно. При появлении новой задачи КМ совместно вырабатывают целесообразные способы и средства её решения. При таком подходе определяются правила согласованного взаимодействия для группы КМ. Все КМ наделяются равными правами и несут одинаковую ответственность за результат. При этом между КМ осуществляется активный обмен информацией. Возможен и другой вариант организации сети, при котором одна из КМ играет роль управляющей машины и распределяет задачи между другими машинами. Результаты решения отдельных задач передаются обратно управляющей КМ, где они, как правило, агрегируются. В упрощённом варианте в составе одной КМ может поддерживаться несколько моделей когнитивного мониторинга.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ СИСТЕМ КОГНИТИВНОГО МОНИТОРИНГА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Оценки эффективности когнитивного мониторинга основаны на обработке результатов применения когнитивных систем при решении практических задач в предметных областях. Технологические и архитектурные решения по созданию когнитивных систем рассмотрены в [45, 46]. Новые системы мониторинга разворачивались на объектах эксплуатации. Данные поступали от реальных объектов.

Синтезированные модели объектов и процессов мониторинга оценивались с непосредственным участием экспертов. Подробные постановки задач, ход мониторинга, а также полученные результаты нашли отражение в [47].

Эффективность когнитивного мониторинга оценивалась по двум ключевым показателям: числу одновременно наблюдаемых объектов, определяемых производительностью средств когнитивного мониторинга, и полноте синтезируемых моделей объектов и процессов мониторинга.

При оценке производительности систем рассматривались различные конфигурации этих систем. Конфигурации определялись числом используемых компонентов обработки данных. Оценка производительности компонентов обработки предусматривала определение максимального числа информационных сообщений, которые могут быть восприняты системой.

Для получения оценок были реализованы сценарии, в соответствии с которыми сообщения поступали от более, чем 500 различных объектов. Частота генерации составляла 300, 500 и 800 сообщений в секунду. Обработка сообщений выполнялась одним или двумя компонентами. Сводные результаты выполнения сценариев при различном числе компонентов обработки данных приведены в табл. 1. Для оценки успешности обработки сообщений использовался критерий – очередь сообщений, ожидающих обработку, не увеличивается минимум в течение пяти минут, все сообщения успешно воспринимаются компонентом хранения. В соответствии с этим критерием все сценарии выполнены успешно.

Полнота синтезированных моделей оценивалась исходя из числа своевременно выявленных ошибок в работе наблюдаемых устройств. Наблюдение велось за несколькими тысячами устройств в течение месяца. Данные о числе возникших ошибок различных типов и числе устраненных ошибок приведены в табл. 2.

Таблица 1

Оценка производительности компонентов обработки

Число компонентов обработки	Продолжительность (секунды)	Отправлено сообщений	Интенсивность отправки	Ошибок отправки
1	61174	19552411	300 с/с	0
2	2664	1332270	500 с/с	0
2	1203	962476	800 с/с	0

Таблица 2

Оценка полноты моделей когнитивного мониторинга

Тип ошибки	Устройства, на которых фактически наблюдалась ошибка, ед.	Устройства, на которых наблюдалась ошибка, % от общего числа устройств с неисправностями	Устройства, на которых ошибка выявлена и устранена, ед.
Перезагрузка устройства	25	59,52	25
Ошибка чтения / записи	10	23,81	10
Ошибка работы выделенных каналов	14	33,33	12
Ошибка отсутствия изображения	16	38,10	15

Сравнительный анализ синтезированных процессов и процессов, построенных экспертами, показал, что они оказываются схожими в 80% случаев. В 18% случаев синтезированные процессы выигрывают по объему расходуемых ресурсов. Эти показатели зависят от объема данных, использованных при моделировании объектов мониторинга. Можно ожидать, что с увеличением их объема, в первую очередь, за счет статистических данных, модели объектов и процессов будут совершенствоваться, что позволит повысить приведенные показатели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный аппарат позволяет усовершенствовать мониторинг и последующее управление распределенными объектами за счет реализации когнитивных возможностей, которые ранее на машинном уровне практически не поддерживались. При когнитивном мониторинге выполняется управляемое построение и перестройка моделей наблюдаемых объектов и моделей процессов мониторинга, что достигается за счет машинного синтеза этих моделей, при котором вначале определяются структуры моделей, а затем осуществляется их наполнение. Последнее обеспечивается за счет сбора данных об объектах и контентно адаптивной обработке этих данных. Контентно адаптивная обработка выполняется исходя из содержания поступающих от объектов информационных потоков и условий решения задач мониторинга.

Для формального описания моделей мониторинга разработаны новые иерархические автоматные модели, развивающие существующий аппарат относительно конечных операционных автоматов. Предложенный аппарат обеспечивает возможность реализации иерархических схем, что позволяет в разы сократить сложность синтеза моделей мониторинга. Ранее иерархические модели разрабатывались только для классических автоматов.

Полученные количественные оценки систем когнитивного мониторинга, а также результаты их применения на практике позволили подтвердить эффективность предлагаемого когнитивного мониторинга. Совокупность разработанных решений обеспечивает возможность перехода на новый уровень реализации процессов мониторинга и управления распределенными объектами в предметных областях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Назаров А.В. и др. Современная телеметрия в теории и на практике. – СПб: Наука и техника, 2007. – 627 с.
- Haykin S., Fatemi M., Setoodeh P., Xue Y. Cognitive Control // Proceedings of the IEEE. – 2012. – Vol. 100(12). – P. 3156-3169
- Haykin S., Xue Y., Setoodeh P. Cognitive Radar: Step Toward Bridging the Gap Between Neuroscience and Engineering // Proceedings of the IEEE. – 2012. – Vol. 100(11). – P. 3102-3130.
- Augello A., Infantino I., Pilato G., Vella F. Creativity evaluation in a cognitive architecture // Biologically Inspired Cognitive Architectures. – 2015. – Vol.11. – P. 29-37.
- Lieto A., Cruciani M. Introduction to cognitive artificial systems // Connection Science. – 2015. – Vol. 27(2). – P. 103-104.
- Huang K., Zhang R., Jin X. Hussain A. Special Issue Editorial: Cognitively-Inspired Computing for Knowledge Discovery // Cognitive Computation. – 2018. – Vol.10(1). – P.1-2.
- Kotseruba I., Tsotsos J. Review of 40 Years of Cognitive Architecture Research: Core Cognitive Abilities and Practical Applications // Artificial Intelligence Review. An International Science and Engineering Journal. – 2018. – Vol. 50. – P. 1-78
- Rvachev M. Neuron as a reward-modulated combinatorial switch and a model of learning behavior // Neural Networks. – 2013. – Vol. 46. – P. 62-74.
- Spratling M. A Hierarchical Predictive Coding Model of Object Recognition in Natural Images // Cognitive Computation. – 2017. – Vol. 9(2). – P. 151–167.
- Sun R. The importance of cognitive architectures: an analysis based on CLARION // Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence. – 2007. – Vol. 19(2). – P. 159-193.
- Lemaignan S., Warniera M., Sisbota E., Clodica A., Alamia R. Artificial cognition for social human-robot interaction: An implementation // Artificial Intelligence. – 2017. – Vol. 247. – P. 45-69.
- Lucentini D., Gudwin R. A Comparison Among Cognitive Architectures: A Theoretical Analysis // Procedia Computer Science. – 2015. – Vol. 71. – P. 51-61
- Doell C., Siebert S. Evaluation of Cognitive Architectures Inspired by Cognitive Biases // Procedia Computer Science. – 2016. – Vol. 88. – P. 155-162
- Ichise R. An Analysis of the CHC model for Comparing Cognitive Architectures // Procedia Computer Science. – 2016. – Vol. 88. – P. 239-244.
- Tweeddale J. A review of cognitive decision-making within future mission systems // Procedia Computer Science. – 2014. – Vol. 35. – P. 1043-1052.
- Glodek M., Honold F., Geier T., Krell G., Nothdurft F., Reuter S., Schüssel F., Hörnle T., Dietmayer K., Minker W., Bindo S., Weber M., Palm G., Schwenker F. Fusion paradigms in cognitive technical systems for human-computer interaction // Journal Neurocomputing archive. – 2015. – Vol. 161, Iss. C. – P. 17-37
- Goertzel B., Lian R., Arel I., Garis H., Chen S. World survey of artificial brains, Part II: Biologically inspired cognitive architectures // Journal Neurocomputing archive. – 2010. – Vol. 74, Iss. 1-3. – P. 30-49.
- Madla T., Chena K., Montaldi D., Trapp R. Computational cognitive models of spatial memory in navigation space: A review Neural // Networks. – 2015. – Vol. 65. – P. 18-43.
- Розенберг И. Когнитивное управление транспортом // Государственный Советник – 2015. – №2. – С 47-52.
- Загоруйко Н.Г. Когнитивный анализ данных. Новосибирск : Гео, 2013. – 183 с.
- Wu O., Ding G., Yuhua Xu Y., Feng S., Du Z., Wang J., Long K. Cognitive Internet of Things:

