

Семантические пространства и метрики как основа интероперабельности в коллективах агентов и экосистемы

Голенков Владимир Васильевич, д.т.н., профессор

Гулякина Наталья Анатольевна, к.ф.-м.н., доцент

Иващенко Валерьян Петрович, к.т.н., доцент

Шункевич Даниил Вячеславович, к.т.н., доцент

Кафедра интеллектуальных информационных технологий, БГУИР,
г. Минск

Современные вызовы в ИИ

- **Вызовы**
 - Недостаточная прозрачность (слабые объяснимость и интерпретируемость, галлюцинации)
 - Недостаточная надёжность
 - Недостаток интеграции со старыми компьютерными системами
 - Высокая стоимость разработки
 - Предвзятость
 - ...
- **Пути преодоления**
 - Устранение смысловых разрывов (*semantic gaps*)
 - Развитие новых архитектур и гибридизация систем ИИ
 - Интеграция систем ИИ
 - Обеспечение интероперабельности
 - ...

Тенденции развития технологий ИИ

- **Устранение смысловых разрывов и интеграция знаний**
 - Переход к унифицированному представлению знаний и использованию смыслового пространства
- **Гибридизация**
 - Переход к комплексной автоматизации требует комбинирования различных моделей решения задач и различных моделей представления знаний
 - Требуется глубокая *интеграция (конвергенция)* различных видов знаний и различных моделей решения задач, что подразумевает их семантическую совместимость
- **Интероперабельность**
 - Комплексная автоматизация – переход к *децентрализованному искусственному интеллекту*
 - Актуальным является создание интеллектуальных компьютерных систем, обладающих высоким уровнем интероперабельности, то есть способности эффективно взаимодействовать между собой в процессе коллективного решения сложных задач

