

Krassimir Markov, Vitalii Velychko, Oleksy Voloshin
(editors)

**Information Models
of
Knowledge**

**ITHEA[®]
KIEV – SOFIA
2010**

Krassimir Markov, Vitalii Velychko, Oleksy Voloshin (ed.)

Information Models of Knowledge

ITHEA®

Kiev, Ukraine – Sofia, Bulgaria, 2010

ISBN 978-954-16-0048-1

First edition

Recommended for publication by The Scientific Council of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA
ITHEA IBS ISC: 19.

This book maintains articles on actual problems of research and application of information technologies, especially the new approaches, models, algorithms and methods for information modeling of knowledge in: Intelligence metasynthesis and knowledge processing in intelligent systems; Formalisms and methods of knowledge representation; Connectionism and neural nets; System analysis and synthesis; Modelling of the complex artificial systems; Image Processing and Computer Vision; Computer virtual reality; Virtual laboratories for computer-aided design; Decision support systems; Information models of knowledge of and for education; Open social info-educational platforms; Web-based educational information systems; Semantic Web Technologies; Mathematical foundations for information modeling of knowledge; Discrete mathematics; Mathematical methods for research of complex systems.

It is represented that book articles will be interesting for experts in the field of information technologies as well as for practical users.

General Sponsor: Consortium FOI Bulgaria (www.foibg.com).

Printed in Ukraine

Copyright © 2010 All rights reserved

© 2010 ITHEA® – Publisher; Sofia, 1000, P.O.B. 775, Bulgaria. www.ithea.org ; e-mail: info@foibg.com

© 2010 Krassimir Markov, Vitalii Velychko, Oleksy Voloshin – Editors

© 2010 Ina Markova – Technical editor

© 2010 For all authors in the book.

® ITHEA is a registered trade mark of FOI-COMMERCE Co., Bulgaria

ISBN 978-954-16-0048-1

C/o Jusautor, Sofia, 2010

МОДЕЛЬ УНИВЕРСУМА

Мержвинский Анатолий

Аннотация: Предложена концепция построения, компоненты и структура модели универсума применительно к физической и компьютерной реализациям. Модель отображает категории и природу взаимодействий материальных и информационных объектов.

Ключевые слова: УНИВЕРСУМ, ОБЪЕКТ, ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ, ОБРАЗ, КОММУНИКАНТ

ACM Classification Keywords: Philosophy and Methodology of Informatics

Введение

Научная картина мира сложная и характерна для каждого индивидуума, так как складывается из представлений о различных предметных областях (ПО). Представление ментальных структур, изоморфных связям и отношениям между фрагментами реального мира, в машинной форме – основная задача создания баз знаний [1]. Успешное проектирование проблемно-ориентированных систем увело, на наш взгляд, исследователей от проблем создания и визуализации модели универсума (который будем рассматривать как наивысшую ступень объединения ПО). Хотя попытки "увязать картину мира во что-то целое, что подвергается конструктивному анализу и пригодное для практического использования" были сделаны ранее и выполнена декомпозиция ноосферы на «физикал», «ментал» и «культурал» [2]; распространено представление мира в виде онтологии [3] либо глобального графа, однако крупноблочной модели мира верхнего уровня, которая позволяет объединить и наглядно отобразить основные категории бытия, до сих пор не разработано. Отметим, что существующие физические теории материального мира и логические теории представления знаний, развиваясь относительно независимо, на наш взгляд, недостаточно отражают природу информационных объектов, их связь с материальными объектами. Совершенствование технологий микро- нано- оптоэлектроники и голографии позволяет по-новому подойти к визуализации данных и знаний о трехмерных, а в общем случае и n -мерных сущностях объектов с помощью трехмерных цветных отображений.