- A New Paradigm Beyond Connection // Internet of Things Journal, IEEE. 2014
22. Sangaiah A., Thangavelu A., Meenakshi Sundaram V. Cognitive Computing for Big Data Systems Over IoT Frameworks, Tools and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. Frameworks, Tools and Applications. – Vol. 14 – Springer International Publishing, 2018. – 375 p.
 23. Фельдбаум А. Теория дуального управления. IV // Автомат. и телемех. – 1961. – Т. 22, Вып. 2. – С. 129-142.
 24. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. – М.: Наука, 2006. – 408 с.
 25. Flach P. Machine Learning: The Art and Science of Algorithms that Make Sense of Data. – Cambridge: University Press, 2012. – 396 p.
 26. Zaki M., Wagner M. Data Mining and Analysis: Fundamental Concepts and Algorithms. – Cambridge: University Press, 2014. – 624 p.
 27. Han J. Data Mining. Concepts and Techniques. – Waltham: Morgan Kaufmann, 2012. – 703 p.
 28. Маслов С. Теория дедуктивных систем и ее применение. – М.: Радио и связь, 1986. – 136 с.
 29. Тыгу Е., Харф М. Алгоритмы структурного синтеза программ // Программирование. – 1980 – Вып. 4 С. 3 – 13.
 30. Искусственный интеллект. Т. 2: Модели и методы. Справочник / под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1990. – с. 304.
 31. Giacomo G., Patrizi F., Sardina S. Automatic behavior composition synthesis // Artificial Intelligence. – 2013. – Vol. 196. – P. 106-42.
 32. Kreitz C. Program Synthesis // Program Synthesis of Automated Deduction – A Basis for Application // Kluwer Publ. - 1998.– Vol. 10. – P. 105-134.
 33. Avellone A., Ferrari M., Miglioli P. Synthesis of Programs in Abstract Data Types. // Logic – Based Program Synthesis and Transformation (LOPSTR) / ed. P. Flener. – Vol. 1559 – 1998. – P. 81-100. – URL.: https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-48958-4_5#citeas.
 34. Robinson J. A machine – oriented logic based on resolution principle // Journal of the ACM. – 1965. – Vol. 12. – P. 23-41.
 35. Осипов В.Ю. Автоматический синтез программ действий интеллектуальных роботов. Программирование. М., Федеральное государственное унитарное предприятие «Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр "Наука"». – 2016 – № 3. – С. 47-54.
 36. Осипов В.Ю. Синтез результативных программ управления информационно-вычислительными ресурсами // Приборы и системы управления. – 1998. – №12. – С. 24-27.
 37. Kant E. On the efficient synthesis of efficient programs // Artificial Intelligence. – 1983. – Vol. 20(3). – P. 253-305.
 38. Bibel W., Korn D., Kreitz C., Kurucz F., Otten J., Schmitt S., Stolpmann G. A Multilevel Approach to Program Synthesis // LOPSTR. – 1998. – P. 1-27.
 39. Fu P., Komendantskaya E. A Type – theoretic Approach to Resolution // LOPSTR. – 2015. – P. 91-106.
 40. Малков А., Першин И. Системы с распределенными параметрами. Анализ и синтез. – М.: Научный мир, 2012. – С. 532.
 41. Osipov V., Lushnov M., Stankova E., Vodyaho A. Inductive Synthesis of the Models of Biological Systems According to Clinical Trials // International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA 2017). Lecture Notes in Computer Science. Vol. 10404. – Berlin: Springer, Cham. – P. 103-115.
 42. Osipov V., Vodyaho A., Zhukova N., Glebovsky P. Multilevel Automatic Synthesis of Behavioral Programs for Smart Devices // International Conference on Control, Artificial Intelligence, Robotics & Optimization (ICCAIRO 2017), IEEE. – 2017. – P. 335–340.
 43. Osipov V.Yu., Zhukova N.A., Vodyaho A.I., Kalmatsky A., Mustafin N.G. Towards Building of Cable TV Content-Sensitive Adaptive Monitoring and Management Systems // International Journal of Computers and Communications. – 2017. – Vol.11. – P. 75-81
 44. Osipov V., Vodyaho A., Zhukova N. About one approach to multilevel behavioral program synthesis for television devices // International journal of computers and communications. – 2017. – № 11. – P. 17-25.
 45. Витол А.Д., Дерипаска А.О., Жукова Н. А., Соколов И.С. Технология адаптивной обработки измерительных данных. – СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. – 200 с.
 46. Водяхо А.И., Жукова Н.А. Архитектурный подход к построению адаптивных интеллектуальных систем анализа многомерных измерений параметров пространственно соотнесенных объектов. – СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. – 228 с.
 47. Васильев А.В., Вайнтрауб А.И., Водяхо А.И., Жукова Н.А., Курапеев Д.И., Лушнов М.С., Смирнов А.В. Когнитивные информационные системы мониторинга. – СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2018. – 204 с.

Материал поступил в редакцию 05.11.18.

Сведения об авторах

ЖУКОВА Наталья Александровна – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории информационно-вычислительных систем и технологий программирования Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН).
e-mail: nazhukova@mail.ru

АНДРИЯНОВА Наталья Романовна – студент Санкт-Петербургского государственного университета, младший научный сотрудник СПИИРАН
e-mail: natasha23062@mail.ru

Д.В. Виноградов

Субмультипликативность и остановка спаривающей цепи Маркова для ВКФ-метода*

Исследуется вариант спаривающей цепи Маркова для ВКФ-метода, где предлагается останавливать излишне длинную траекторию, если число шагов в ней превосходит сумму длин траекторий, вычисленных заранее. Для этого варианта алгоритма доказывается лемма о субмультипликативности. Доказывается теорема о вероятности длины траектории превзойти заданный порог с помощью рассуждения в духе леммы Фекете. Наконец, доказывается, что вероятности результатов обычной и останавливаемой спаривающих цепей Маркова отличаются в метрике тотальной вариации на экспоненциально малую величину от числа учитываемых предварительных траекторий.

Ключевые слова: спаривающая цепь Маркова, остановка траектории, субмультипликативность, лемма Фекете, метрика тотальной вариации

ВВЕДЕНИЕ

Вероятностно-комбинаторный* подход к машинному обучению, основанному на бинарной операции схождения, был нами предложен в работе [1]. Многие технические факты о решетке сходов взяты из анализа формальных понятий [2], поэтому этот подход называется вероятностно-комбинаторным формальным методом, сокращенно ВКФ-методом.