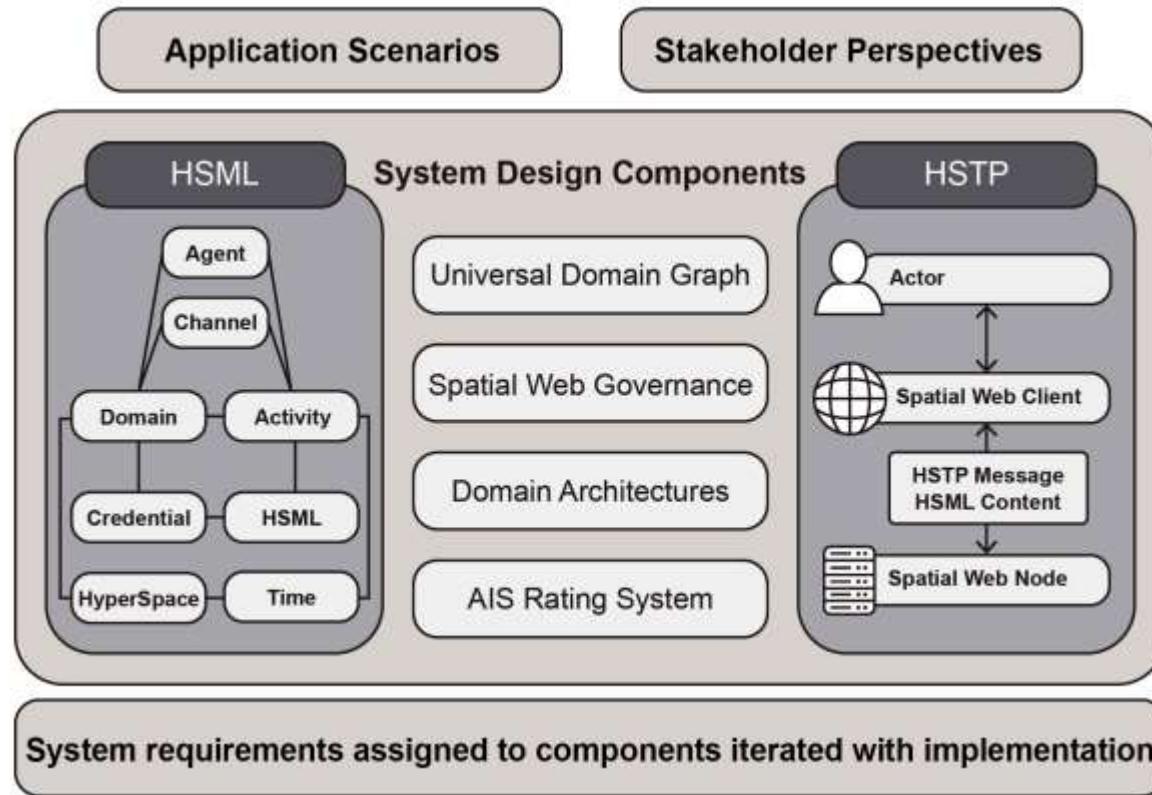
The Spatial Web

- «The Spatial Web merges the physical and virtual worlds, transcending geographic and national boundaries to create a global commons for expression and imagination. This **convergence**, enabled by decentralizing technologies, **artificial intelligence**, autonomous vehicles, robots, and the Internet of Things, heralds a new era of interconnectedness. The Spatial Web is built on the foundations of the Internet. The Spatial Web, including the Hyperspatial Modeling Language (**HSML**) and the Hyperspatial Transaction Protocol (**HSTP**), creates a seamless digital-physical reality, leveraging augmented and virtual reality and *integrating* shared values such as privacy, data ownership, and autonomy by design. The Spatial Web is an ecosystem of **interoperable**, autonomous AI agents based on open standards including HSML and HSTP.»

The Spatial Web (Пространственный Веб)

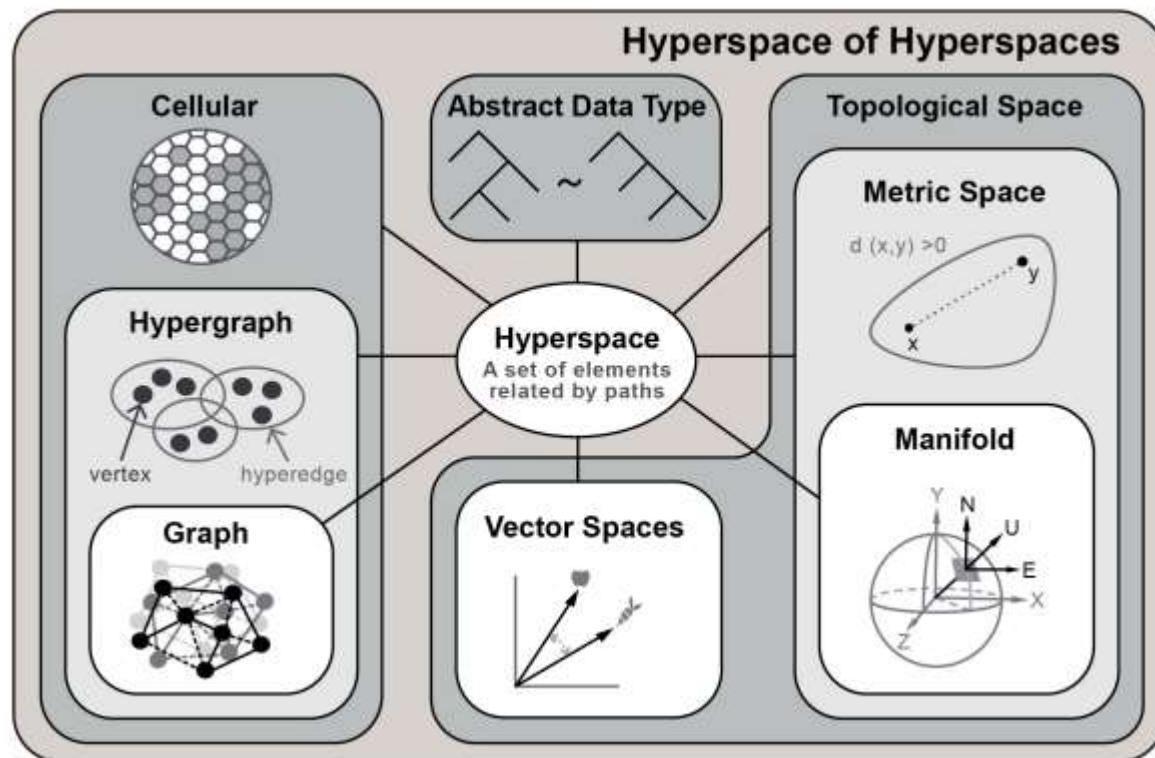
- «Spatial Web объединяет физический и виртуальный миры, преодолевая географические и национальные границы, создавая глобальное пространство для самовыражения и воображения. Эта **конвергенция**, ставшая возможной благодаря децентрализации технологий, **искусственному интеллекту**, автономным транспортным средствам, роботам и Интернету вещей, возвещает о новой эре взаимосвязанности. Spatial Web построен на основе Интернета. Spatial Web, включая язык гиперпространственного моделирования (**HSML**) и протокол гиперпространственных транзакций (**HSTR**), создает бесшовную цифро-физическую реальность, используя дополненную и виртуальную реальность и *интегрируя* общие ценности, такие как конфиденциальность, владение данными и автономность. Spatial Web — это экосистема интероперабельных, автономных агентов **искусственного интеллекта**, основанная на открытых стандартах, включая HSML и HSTR.»