Объектологический подход к представлению макромира

С точки зрения "наивного реалиста", позиции которого будем разделять в данной статье, Вселенная представляет собой совокупность объектов. Для специалиста же квантовой физики это подвижная единая ткань, которая составляется со всплесков энергии, и ни одна из частей этой "ткани" не существует независимо от целого. Однако в такой картине мира существует достаточно противоречий, которые отвлекают от созданного большинством макрообраза мира. Будем исходить из того, что при морфологическом описании материальных объектов обычно выделяют материальные, энергетические и информационные связи. Для учета взаимодействий на физическом уровне будем считать, что важнейшим свойством материальных объектов является свойство обмениваться со средой V и другими материальными объектами веществом G , излучением Γ разной природы, энергией E и импульсом.

Непосредственные взаимодействия. Современные экспериментальные данные свидетельствуют, что существует, строго говоря, только четыре качественно разных вида взаимодействий: гравитационное, электромагнитное, сильное, слабое. Эти взаимодействия считаются фундаментальными, т.е. самыми основными, исходными, первичными. Эффект взаимодействий существенно зависит от размеров объектов и расстояния между ними.

Опосредствованные взаимодействия. Соответственно природе и роли при действиях одних материальных объектов на другие представим этот процесс в виде схемы на рис. 1. Носителями непосредственных взаимодействий материальных объектов, как указывалось выше, являются материальные потоки и разного типа поля. Стрелки обозначают направление воздействия.

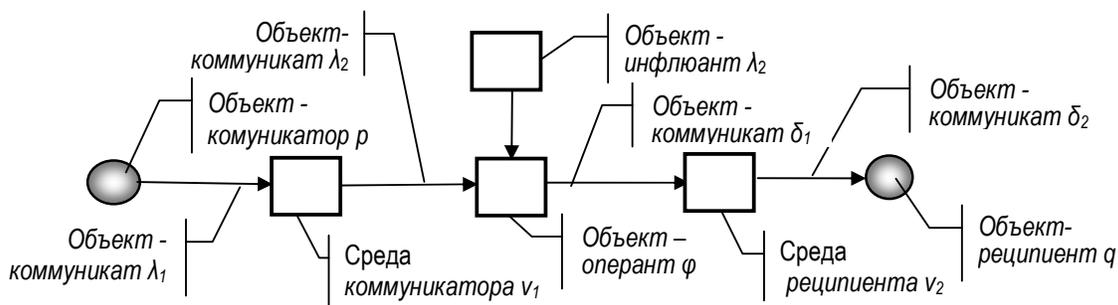


Рис.1 – Обобщенная схема опосредствованного воздействия коммуникатора на реципиента

Будем пользоваться такими определениями. **Коммуникант** - участник коммуникации, задействованный в коммуникативном акте взаимодействия между коммуникатором и реципиентом. **Коммуникатор** - участник взаимодействия, которое может порождать коммуникаты – вещественные, энергетические или полевые потоки, в общем случае потоки любой природы (материальные, денежные, информационные). **Коммуникат** - вещественный, энергетический или полевой потоки, которые способны осуществлять материальное или информационное влияние на реципиента. **Реципиенты** – характеризуются состоянием и совокупностью реакций (функцией). **Операнты** - материальные объекты, которые обеспечивают опосредствованное воздействие объектов - коммуникаторов на объекты-реципиенты; реализуются в виде машин, людей, человеко-машинных систем или систем, которые могут содержать и естественные объекты. **Объекты-инфлюанты** - управляющие, координирующие или иным образом влияющие на объекты-операнты. **Среда** - то, что окружает систему и оказывает на нее влияние.

Классы и ипостаси материальных объектов. Применительно к происхождению множество материальных объектов R формально опишем тройкой $R = \langle F, W, \Omega \rangle$, где F - класс материальных неживых естественных объектов; W - класс материальных неживых искусственных объектов; Ω - класс материальных живых объектов.

Материальные объекты могут рассматриваться в ипостаси носителей информационных объектов (ИО). В данной работе, в зависимости от вида операции взаимодействия с другими объектами, ИО из множества I универсума U могут:

- отображать некоторую сущность (идею, идеальный объект) других объектов (прообразов) U ;
- представлять самостоятельную сущность (идею, идеальный объект), которая может непосредственно или через объекты-операнты некоторой конфигурации Φ влиять на третьи объекты Q .