Ключевой процедурой ВКФ-метода является вероятностный алгоритм нахождения сходов с помощью спаривающей цепи Маркова [3]. Нами показано, что это – действительно цепь Маркова, которая останавливается с вероятностью единица. Конечность траекторий доказывается как следствие классической теоремы о невозвратных состояниях счетной цепи Маркова [4]. В одном важном частном случае (Булева алгебра всех подмножеств) нами [5] была получена точная формула для средней длины траекторий (порядка) и доказана теорема о сильной концентрации длин траекторий около своего среднего. Однако хорошей (полиномиальной) оценки на среднюю длину траекторий в общем случае получить пока не удалось.

Как показывает случай Булевой алгебры, хотя подавляющее число траекторий имеет полиномиальную длину, не исключена возможность, что малое число траекторий может иметь экспоненциальную длину. Тогда можно предложить использовать r предварительных прогонов цепи Маркова для получения верхней границы на момент остановки (как суммы длин этих предварительно вычисленных траекторий). Если текущая траектория не завершается до этой границы, то текущие вычисления прекращаются, а цепь Маркова запускается заново. При такой моди-

фикации изменяются вероятности появления результатов (итоговых сходов).

В настоящей работе будет получена хорошая оценка, показывающая, что при выборе достаточно большого числа предварительных прогонов, изменение вероятностей может быть сделано сколь угодно малым, а в качестве технического средства будет предварительно установлен закон субмультипликативности и доказан некоторый вариант леммы Фекете (см., например, [6]).

СПАРИВАЮЩАЯ ЦЕПЬ МАРКОВА И СУБМУЛЬТИПЛИКАТИВНОСТЬ

Фундаментальная теорема анализа формальных понятий [2] утверждает, что любую (нижнюю полу) решетку сходов можно изоморфно заменить (полу)решеткой битовых строк с операцией побитового умножения в качестве схождения. Алгоритм кодирования объектов битовыми строками для формирования минимального (формального) контекста [2], порождающий изоморфную решетку на битовых строках, был предложен в статье [7].

Контекст – это бинарное отношение между элементами множества O , которые мы называем *объектами*, и элементами множества F , которые мы называем *признаками*. Если в строке, соответствующей объекту $o \in O$, и столбце, соответствующим фрагменту $f \in F$, стоит единица, то мы говорим, что *объект o обладает признаком f* , и обозначаем это через oIf . В противном случае, говорим, что *объект o не имеет признака f* .

Для подмножества объектов его *сходством* называется подмножество $A' = \{f \in F : \forall o \in A[olf]\} \subseteq F$.

Договорились, что $\emptyset' = F$.

* Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 18-29-03063мк

На самом деле, это определение совпадает с последовательным вычислением побитового умножения строк, соответствующих отобранному во множество A объектов.

Для подмножества $B \subseteq F$ признаков его *сходством* называется подмножество

$$B' = \{o \in O : \forall f \in B [olf]\} \subseteq O.$$

Условились считать, что $\emptyset' = O$.

Определение 1. Пару $\langle A, B \rangle$ назовем *кандидатом*, если $A = B' \subseteq O$ и $B = A' \subseteq F$.

Определение 2. Операция *закрывай-по-одному-вниз* на кандидате $\langle A, B \rangle$ и объекте $o \in O$ порождает пару

$$CbODown(\langle A, B \rangle, o) = \langle (A \cup \{o\})'', (A \cup \{o\})' \rangle.$$

Операция *закрывай-по-одному-вверх* на кандидате $\langle A, B \rangle$ и признаке $f \in F$ порождает пару

$$CbOUp(\langle A, B \rangle, f) = \langle (B \cup \{f\})', (B \cup \{f\})'' \rangle.$$

Основным объектом изучения в настоящей работе будет следующий алгоритм:

Data: множество обучающих (+)-примеров; внешние функции $CbOUp(,)$ и $CbODown(,)$ операций «закрывай-по-одному»

Result: кандидат $\langle A, B \rangle$

$O :=$ (+)-примеры, $F :=$ признаки; $I \subseteq O \times F$ – формальный контекст для (+)-примеров;

$R := O \cup F$; $Min := \langle O, O' \rangle$; $Max := \langle F', F \rangle$;

while ($Min \neq Max$) **do**

 Выбираем случайный элемент $r \in R$;

if ($r \in O$) **then**

$Min := CbODown(Min, r)$;

$Max := CbODown(Max, r)$;

end

else

$Min := CbOUp(Min, r)$;

$Max := CbOUp(Max, r)$;

end

end

Алгоритм 1: Спаривающая цепь Маркова

Определение 3. *Порядок* на кандидатах зададим правилом $\langle A_1, B_1 \rangle \leq \langle A_2, B_2 \rangle$, если $B_1 \subseteq B_2$. В анализе формальных понятий [2] определение порядка задается двойственным образом. Наше определение соответствует традиции отечественной школы.

Заметим, что состоянием изменяемых переменных в цикле Алгоритма 1 (= состоянием спаривающей цепи Маркова) является упорядоченная пара кандидатов $\langle A_1, B_1 \rangle \leq \langle A_2, B_2 \rangle$.

Первоначально меньший кандидат совпадает с наименьшим кандидатом $Min := \langle O, O' \rangle$, а больший – с наибольшим $Max := \langle F', F \rangle$.

В цикле Алгоритма 1 к обоим кандидатам применяется одна и та же операция $CbODown$ с выбранным объектом, или операция $CbOUp$ с выбранным признаком.

Процесс останавливается, когда меньший кандидат совпадет (склеится) с большим. Тогда этот общий кандидат и выдается Алгоритмом 1 в качестве результата.

Для дальнейших доказательств полезна легко проверяемая

Лемма 1. Для упорядоченной пары кандидатов $\langle A_1, B_1 \rangle \leq \langle A_2, B_2 \rangle$ и любого объекта $o \in O$ имеем $CbODown(\langle A_1, B_1 \rangle, o) \leq CbODown(\langle A_2, B_2 \rangle, o)$.

Для упорядоченной пары кандидатов

$$\langle A_1, B_1 \rangle \leq \langle A_2, B_2 \rangle$$

и любого признака $f \in F$ выполнено

$$CbOUp(\langle A_1, B_1 \rangle, f) \leq CbOUp(\langle A_2, B_2 \rangle, f).$$

В работе [1] с помощью Леммы 1 была доказана

Теорема 1. Алгоритм 1 соответствует цепи Маркова.

Определение 4. Состояние вида $\langle A_1, B_1 \rangle < \langle A_2, B_2 \rangle$ называется *невозвратным*.

Классической теоремой о счетных цепях Маркова (см., например, [4]) является

Теорема 2. Вероятность того, что состояние $\langle A_1(t), B_1(t) \rangle \leq \langle A_2(t), B_2(t) \rangle$ спаривающей цепи Маркова в момент времени t окажется невозвратным, стремится к нулю, когда $t \rightarrow \infty$.

Отсюда следует, что Алгоритм 1 будет останавливаться с вероятностью 1.

Определение 5. Первый шаг T спаривающей цепи Маркова, когда $\langle A_1(T), B_1(T) \rangle = \langle A_2(T), B_2(T) \rangle$ называется *моментом склеивания*.

Установим субмультипликативность $\mathbf{P}[T > t]$.

Лемма 2. Для любых натуральных t и s выполнено $\mathbf{P}[T > t + s] \leq \mathbf{P}[T > t] \cdot \mathbf{P}[T > s]$.

Доказательство следует из формулы условной вероятности, так как если $[T > s]$, то

$$\langle A_1(s), B_1(s) \rangle < \langle A_2(s), B_2(s) \rangle$$

Поэтому, применяя ко всем четырем ВКФ-кандидатам

$$\langle A_3(\tau), B_3(\tau) \rangle \leq \langle A_1(\tau + s), B_1(\tau + s) \rangle <$$

$$< \langle A_2(\tau + s), B_2(\tau + s) \rangle \leq \langle A_4(\tau), B_4(\tau) \rangle$$

одинаковые операции $CbODown$ и $CbOUp$, где

$$\langle A_3(0), B_3(0) \rangle := \langle O, O' \rangle \text{ и } \langle A_4(0), B_4(0) \rangle := \langle F', F \rangle,$$

имеем по Лемме 1, что если

$$\langle A_1(\tau + s), B_1(\tau + s) \rangle < \langle A_2(\tau + s), B_2(\tau + s) \rangle,$$

т.е. исходная пара склеивается позднее момента $t + s$, то и $\langle A_3(t), B_3(t) \rangle < \langle A_4(t), B_4(t) \rangle$, т.е. склеивание совершается позднее момента t . Это и означает, что $\mathbf{P}(T > t + s | T > s) \leq \mathbf{P}[T > t]$.