The Spatial Web

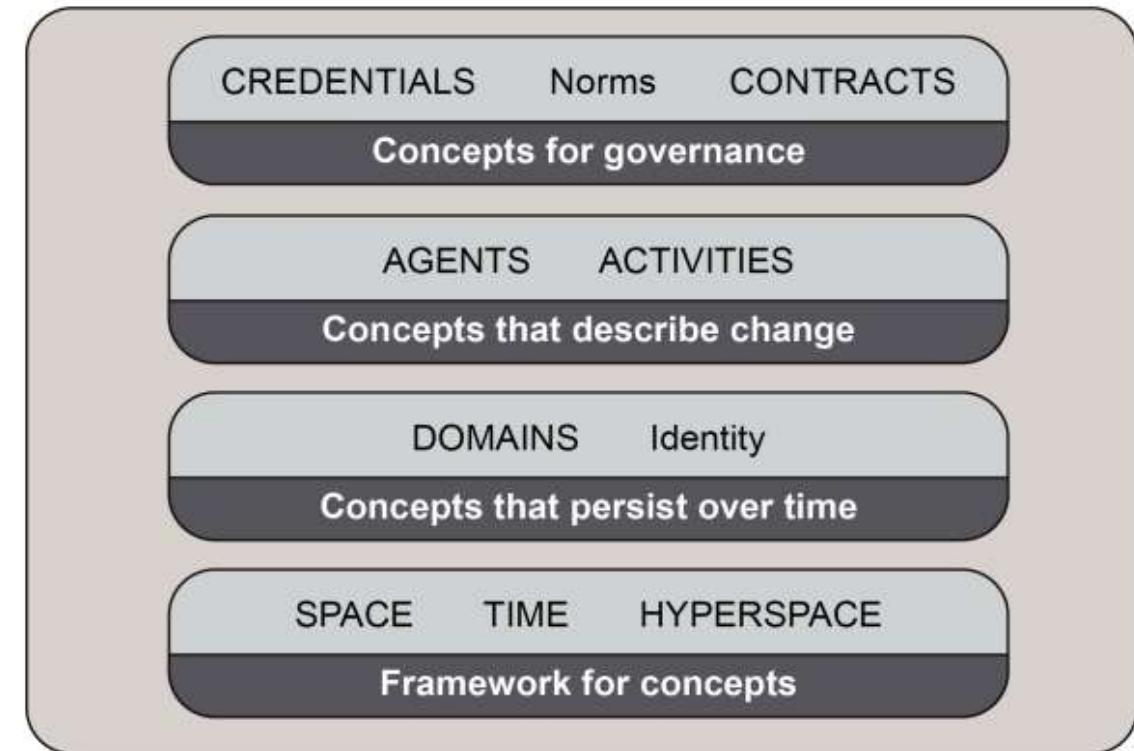


System engineering of the Spatial Web (architectural design approach)

The Spatial Web



Basic classes of hyperspace



Knowledge model overview

Интеллектуальные компьютерные системы нового поколения

- Конвергенция различных видов знаний и различных моделей решения задач
- Высокий уровень *интероперабельности*

Актуальной задачей является создание соответствующей технологии разработки и сопровождения таких систем.

Технология OSTIS

- **OSTIS** (Open Semantic Technology for Intelligent Systems, Открытая семантическая технология проектирования интеллектуальных систем) – комплексная технология компонентного проектирования, производства и сопровождения семантически совместимых интероперабельных **интеллектуальных компьютерных систем нового поколения**.
- **Комплексность в двух** аспектах:
 - разработка и сопровождение интеллектуальных компьютерных систем любых классов, а также любых компонентов интеллектуальных компьютерных систем
 - поддержка всех этапов жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем и их компонентов

Основа Технологии OSTIS

Технология основана на универсальном способе представления (кодирования) информации, получившем название **SC-код** (Semantic Computer code). SC-код основан на базовых формализмах дискретной математики (**теории множеств и теории графов**).

Это обеспечивает:



Универсальность и унифицированность (единообразие) представления
(любая информация может быть представлена одним и тем же способом).



Удобство машинной обработки и восприятия человеком.