В первом случае, как отмечалось выше, это может быть "образ" объекта, а в более сложном, "модель" объекта. В случае же самостоятельной сущности это "код", "программа" или "модель".

Формально множество объектов I представим тройкой $I = \langle X, \Theta, \Psi \rangle$, X - класс элементов x , в котором элементы x - образы сущностей материального мира R , полученные с помощью инструментов (фото, показание измерительных приборов и др.), Θ - класс, в котором θ - продукты умственной деятельности, которые зафиксированы на любом носителе, Ψ - класс, в котором ψ - ментальные объекты в живом организме.

Акты взаимодействий, операций и процессы в ПО

Материальные процессы – будем рассматривать как процессы изменения структуры и состояния объекта, обмена материального объекта g с внешней средой коммуникатами (вещественными потоками g , полевыми γ , энергией e или импульсом). Энергетические и вещественные взаимодействия объектов будем рассматривать как симметричные, т.е. сколько один отдал столько же другой или другие получили. Движение объектов в среде V и времени T могут отображаться в акте o элементарного действия коммуникатора p на реципиента q , например, в виде переходных процессов (линейных или нелинейных

траекторий изменения характеристик, в которых может учитываться действие обратной связи между реципиентом и коммуникатором) или операций O , в которых учитывается опосредствованные взаимодействия между реципиентом и коммуникатором, а также некоторого процесса π , как последовательности операций.

Таким образом, взаимодействия объектов - это процессы влияния коммуникаторов P на реципиентов Q с помощью коммуникатов Λ и наоборот, с учетом их поведенческих свойств, особенностей и взаимной обусловленности распространения в среде V конкретных коммуникатов λ_P и λ_Q , где λ_P - коммуникаты объектов P , и λ_Q - коммуникаты объектов Q .

Информационные процессы будем рассматривать как процессы формирования образов сущностей материальных или информационных объектов универсума U в некотором материальном носителе, их обработки, распознавания, идентификации, накопления в информационной среде, процессы опосредствованного действия информационных объектов из множества P_i на материальные объекты-реципиенты из множества Q с помощью соответствующих объектов-оперантов из множества Φ , а также поиска, распространения, формирования и формализации знаний человеком.

В зависимости от рассматриваемой ипостаси коммуникаторов и реципиентов - как материальных R или как информационных I (носителей или идеальных) - в акте взаимодействия могут принимать участие такие комбинации коммуникантов: $R-R$, $R-I$, $I-I$, $I-R$. Эти комбинации определяют категории *актов* взаимодействий коммуникантов (для выполнения требуется время) или *операций* (последовательности актов опосредствованных взаимодействий с обратной связью) или *процессов* (последовательности операций взаимодействий). В случае опосредствованных актов взаимодействий результат может зависеть от влияния на оперант φ управляющих, координирующих или иным образом влияющих объектов (объектов-инфлюантов). Объекты-инфлюанты могут включать среды, временные синхронизаторы, программы и модели желательных и реальных процессов. Таким образом, процесс может рассматриваться как объект, который существует и в пространстве и во времени.

$R-I$ -операции выполняются с помощью сенсоров и могут быть определены как "сенсорные" операции, а $I-R$ - операции выполняются с помощью эффекторов (исполняющих устройств) и могут быть определены как "эффекторные" операции. Таким образом, в природе с помощью коммуникатов и объектов-оперантов могут иметь место процессы отображения некоторой сущности материальных объектов в информационные и, наоборот, информационных объектов в материальные.

Особенности $R-I$ -преобразований. $R-I$ -операции более широкое понятие, чем общепринятые «операции ввода – вывода». В информатике, *ввод/вывод* трактуется как взаимодействие между обработчиком информации (например, компьютер) и внешним миром, который может представлять как человек, так и любая другая система обработки информации. В нашем случае $R-I$ -операции включают также взаимодействие коммуниката и коммуниканта. Технически технология преобразования материального объекта в его образ может быть реализована двумя способами:

- *Анализ с помощью технического средства* (соответствующего сенсора) *первичного коммуниката* δ (например, электромагнитного излучения или вещественного потока), которые создаются и эммитируются коммуникатором (рассматриваемого как активный объект);
- *Зондирование* коммуникатора некоторым влияющим коммуникатом λ (который бомбардирует пассивный объект - коммуникатор) и анализ с помощью соответствующего сенсора вторичного коммуниката δ , (который эммитируется коммуникатором).