Теперь мы применим полученную субмультипликативность для асимптотической оценки вероятности того, что длина траектории превзойдет заданный порог.

Теорема 3. Найдется такое число

$$-\infty \leq \gamma < 0,$$

чтобы $\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\ln \mathbf{P}[T > t]}{t} = \gamma$.

Доказательство. Положим

$$\inf_{t \rightarrow \infty} \frac{\ln \mathbf{P}[T > t]}{t} = \gamma \leq 0.$$

Случай $\gamma = 0$ невозможен, так как иначе для любого t будет $\mathbf{P}[T > t] \geq 1$, что противоречит Теореме 2 из-за известного равенства $\mathbf{E}[T] = \sum_{t=0}^{\infty} \mathbf{P}[T > t]$ для целочисленной случайной величины. Теперь рассмотрим случай $\gamma > -\infty$. Для любого t выполняется $\ln \mathbf{P}[T > t] \geq \gamma \cdot t$ и для любого $\varepsilon > 0$ найдется такое s , что $\ln \mathbf{P}[T > t] \leq (\gamma + \varepsilon) \cdot s$. Деля t с остатком на s , получаем $t = q \cdot s + r$, где $0 \leq r < s$. По Определению 5, $\mathbf{P}[T > q \cdot s] \geq \mathbf{P}[T > t = q \cdot s + r]$ откуда по Лемме 2 следует, что

$$\gamma + \varepsilon = \lim_{q \rightarrow \infty} \frac{(\gamma + \varepsilon) \cdot q \cdot s}{q \cdot s + r} \geq \limsup_{t \rightarrow \infty} \frac{\ln \mathbf{P}[T > t]}{t} \geq \gamma.$$

Из-за произвольности $\varepsilon > 0$ доказательство для случая $\gamma > -\infty$ закончено. Наконец, рассмотрим случай $\gamma = -\infty$. Тогда для любого $\delta < 0$ найдется такое s , что $\ln \mathbf{P}[T > s] \leq \delta \cdot s$. Деля t с остатком на s , получаем $t = q \cdot s + r$, где $0 \leq r < s$. По Определению 5 $\mathbf{P}[T > q \cdot s] \geq \mathbf{P}[T > t = q \cdot s + r]$, откуда по Лемме 2 следует, что

$$0 > \delta = \lim_{q \rightarrow \infty} \frac{\delta \cdot q \cdot s}{q \cdot s + r} \geq \limsup_{t \rightarrow \infty} \frac{\ln \mathbf{P}[T > t]}{t}.$$

Из-за произвольности $\delta < 0$ доказательство для случая $\gamma = -\infty$ закончено.

ОСТАНОВЛЕННАЯ ЦЕПЬ МАРКОВА

Так как спаривающая цепь Маркова может иметь траектории существенно разной длины, то возможно применение следующей техники остановки длинной траектории и запуска цепи заново:

Определение 6. Если T_1, \dots, T_r – независимые целочисленные случайные величины, имеющие распределение времени T склеивания, то **верхняя граница склеивания** по r предварительным прогонам определяется как $\hat{T} = T_1 + \dots + T_r$.

На практике предлагается сделать r прогонов спаривающей цепи Маркова с соответствующими временами склеивания t_1, \dots, t_r и взять оценку $t_1 + \dots + t_r$ верхней границы склеивания.

Определение 7. Для целочисленной случайной величины \hat{T} , независимой от целочисленной случайной

величины T , **условное распределение** состояний относительно события $B = \{T \leq \hat{T}\}$ есть распределение

$$\mu(\hat{T})_i = \frac{\mathbf{P}[X_T = i, T \leq \hat{T}]}{\mathbf{P}[T \leq \hat{T}]}$$

для любого состояния i .

Определение 8. Расстояние **тотальной вариации** между распределениями вероятностей $\mu = (\mu_i)_{i \in U}$ и $\nu = (\nu_i)_{i \in U}$ на конечном пространстве U определяется правилом

$$\|\mu - \nu\|_{TV} = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i \in U} |\mu_i - \nu_i|.$$

Это расстояние является половиной метрики l_1 , следовательно, само является метрикой (в частности, симметрично).

Следующая лемма является технической.

Лемма 3. $\|\mu - \mu(\hat{T})\|_{TV} \leq \frac{\mathbf{P}[T > \hat{T}]}{1 - \mathbf{P}[T > \hat{T}]}$,

где $\mu(\hat{T})$ – распределение остановленной на верхней границе \hat{T} склеивания по $r < 1$ испытаниям, а μ – распределение выдачи неостановленной цепи.

Доказательство. По определению 8

$$\mu(\hat{T})_i = \frac{\mathbf{P}[X_T = i, T \leq \hat{T}]}{\mathbf{P}[T \leq \hat{T}]}$$

Тогда

$$\begin{aligned} \mathbf{P}[T \leq \hat{T}] \cdot (\mu(\hat{T})_i - \mu_i) &= \mathbf{P}[X_T = i, T \leq \hat{T}] - \mathbf{P}[T \leq \hat{T}] \cdot \mu_i = \\ \mathbf{P}[T > \hat{T}] \cdot \mu_i - \mathbf{P}[X_T = i, T > \hat{T}] &\leq \mathbf{P}[T > \hat{T}] \cdot \mu_i. \end{aligned}$$

Суммируя по множеству $R = \{i \in U | \mu_i > \mu(\hat{T})_i\}$, получим

$$\mathbf{P}[T \leq \hat{T}] \cdot \|\mu - \mu(\hat{T})\|_{TV} \leq \mathbf{P}[T > \hat{T}],$$

что и приводит к утверждению леммы.

Теперь докажем основной результат.

Теорема 4. Имеет место неравенство

$$\|\mu - \mu(\hat{T})\|_{TV} \leq \frac{1}{2^r - 1},$$

где $\mu(\hat{T})$ – распределение остановленной на верхней границе \hat{T} склеивания по $r < 1$ испытаниям, а μ – распределение выдачи неостановленной цепи.

Доказательство. Докажем сначала, что

$$\mathbf{P}[T > \hat{T}] \leq 2^{-r}.$$

Из определения T, T_1, \dots, T_r как независимых одинаково распределенных случайных величин, следует, что $\mathbf{P}[T > T_j] \leq \frac{1}{2}$ для всех $1 \leq j \leq r$. С помощью Леммы 2 доказывается неравенство

$$\mathbf{P}\left[T > \sum_{j=1}^r T_j\right] \leq \mathbf{P}\left[T > \sum_{j=1}^{r-1} T_j\right] \cdot \mathbf{P}[T > T_r] \leq \dots \leq \prod_{j=1}^r \mathbf{P}[T > T_j] \leq 2^{-r}$$

По Лемме 3 имеем

$$\|\mu - \mu(\hat{T})\|_{TV} \leq \frac{\mathbf{P}[T > \hat{T}]}{1 - \mathbf{P}[T > \hat{T}]} = \frac{2^{-r}}{1 - 2^{-r}} = \frac{1}{2^r - 1}.$$

Известна классическая и доказываемая прямо из Определения 8

Лемма 4. *Выполняется равенство*

$$\|\mu - \nu\|_{TV} = \max_{R \subseteq U} |\mu(R) - \nu(R)|.$$

В Лемме 4 подмножество R , на котором достигается максимум, определяется так: $R = \{i \in U \mid \mu_i > \nu_i\}$.

Соединяя результаты Леммы 4 и Теоремы 4, получим **Следствие 1.** *Для любого подмножества состояний R с $\mu(R) = \rho$, если взять число предвари-*

тельных запусков равным $r > \log_2\left(1 - \frac{1}{\rho}\right)$, то имеем

$\mu(\hat{T})(R) \geq \rho - \frac{1}{2^r - 1}$ для цепи Маркова, остановленной

по верхней границе \hat{T} склеивания по r испытаниям.

Доказательство.

$$\begin{aligned} \rho - \frac{1}{2^r - 1} &\leq \mu(R) - \|\mu - \mu(\hat{T})\|_{TV} = \\ &= \mu(R) - \max_{Q \subseteq U} |\mu(Q) - \mu(\hat{T})(Q)| \leq \\ &\leq \mu(R) - |\mu(R) - \mu(\hat{T})(R)| \leq \mu(\hat{T})(R). \end{aligned}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нами был исследован один механизм ускорения вычисления сходств в ВКФ-методе с использованием спаривающей цепи Маркова. Предлагается использовать предварительно вычисленные траектории цепи Маркова для получения верхней границы на момент остановки (как суммы длин этих траекторий). Если текущая траектория не завершается до этой границы, то текущие вычисления прекращаются, а цепь Маркова запускается заново.

В настоящей работе получена хорошая оценка, показывающая, что при выборе достаточно большого числа предварительных прогонов (неостановленной) спаривающей цепи Маркова, изменение вероятностей выдач результатов остановленной цепью Маркова относительно стандартной спаривающей цепи Маркова может быть сделано экспоненциально малым.

Предварительно был установлен закон субмультипликативности для вероятностей превышения порога длиной траектории спаривающей цепи Маркова и с его помощью доказана теорема о вероятности для длины траектории превзойти заданный порог.

* * *

Автор благодарит своих коллег в ФИЦ ИУ РАН и РГГУ за поддержку и полезные дискуссии. Особая благодарность выражается студентам отделения интеллектуальных систем РГГУ, которые выступали первыми слушателями и критиками описываемого подхода (в рамках курса «Интеллектуальный анализ данных и машинное обучение»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vinogradov D.V. VKF-method of hypotheses generation // Communications in Computer and Information Science. – 2014. – Vol. 436. – P. 237-248
2. Ganter B., Wille R. Formal Concept Analysis. Transl. from German. – Berlin: Springer-Verlag, 1999. – 284 p.
3. Виноградов Д.В. Вероятностное порождения гипотез в ДСМ-методе с помощью простейших цепей Маркова // Научная и техническая информация. Сер. 2. – 2012. – № 9. – С. 20–27; Vinogradov D.V. Random Generation of Hypotheses in the JSM Method using Simple Markov Chains // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2012. – Vol. 46, № 5. – P. 221-228.
4. Кемени Дж., Снелл Дж., Кнэпп А. Счетные цепи Маркова / пер. с англ. – М.: Наука, 1987. – 416 с.
5. Виноградов Д.В. Анализ результатов применения ВКФ-системы: успехи и открытая проблема // Научная и техническая информация. Сер. 2. – 2017. – № 5. – С. 1-4; Vinogradov D.V. Analysis of the Results of Application of the VKF System: Successes and an Open Problem // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2017. – Vol. 51, № 3. – P. 108-111.
6. Steel J. Michael. Probability Theory and Combinatorial Optimization, CBMS-NSF regional conference series in applied mathematics. Vol. 69 – Philadelphia (PA): SIAM, 1998. – 159 p.
7. Виноградов Д.В. О представлении объектов битовыми строками для ВКФ-метода // Научная и техническая информация. Сер. 2. – 2018. – № 5. – С. 1-4; Vinogradov D.V. On Object Representation by Bit Strings for the VKF-Method // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2018. – Vol. 52, № 3. – P. 113-116.

Материал поступил в редакцию 10.08.18

Сведения об авторе

ВИНОГРАДОВ Дмитрий Вячеславович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН и доцент Российского Государственного Гуманитарного Университета, Москва e-mail: vinogradov.d.w@gmail.com

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ТЕКСТА

УДК 001.102:81'25'322.4

В.И. Хайруллин

Перевод и локализация: о переводческой компрессии и расширении информации

Рассматривается проблема полноты передачи информации при переводе, при этом последний понимается как вид коммуникативной деятельности по транспортированию однозначных вербальных сообщений из одной культуры (и языка) в другую культуру (и язык). Основное внимание уделено переводческим трансформациям компрессии, или сужения, и расширения информации. Отстаивается точка зрения на правомерность термина «перевод с элементами локализации». Источником анализа служат аутентичные тексты научно-технической и деловой литературы.

Ключевые слова: информация, перевод, признак, культура, компрессия, импликация, расширение, генерализация, локализация

Проблема информационного обеспечения и сопровождения как новый виток в парадигме информационной деятельности представляет значительный научный интерес и привлекает внимание специалистов [1, 2] своей актуальностью и значимостью. В настоящей статье рассмотрим, насколько полно может передаваться информация при транспортировании её с одного языка на другой, в частности посредством перевода.

В основе нашего исследования лежит понимание перевода как вида коммуникативной деятельности по передаче однозначных вербальных сообщений из одной культуры в другую, следуя стадиям: отправитель сообщения/информации > сообщение на исходном языке > переводческие действия > сообщение на языке перевода [3, с. 31]. На целевом языке сообщение воспринимается реципиентом перевода либо как тождественное исходному, либо как аутентичное, иными словами – как непосредственно сообщение на целевом языке, а не как перевод.

Существуют различные точки зрения на то, какими должны быть стиль и норма переводного сообщения. Некоторые специалисты, например, Г. Тури [4, с. 125-126], полагают, что перевод должен читаться как перевод, т. е. в нем могут и должны сохраняться «следы» исходного языка.

Сторонники противоположной точки зрения, причем их большинство [4], склоняются к тому, что текст перевода должен читаться не как перевод, а как оригинальный текст.

Стремление придать информационному сообщению звучание и стилистику целевого языка и культу-

ры может привести к использованию ряда переводческих трансформаций, или преобразований сообщения исходного языка в сообщение переводящего/целевого языка. В результате таких трансформаций может быть достигнута адекватность, позволяющая в большей или меньшей степени воспринимать переводный текст в качестве аутентичного.

Интересный информационно-аналитический материал мы получаем при сопоставлении переводов текстов, относящихся к области деловой научно-технической литературы. Например, довольно часты примеры использования англокультурной метафоры, которая для русскокультурного реципиента оказывается абсолютно неприемлемой и по этой причине теряется при переводе текста и замещается описательным переводом:

For Western ad agencies, this is all “old hat”.

Для западных рекламных агентств это *далеко не новость* [5].

(Обратите внимание на *old hat* [буквально: «старая шляпа»] английского сообщения и *далеко не новость* русскоязычного сообщения. Хотя это далеко не прямое соответствие, перевод признается адекватным, т. е. обеспечивающим прагматические задачи на максимальном уровне [6, с. 246] и не допускающим нарушений норм, узуса и культурных ассоциаций целевого языка.)

Информационные потери при переводе неизбежны, и ни один перевод, очевидно, не может быть совершенным, поскольку человеческий фактор в данном случае играет ведущую роль, в результате чего

мы имеем самые различные варианты перевода – одним словом, сколько переводчиков, столько и вариантов. Однако теория перевода не должна диктовать условия выполнения перевода, поскольку она носит не прескриптивный, предписывающий, а дескриптивный, описательный характер – мы работаем с тем, что есть, с тем, что нам предоставляет практика перевода.