$I-I$ - преобразование – известная основная операция теории связи; например, передача изображения из одного компьютера на другой.

Отображение множества материальных объектов ПО

Концепция отображения объектов и взаимодействий в предлагаемой модели исходит из возможности отображения их сущности в определенных материальных средах в виде композиции отображающих

каморок (объектов-носителей), которые могут содержать поверхностные (двумерные пиксели), объемные (воксели) и объемно-пространственные ячейки (имеющие внутреннюю структуру) и допускающие запись в них и считывание ссылок к внешней памяти. На фиг. 2 приведена схема расположения каморок, позволяющая отобразить объекты на рис. 1 (опосредствованное влияние i -го коммуникатора множества P на j -й реципиент множества Q).

Формализация отображения ПО. Структурные элементы схемы на рис. 2 могут быть положены в основу онтологического описания взаимодействующих на физическом уровне объектов ПО. При таком подходе множество материальных объектов R ПО формально может быть представлено пятеркой $R = \langle P, Q, \Lambda, \Delta, \Phi \rangle$, где P - множество объектов-коммуникаторов, которые являются источниками формирования множества объектов-коммуникатов Λ ; Q - множество объектов-реципиентов, на которые воздействуют объекты-коммуникаты Δ ; Φ - множество объектов-оперантов, которые принимают участие в формировании вещественных или полевых действий на объекты-реципиенты из множества Q . Объекты-коммуникаты Λ, Δ - есть носители ввоздействий: это вещественные потоки G (характеризуются массой покоя) и физические поля Γ , которые в общем случае могут характеризоваться потенциальной и кинетической энергией E .

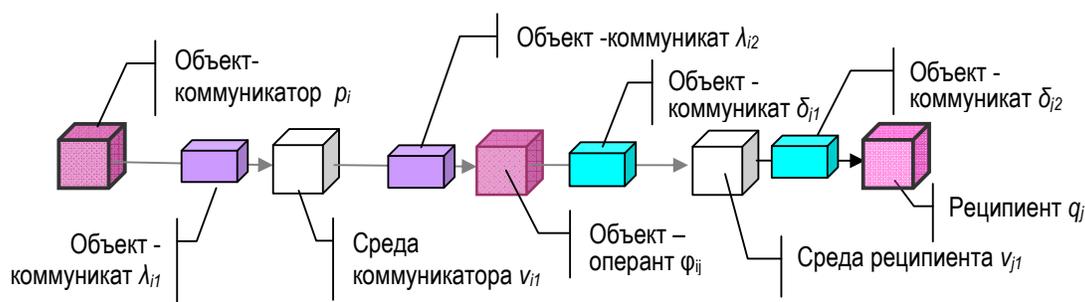


Рис.2. Схема соединений каморок для отображения действия коммуникатора на реципиента

Концепция отображения взаимодействующих объектов универсума

При наличии n классов объектов R количество вариантов связей классов возрастает пропорционально n^2 , поэтому модель на рис. 2 становится не наглядной. Кроме того, иногда важным есть взаимодействие с объектами окружения ПО - миром внешней действительности. Для отображения универсума предлагается ячеистая (каморковая) модель которая может быть реализована в материальных или виртуальных средах на основе каморок отображения.

Принцип построения ячеистой модели универсума состоит в выделении для каждого объекта u_i универсума U каморки объекта y_i из множества Y , формировании в каморке объекта y_i отображения сущности объекта или ссылки на внешнюю память, объединению каморок упорядоченных по категориям и ролевым признакам отображаемых объектов в структурные элементы - модули, например, в форме параллелепипедов, и формировании отображения универсума объектов в виде композиции модулей Y_α , где α - множество индексов модулей [4].

Модель может быть визуализирована в виде композиции каморок (рис. 3), содержащих отображающие объекты - носители - поверхностные, объемные и объемно-пространственные ячейки. Расположение и доступ к каморке определяется координатами x, y и z в Декартовой системе координат и не зависит от того, где физически находится ее содержание - в теле блока отображения, или на внешнем носителе.

Визуализация модели отображения в форме куба

Расположение модулей. Ячеистая модель отображения универсума выполнена согласно рис. 3 в форме куба в виде композиции восьми модулей. Расположение модулей привязано к правой системе Декартовых координат. Измерения объектов визуализируются в направлениях осей X, Y и Z , а именно: Y - ось

измерений категорий коммуникаторов; X - ось измерений категорий реципиентов; Z - ось измерений классов коммуникантов. m , n - соответственно объекты или классы взаимодействующих коммуникаторов и реципиентов. Члены измерений визуализируются как точки или звенья, которые откладываются на осях модуля. Состав и функциональное назначение модулей следующие:

Модуль 1 (III октанта) содержит камеры объектов-коммуникаторов множества (Y_P). Графические элементы модуля 1 на грани 1 (рис. 3, фото 1) расположены, таким образом, что последовательность категорий объектов-коммуникаторов направлена по оси $-Y$, а в направлении оси Z отображаются классы, подклассы, абстрактные и/или конкретные объекты-коммуникаторы.

Модуль 2 (III октанта) содержит камеры исходных Y_L коммуникаторов P . Примеры коммуникаторов: фотонный поток, электронный поток, радиоволна (в общем случае электромагнитная волна), лист бумаги, конверт, посылка почтовая или контейнер транспортных перевозок.

Модуль 3 (III октанта) содержит камеры среды Y_{VL} для отображения пространства объектов среды, в котором распространяются исходные коммуникаты L между коммуникаторами P и входными элементами объектов-оперантов Φ .

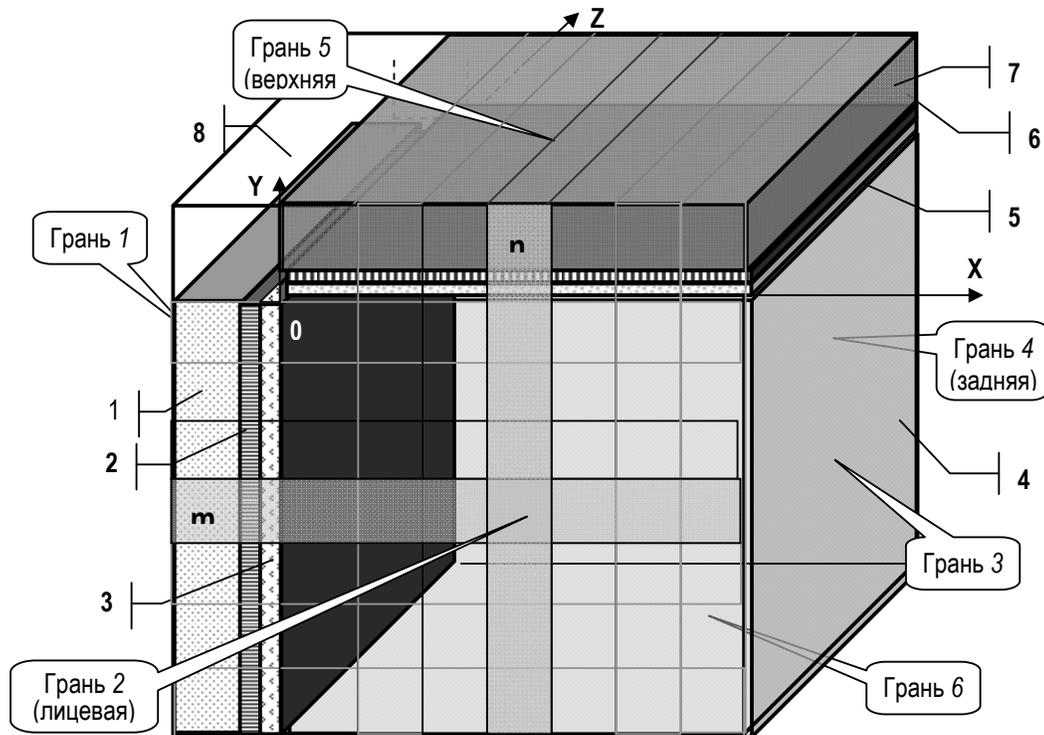


Рис. 3. Структура модели в форме куба.