Практика нередко предоставляет образцы компрессии, или импликации – вида переводческой трансформации, при котором наблюдается отказ от передачи лексических единиц, которые представляются переводчику избыточными и нерелевантными, хотя с позиций другого специалиста они значимы и их потеря не представляется оправданной, как в следующем примере, где полнозначные и весомые понятия *oil, gas, minerals, lumber* (нефть, газ, минералы, лес) в переводе заменены одним общим термином с оттенком негативной коннотации «даровое сырье»:

Rule of law, taming of bureaucracy and the elimination of corruption are the key to making Russia more than just a source of oil, gas, minerals and lumber.

Верховенство закона, «укрошение» бюрократии и уничтожение коррупции – ключ к тому, чтобы превратить Россию в нечто большее, чем источник *дарового сырья* [5].

Переводческая компрессия информации – частотный вид трансформации, причем компрессионная «сжатость» нередко касается большей части признаков, указываемых в сообщении исходного языка, что хорошо представлено в следующем примере:

And one of the buzz words that is being used quite liberally these days is 'innovation'.

Сейчас в моде слово «инновация» [5].

Если существует прием компрессии, то логично предположить, что имеет место противоположный ему прием, а именно переводческое «расширение» информации, т.е. субституция признаков с узким значением в исходном языке признаками, наделенными более широким значением, в переводящем языке. Разновидностью данной трансформации является указание в языке перевода большего числа признаков ситуации по сравнению с их числом в сообщении исходного языка:

This is true also of publishing.

В не меньшей степени подобная характеристика важна для издательского дела [5].

(Обратите внимание на признаки «степень», «подобная», «характеристика», «важна», «дело», являющиеся дополнительными по отношению к признакам исходного высказывания, с одной стороны, и значительно расширяющими передаваемую информацию, – с другой. Кроме того, информационно значимым представляется переводческое преобразование безусловно утвердительного сообщения на английском языке в сообщение на русском языке с отрицательным компонентом «не меньшей», что с теоретических позиций характеризуется как антонимический перевод [6, с. 246].)

В последнее время значительное распространение получил термин «локализация», в основе которого лежит такое понимание перевода, при котором исходный текст адаптируется для понимания его носителями локальных языков и представителями локальных культур [7]. Центральная идея этой концепции в том, что существует некий «глобальный» исходный текст, передаваемый в различные локальные языки, которые придают ему свои характерные локальные нормы [8, с. 25-55].

Для иллюстрации приведем следующий пример.

Предположим, что исходным информационным сообщением является текст на русском языке:

Чтобы быть в хорошей физической форме, необходимо ежедневно проходить пешком 50 километров и в качестве физических упражнений поднимать по 25 раз обеими руками тяжести весом 4,5 килограмма каждая.

Локализованный текст, рассчитанный на американского реципиента, выглядит следующим образом:

In order to keep fit you must walk 35 miles per day and lift two hand weights of 10 pounds 25 times (пример [3, с. 43]).

Обращает на себя внимание, во-первых, информационная компрессия переводного сообщения, т.е. указание меньшего числа признаков, и во-вторых, использование таких признаков локальной американской культуры, как *miles* (мили) и *pounds* (фунты) вместо «километров» и «килограммов» исходного сообщения.

В подобных ситуациях мы можем согласиться с тем, что имеем дело с случаями локализации инокультурных признаков (ср. [9]), что позволяет реципиенту воспринимать сообщение, встраивая его в матрицу понятий своей культуры.

Напротив, едва ли можно согласиться с точкой зрения тех специалистов, которые полагают, что любой научно-технический перевод, в частности, перевод информационного сообщения с языка транснациональных корпораций на языки локальных культур, следует именовать термином «локализация» [10, с. 156], а термин «собственно перевод» использовать лишь по отношению к литературному переводу.

При узком подходе к понятию «локализация» последняя подразумевает преобразование информационно-вербального продукта с использованием лингвистических и культурных средств в продукт, соответствующий нормам целевой локальности (*locale*), где он будет продаваться и использоваться. При локализации значительно большее внимание уделяется инструментарию и технологиям переводческого процесса, чем в традиционной индустрии перевода.

Следует отметить, что существует и более широкое понимание локализации, при котором перевод признается лишь одним из видов деятельности в рамках локализации, которая кроме перевода включает многие другие задачи, например проектный менеджмент, разработка компьютерных программ, тестирование, распечатка материалов [8, с. 3-4].

На наш взгляд, отказ от термина «перевод» в отношении действий по преобразованию научно-технического информационного сообщения исходного языка в сообщение целевого языка не представляется оправданным и целесообразным поскольку это, в частности, должно вести к трансформации всех или многих классических понятий теории перевода. Невозможно использовать термин «локализация» как «зонтичный» термин (*umbrella term*), охватывающий своими границами научно-технический перевод как таковой, при этом сохраняя понятия и термины, давно устоявшиеся и непоколебимые. Термин «локализация» удобен при описании переводческих трансформаций, касающихся преобразования понятий исходной культуры.

Мы можем говорить о локализации в случаях переводческих потерь части информации, представленной признаками, характерными для исходной культуры и не имеющими прямых соответствий в целевой. Приведем в связи с этим пример информационной компрессии в результате переводческой замены целой ситуации *companies that had set up shop* одним более общим признаком «обосновавшихся»:

The property of foreign companies that had set up shop in the USSR was confiscated by Stalin.

Сталин конфисковал собственность иностранных компаний, *обосновавшихся* в СССР [5].

Объяснением компрессии служит использование признака *shop*, в данном случае выступающего как ярко выраженный англокультурный и обозначающего (в приблизительном переводе) «дело», «предприятие». Именно в этом значении он используется в ряде устойчивых выражений, таких как *talk shop, shut up shop, all over the shop* [11, с. 12054] / «говорить о деле», «закрывать дело / предприятие», «по всему предприятию / во всем бизнесе».

Элементы локализации обнаруживаются также в случаях переводческого расширения информации, когда в переводящем языке используются дополнительные детали, которые в исходном сообщении не выражены, а только подразумеваются, тогда как в переводном сообщении они оказываются представленными эксплицитно:

The temperature was down to fifty degrees.

Температура упала до пятидесяти *по Фаренгейту*.

Признак *по Фаренгейту* в русском сообщении представлен явно, но в импликации – это признак *градусы*, который легко восстанавливается из контекстных признаков – *пятьдесят по Фаренгейту*.

Такие примеры однозначно относятся к категории локализационных, поскольку они представляют детали, способствующие адекватному представлению описываемой ситуации и адекватному восприятию сообщения реципиентом – представителем иной культуры, нежели та, на языке которой написано исходное сообщение. Признаки типа *по Фаренгейту* — это своего рода культурные «вехи», маркеры, которые необходимы для представителя той культуры, которую *B. Esselink* называет термином *locale*. Они помо-

гают произвести необходимое соотнесение культурных маркеров с маркерами своей культуры и идентифицировать культуру, на языке которой выполнено исходное сообщение, при этом язык сообщения должен отвечать одному из фундаментальных требований, а именно – эксплицитности [12, с. 36], позволяющей наиболее полно воспринимать информационный месседж сообщения. Это ни в коей мере не умаляет переводческой значимости имплицитности, которая также способствует адекватности восприятия информации, как бы скрывая некоторые из признаков или объединяя их в более общие. Эксплицитность, расширение информации и имплицитность, ее компрессия – это диалектическое единство двух соотнесенных понятий. Когда мы говорим о расширении, то это с очевидностью предполагает наличие противоположного приема – компрессии. Оба эти приема служат одной цели – адаптировать сообщение для адекватного его восприятия реципиентом перевода.