Модуль 4 (IV октанта) содержит камеры объектов-оперантов Y_Φ для отображения объектов-оперантов U_Φ , с помощью которых осуществляется взаимодействие объектов-коммуникаторов и объектов-реципиентов. Сущность объектов-оперантов заключается в превращении материальной (g_L, γ_L) и энергетической e_L компонент коммуниката L в материальные (g_δ, γ_δ) и/или энергетические (e_δ) компоненты коммуниката Δ . Учет возможности на входах и выходах разных комбинаций g, γ - и e -компонент коммуникаторов в общем случае создает достаточно много вариантов (64) превращений коммуникаторов. В практике конкретные вещественные G , полевые Γ или энергетические E составляющие или их комбинации есть доминирующие, а другие могут быть неактуальными. С учетом этого выделим такие категории операций объектов-оперантов:

- $r-r$ - операции, сущность которых определяется превращением материальной (g_L, γ_L) и/или энергетической e_L составных коммуниката L в материальные (g_δ, γ_δ) и/или энергетические (e_δ)

компоненты коммуниката Δ . Операции синтеза и декомпозиции сложных операций $r-r$ категории могут быть описаны методами формальных технологий [5].

- $i-i$ - операции, в которых входной информационный объект множества I (или поток объектов), преобразовывается в выходной также информационный объект (или поток информационных объектов). Операции выполняются материальными объектами-оперантами (аппаратными, программно-аппаратными, программными, а также биообъектами, которые могут создавать информационные среды); на верхнем уровне обычно описываются логико-математическими моделями, которые не включают физические преобразования материальных носителей информационных объектов.
- $i-r$ операции, в которых исходный информационный объект множества I (или поток объектов), независимо от носителя, в конечном счете превращается в выходной материальный и/или энергетический объект (или поток объектов). Операции выполняются исполнительными устройствами (эффекторами, которые с помощью драйвера исходного устройства реализуют действие информационного объекта на материальный объект или систему) и агрегатами в более сложных случаях.

Трактовка $r-i$ операций - очевидна. В простейшем случае выполняются сенсорами (формирование образов сущностей материальных объектов).

Информационные среды, в которых выполнение $i-i$, $r-i$ и $i-r$ операций реализуется в виде искусственных твердых конструкций, в практике называются «аппаратная часть». Для общности, например, со случаем использования программно-аппаратных средств или радиоволн в ионосфере, $i-i$, $r-i$ и $i-r$ преобразователи, при рассмотрении их в роли объектов-коммуникантов, в данной работе имеют обобщенное название r -информ-объекты или ri -объекты.

Модуль 5 (I октант) содержит камеры среды Y_{VD} для отображения пространства объектов среды между исходными элементами объектов-оперантов Φ и реципиентов Q , в котором распространяются действующие коммуникаты Δ , (в простейшем случае содержит камеры пространственных интервалов).

Модуль 6 (I октант) содержит камеры действующих коммуникатов Y_{Δ} . В этих камерах отображаются объекты-коммуникаты Δ , которые воздействуют на объекты-реципиенты.

Модуль 7 (I октант) содержит камеры объектов-реципиентов Y_Q . Модуль 7 расположен ортогонально модулю 1 и графические элементы грани 5 расположены так, что подмодули камерок последовательности категорий объектов-реципиентов направлены по оси X , а классы, подклассы и конкретные объекты-реципиенты могут отображаться в камерах в направлении оси Z .

Среда, в котором происходят протяженные процессы взаимодействия объектов, движение объектов в пространстве V и времени T , переходные характеристики процессов изменения состояния объектов, их метрика отображаются в камерах Y_{STP} модуля пространственно-временных интервалов и процессов δ .

Описание графики граней физической реализации модели

На фото 1 приведен пример физической реализации модели универсума в виде куба. Графические элементы поверхностных ячеек на гранях модели определяется проекцией на грани соответствующих подмножеств камерок. Эти проекции приведены на развертке граней 1,2,5 (рис. 4) и могут отображать иерархическую структуру и взаимосвязи объектов универсума U .

Множество объектов R наряду с подмножествами неживых объектов F , живых - Ω и искусственных объектов W также включают подмножество систем S , которые могут представлять определенную совокупность конфигураций элементов разных категорий. Живые объекты Ω - могут рассматриваться на разных уровнях: молекулярном, субклеточном, клеточном, органно-системном, организменном и других. Поэтому этот термин достаточно широкий и не однозначный. Объем понятия включает подмножество множества биологических объектов B . Биологические объекты B включают категорию «человек» H .

Искусственные объекты W представлены категорией не информатизированных объектов D (d-объектов) и категорией K (r -информ-объектов), которые могут оперировать также с информационными объектами категории I .

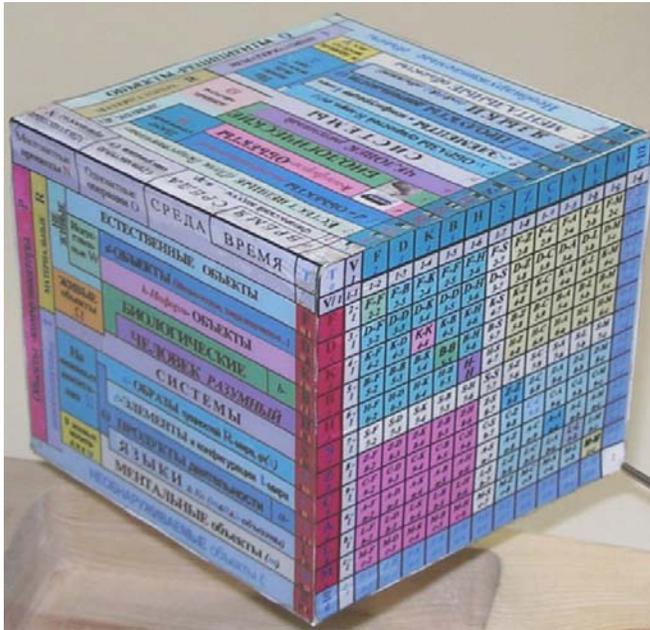


Фото 1 Общий вид модели в форме куба

В множестве информационных объектов I выделено подмножество ментальных объектов Ψ и подмножества информационных объектов на неживых носителях Σ . Ψ - подмножество ментальных объектов, порожденных в индивидууме или коллективе, живых организмах в результате познавательной деятельности (образы внешнего мира, идеальные объекты (эмпирические и теоретические (конструкты, абстрактные объекты)), сигналы, конфигурации, мысли, базовые когнитивные операции, ...). Подмножество Σ (информационные объекты на неживых носителях) включает подмножество X - образы сущностей R -мира и подмножество A - продукты деятельности информационного мира. Категория объектов X включает множество X_1 - информационных объектов, которые отображают некоторые сущности

R -мира - x' -образы, сформированные материальными средствами без участия оператора, и множество X_2 - x'' -образы, представляющие x' -образы, однако скорректированы действующим индивидуумом, например, фотопортрет, отретушированный художником соответственно его мировосприятию ($y = \varphi(x)$) или формализованную модель некоторой сущности.

В категорию Θ - продукты деятельности информационного мира объединены любые медиа-продукты умственной деятельности и зафиксированные на носителях (языка, тексты, компьютерные программы, рисунки, мелодии, фильмы, устное творчество, ...), которые доступны пользователям. Множество *Продукты деятельности* I -мира включает c -элементы и собранные из них генетические конструкции I -мира, которые могут использоваться для построения более сложных конфигураций. Элементы категории C (c -элементы) представляют первичные математические понятия (точка, линия, поверхность, объемная фигура, n -мерная фигура, число, множество, математические структуры) или отображение простейших физических сущностей материального мира (в виде точечных, линейных, объемных элементов для макромира и пространственных структур микромира - атомов, частиц и т.д.), которые моделируют свойства вещественных объектов и физических полей.