Нам представляется, что едва ли возможно относиться к переводу только как к «локализации». Перевод, будь то научно-технический или иной вид перевода, например, перевод деловой литературы, – это все тот же перевод как вид языкового посредничества. Полноценный перевод не может быть описан исключительно термином «локализация». Бесспорно, что элементы локализации мы обнаруживаем при анализе различных видов и продуктов переводческой деятельности. Однако это именно элементы, расширяющие или сужающие информацию исходного сообщения с тем, чтобы сделать это сообщение адекватно воспринимаемым целевым реципиентом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаврик О.Л., Шевченко Л.Б. Информационное сопровождение как новый этап развития информационной деятельности // Научно-техническая информация. Сер. 1. – 2006. – № 9. – С. 19-22.
2. Белоногов Г.Г., Гиляревский Р.С., Хорошилов А.А. О природе информации // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2009. – № 1. – С. 1-7. Belonogov G.G., Gilyarevskii R.S., Khoroshilov A.A. On the Nature of Information // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2009. – Vol. 43, № 1. – P. 1-6.
3. Dollerup C. Translation in the Global / Local Tension // Translation, Globalisation and Localisation: A Chinese Perspective / eds. Wang Ning, Sun Yifeng. – Clevedon, Buffalo, Toronto: Multilingual Matters, 2008. – P. 31-49.
4. Комиссаров В.Н. Общая теория перевода: Проблемы переводоведения в освещении зарубежных ученых. – М.: ЧеРо, 1999. – 136 с.
5. Oil and Gas Eurasia. – 2008. – № 8. – 72 p.
6. Комиссаров В.Н. Теория перевода (лингвистические аспекты). – М.: Высшая школа, 1990. – 253 с.

7. Mogensen E. Controlled Language // Perspectives: Studies in Translatology. – 2004. – Vol. 12, № 4. – P. 243-255.
8. Esselink B. A Practical Guide to Localization. – Amsterdam and Philadelphia: John Benjamins, 2000. – 485 p.
9. Федосеева Л.Н. Национально и культурно обусловленная детерминированность локативной семантики в языковых картинах мира // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2012. – №10. – С. 27-30.
10. The Metalanguage of Translation / eds. Y. Gambier, L. van Doorslaer. – Amsterdam and Philadelphia: John Benjamins, 2009. – 192 p.
11. The Concise Oxford Dictionary. – Oxford: Oxford University Press, 1978. – 1368 p.
12. Хайруллин В.И. Информационное пространство книги как источник знания // Научно-техническая информация. Сер. 1. – 2018. – № 11. – С. 35-36.

Материал поступил в редакцию 07.12.18.

Сведения об авторе

ХАЙРУЛЛИН Владимир Иксанович – доктор филологических наук, профессор, профессор кафедры международного права и международных отношений, директор центра дополнительного образования института права Башкирского государственного университета, г. Уфа.
e-mail: vladimir-blt@mail.ru

Фильтры текстов, отличающихся по смыслу от интересов пользователя

Рассмотрена задача парирования прерываний деятельности специалиста в связи с поступлением незапланированной текстовой информации. Осуществлен выход на прототипы для создания фильтра текстов по семантической схожести с интересами субъекта при отсутствии их текстового представления.

Ключевые слова: *фильтр по образцу, экстракция информации, сопоставление информации, отсеечение информации, сопоставление смыслов, рубрика, термин, семантическая связь, математический аппарат*

Возможна ситуация, когда специалист, занимающийся определенной деятельностью, вынужден прерывать её в связи с поступлением сообщений, с ней не связанных. Например, поступление информации нормативно-правового содержания к главврачу больницы отрывает его от основной (т.е. медицинской) работы. Эта проблема обуславливает необходимость постановки и решения задачи парирования прерывания деятельности специалиста. В качестве компьютерных помощников, обеспечивающих такое парирование, могут быть использованы фильтры текстов по семантической схожести с интересами субъекта.

Имеющиеся на сегодняшний день фильтры по семантической схожести с образцом [1, 2] предполагают возможность его естественно-языкового представления (в виде текста – эталона или запроса). Формирование текстового представления интересов субъекта в принципе возможно, но требует существенного прерывания его основной деятельности.

В настоящей статье рассмотрен вопрос о выходе на прототипы для создания фильтра текстов по семантической схожести с интересами субъекта при отсутствии их текстового представления.

ОБЩАЯ ИДЕЯ ФИЛЬТРА ПО ОБРАЗЦУ

В соответствии с [3] всякий фильтр по образцу независимо от природы, как самого фильтра, так и фильтруемого материала (она может быть не только семантической, но физической, химической и т.п.) обеспечивает экстракцию информации из образца и фильтруемого материала с последующим ее сопоставлением и отсечением фильтруемого материала при необходимости. Возможные математические представления экстрагированной информации – это векторы [4], графы [5], включая структурные химические формулы как пример информационных графов [6], и т.п. При этом используют тот или иной математический аппарат сопоставления. Например, векторы, принадлежащие конечномерному евклидову

пространству, могут быть сопоставлены по формуле косинуса угла между ними [4]:

$$C(v_1, v_2) = \frac{(v_1, v_2)}{\|v_1\| \cdot \|v_2\|} = \frac{\sum_i v_{1i} v_{2i}}{\sqrt{\sum_i v_{1i}^2 \sum_i v_{2i}^2}}, \quad (1)$$

где v_1 и v_2 – сопоставляемые векторы, v_{1i} и v_{2i} – их элементы, $C(v_1, v_2)$ – количественная характеристика сходства сопоставляемых векторов, (v_1, v_2) – их скалярное произведение, $\|v_i\|$ – евклидова норма вектора v_i (при $1 \leq i \leq 2$).

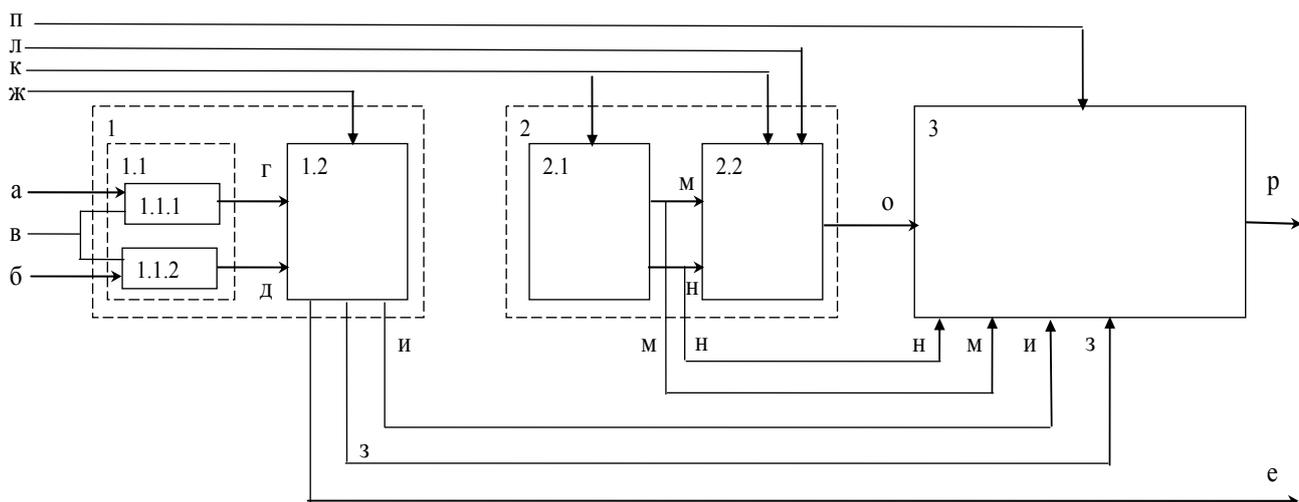
В составе фильтра по образцу естественным образом должны присутствовать экстракторы информации (не исключая вариант единого экстрактора) и блок сопоставления. Алгоритм, исполняемый фильтром, и внутренняя структура экстракторов существенно зависят от природы образца и сопоставляемого материала.

Для указания структур информационных экстракторов в составе фильтра текстов по семантической схожести с интересами субъекта и исполняемого алгоритма требуется выбрать конкретный метод сопоставления смыслов. Нами, в качестве наилучшего, был выбран предложенный в работах [7, 8] метод, требующий сопоставления по рубрикам, терминам и семантическим связям.

Структура фильтра и исполняемый им алгоритм при использовании выбранного метода сопоставления

Возможная структура фильтра и его составляющих при использовании метода сопоставления (см. [7, 8]) показана на рисунке.

Формирование ранжированных (с количественными оценками) списков семантических связей может быть реализовано блоком сопоставления.



Структурная модель фильтра текстов по семантической схожести с интересами субъекта

где: 1 – экстрактор информации из субъекта; 1.1 – узел подготовки информации; 1.1.1 – центр подготовки информации по рубрикам; 1.1.2 – центр подготовки информации по терминам; 1.2 – центр тестирования субъекта; 2 – экстрактор информации из текстов; 2.1 – узел автоматического понимания текстов; 2.2 – узел автоматического рубрицирования текстов; 3 – блок сопоставления; а – исходная информация о рубриках; б – требуемая дополнительная информация (например, словари [9]); в – сведения о предметной области, интересующей субъекта; г, д – информация, соответственно, о рубриках и терминах, отобранная для тестирования; е – вопросы или задания для субъекта; ж – ответы от субъекта; з, и – ранжированные (с количественными оценками) списки, соответственно, рубрик и терминов, интересующих субъекта; к – тексты, сопоставляемые с интересами субъекта; л – возможная дополнительная информация для автоматического рубрицирования текстов [10]; м – ранжированные (с количественными оценками [8]) списки терминов из текстов; н – семантические связи, обнаруженные в текстах; о – ранжированные (с количественными оценками) списки рубрик, которым могут принадлежать тексты (возможность автоматического нечеткого рубрицирования текстов предусмотрена в [10]); п – пороги (по рубрикам, терминам и связям) соответствия текста интересам субъекта; р – решения о соответствии текстов интересам субъекта.

В рассматриваемом случае фильтром выполняется алгоритм: сначала происходит извлечение информации об интересах субъекта, затем в цикле по поступающим текстам – извлечение информации из них и сопоставление с информацией об интересах субъекта с отсечением текстовой информации при отсутствии соответствия.

Математическое описание фильтра при использовании выбранного метода сопоставления

Такое описание представлено формулами (2) – (7). Оно основано на применении формулы (1) к векторам количественных оценок рубрик, терминов и семантических связей (последние могут быть сформированы исходя из оценок терминов и информации о связях):

$$C_1 = \sum_l g_l t_k^* / \sqrt{\sum_l g_l^2 (t_k^*)^2}, \quad (2)$$

$$C_2 = \sum_k t_k t_k^* / \sqrt{\sum_l t_k^2 (t_k^*)^2}, \quad (3)$$

$$C_3 = \sum_{(i,j) \in M} r_{ij} r_{ij}^* / \sqrt{\sum_l r_{ij}^2 (r_{ij}^*)^2}, \quad (4)$$

где: $C_1 - C_3$ – характеристики соответствия текущего поступающего текста интересам субъекта по рубрикам, терминам и семантическим связям;

g_l и t_k – количественные оценки рубрик и терминов с соответствующими номерами, полученные экстрактором информации из текстов;

g_l^* и t_k^* – аналогичные характеристики, полученные экстрактором информации из субъекта;

M – множество пар номеров терминов текста, между которыми экстрактор информации из текстов обнаружил семантическую связь;

r_{ij} и r_{ij}^* – количественные оценки семантической связи между терминами с номерами i и j , полученные блоком сопоставления путем обработки оценок t_k и t_k^* при наличии информации о M .

Предположим, что связи симметричны (т.е. не будем учитывать их ориентации), а оценки t_k и t_k^* имеют вероятностный характер. Тогда выбор связи между терминами с номерами i и j означает выбор

сначала термина i , а затем j , либо в обратном порядке. Таким образом, можем считать, что

$$r_{ij} = 2t_i t_j, \quad (5)$$

$$r_{ij}^* = 2t_i^* t_j^*. \quad (6)$$

Естественное условие для фильтрации (отсечения) текущего поступающего текста:

$$(\exists n)(C_n < C_n^{(n)}), \quad (7)$$

где $C_n^{(n)}$ – пороговое значение n -й характеристики соответствия.

Недостатки структурных составляющих фильтра при использовании выбранного метода сопоставления

Во-первых, проблематично использование словаря терминов (стрелка «б» на рисунке) для недавно сформированных или для узкоспециальных предметных областей. Во-вторых, результаты ранжирования терминов субъектом и узлом автоматического понимания текстов основаны на различных критериях. Субъект руководствуется, прежде всего, значимостью термина для себя [11], а узел автоматического понимания текстов – частотой встречаемости термина в тексте, суммой его коэффициентов ассоциативности с другими терминами и прочими подобными характеристиками [8], в результате чего оценки C_2 и C_3 могут оказаться необъективными.

Таким образом, требуется модификация центра 1.1.2 подготовки информации по терминам и узла 2.1 автоматического понимания текстов, либо экстрактора информации из текстов в целом.

Естественно рассмотреть указанные составляющие и математический аппарат (2) – (7) в качестве прототипов.

* * *

В результате проведенного исследования получен материал для последующего создания фильтра текстов по семантической схожести с интересами субъекта при отсутствии их текстового представления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов Э.В. Общение с ЭВМ на естественном языке. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 360 с.
2. Коллаборативная фильтрация // Википедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Коллаборативная_фильтрация (дата обращения: 28.06.2018).
3. Нелинейная фильтрация БИХ-фильтром с релейной предустановкой состояния КИХ-фильтром. – URL: http://model.exponenta.ru/non_lin.html (дата обращения: 28.06.2018).
4. Клеменков П. Обзор современных подходов к обработке больших данных и их применение для построения рекомендательных систем. – URL:

<http://www.myshared.ru/slide/539269/#> (дата обращения: 28.06.2018).

5. Характеризация запрещенными графами // Википедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Характеризация_запрещенными_графами (дата обращения: 28.06.2018).
6. Юзвишин И.И. Информациологическая химия // Основы информациологии. – М.: Информациология; Высш. шк., 2000. – С. 141–169.
7. Савотченко С.Е., Проскурина Е.А. Современные аспекты повышения pertinентности результатов информационного поиска в глобальной сети. – URL: <http://www.fundamental-research.ru/article/view?id=34639> (дата обращения: 28.06.2018).
8. Леонтьева Н.Н. Автоматическое понимание текстов: системы, модели, ресурсы: уч. пособие. – М.: Академия, 2006. – 304 с.
9. Леонтьев Д.А. Психология смысла: природа, строение и динамика смысловой реальности. – URL: http://lib.uni-dubna.ru/search/files/psy_leo_psy_smisla/1.pdf (дата обращения: 28.06.2018).
10. Система ИРБИС64. – URL: http://www.elnit.org/index.php?option=com_content&view=article&id=35&Itemid=108 (дата обращения: 28.06.2018).
11. Казаков Ю.Н. Психология и педагогика: инструментарий психологических технологий: конспект лекций. – URL: https://abc.vvsu.ru/books/psih_ped/page0025.asp (дата обращения: 28.06.2018).

Материал поступил в редакцию 02.09.18.

Сведения об авторах

ГОЛЬДШТЕЙН Сергей Львович – доктор технических наук, академик РАЕН, профессор, кафедра технической физики Физико-технологического института Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург
e-mail: s.l.goldshtein@urfu.ru

КУДРЯВЦЕВ Александр Генрихович – кандидат физико-математических наук, доцент, без ученого звания, кафедра технической физики Физико-технологического института Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина
e-mail: agkustu@gmail.com

ГРИЦЮК Елена Михайловна – доктор медицинских наук, академик РАЕН, врач-эпидемиолог Многопрофильного клинического медицинского центра БОНУМ, г. Екатеринбург
e-mail: emg80@mail.ru

ХОДЕНЕВА Мария Алексеевна – магистрант, кафедра технической физики Физико-технологического института Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина
e-mail: masha.hodeneva@mail.ru