В множестве информационных объектов I выделена специфическая категория отображения объектов

U : язык L . Кроме ментальной составляющей m , составляющей на неживых носителях (алфавит,...) θ включает также коммуникационную составляющую l в виде образцов звуковых колебаний в некоторой материальной среде и их отображении на носителе, например магнитной пленке.

Категория объектов, которые не обнаруживаются инструментальными средствами, обозначены как Ξ (ангелы, Бог, русалки, домовый, НЛО).

На грани 2 (рис. 4) нанесена категориальная сетка *камарок объектов-оперантов* в форме квадратной матрицы, поля камарок исходных и действующих коммуникатов (узкие горизонтальная и вертикальная полосы), мнемонические обозначения категорий *объектов-коммуникантов*. Мнемоника обозначения

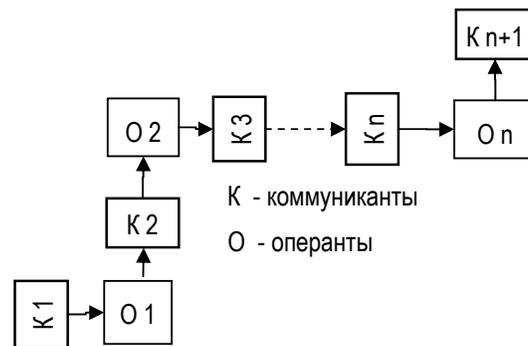


Рис. 5 Развертка воздействий коммуникантов

Выводы

На основе важнейших поведенческих свойств материальных объектов - способности обмениваться с внешней средой веществом G , излучением, энергией E и импульсом – введены понятия «коммуникат», «оперант», «инфлюант», которые позволили визуализировать взаимосвязи объектов универсума на физическом уровне. Разработанная ячеистая модель отображает категории и природу материальных и информационных взаимодействий объектов. Модель может быть выполнена в виде трехмерной физической модели, позволяющей хранить выделенные человечеством наиболее обобщенные знания о мире (как наглядное пособие для обучения принципам классификации, устройство ввода, сувенир), и в виде программной модели компьютера для хранения более глубоких знаний. Возможное применение компьютерной модели - в составе агрегата «обобщенная компьютерная модель универсума - конкретная модель ПО» для хранения, идентификации и классификации объектов в информационных системах, работающих со знаниями.

Литература

1. Кургаев А.Ф. Проблемная ориентация архитектуры компьютерных систем.- Киев: Сталь, 2008.- 540 с.
2. Лозовский В.С. К десигнативной теории имен. <http://vloz.mylivepage.com/wiki/155/83>
3. Палагин О.В., Яковлев Ю.С. Системная интеграция средств компьютерной техники. – Винница: "УНІВЕРСУМ-Вінниця", 2005.- 680 с.
4. Патент Промышленный образец № 19543 від 12.10.2009 «КОМПЛЕКТ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВІДОБРАЖЕННЯ УНІВЕРСУМА». Автор: Мержвинський Анатолій Олександрович.
<http://base.ukrpatent.org/searchBul/search.php?action=viewdetails&IdClaim=21733&chapter=variants&dbname=pp>
5. Крылов С.М. Формальная технология в философии, технике, биоэволюции и социологии. - Самара: СамГТУ, 1997.-180 с.

Authors' Information



Мержвинский Анатолий Александрович – Институт кибернетики им. В.М.Глушкова НАНУ, 03680 МСП Київ-187, пр-т Академіка Глушкова,40, Украина; старший научный сотрудник отдела 220 ИК НАНУ

e-mail: merjv@mail.ru

Major Fields of Scientific Research: физико-технологические проблемы кибернетики, микро-оптоэлектроника, биосенсорика