Основа Технологии OSTIS

Алфавит SC-кода

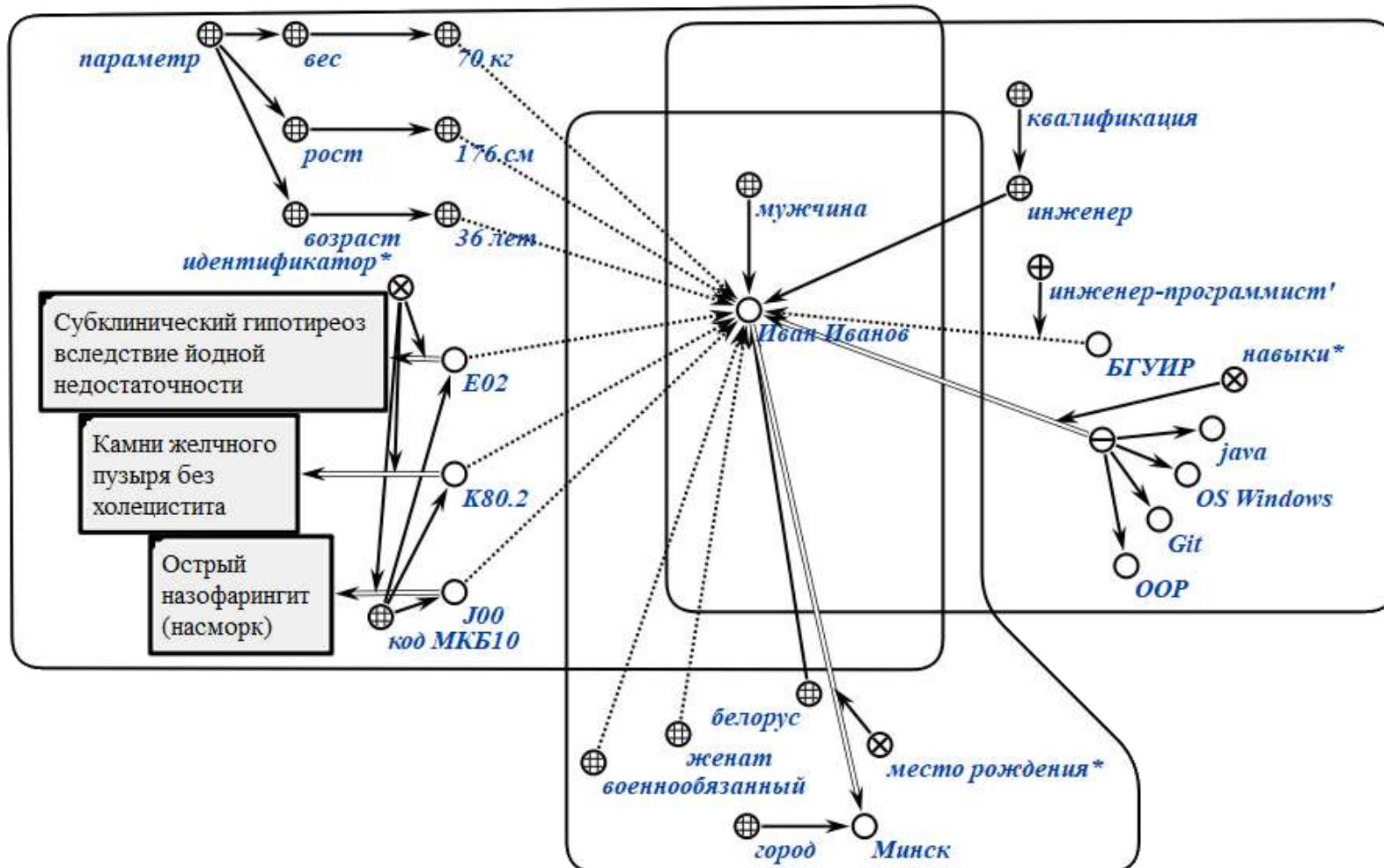
вид sc-элемента	изображение
sc-элемент общего (неуточняемого) вида	•
sc-узел	○
sc-дуга постоянной принадлежности	→
sc-дуга временной актуальной принадлежности	→
sc-дуга временной неактуальной принадлежности	→
sc-дуга нечёткой принадлежности	→
sc-дуга временной неактуальной непринадлежности	→
sc-дуга временной актуальной непринадлежности	→
sc-дуга постоянной непринадлежности	→

Синтаксис SC-кода:

- SC-дуги могут выходить из SC-узлов
- SC-дуги могут входить в SC-элементы (SC-узлы и SC-дуги)

SC-код (примеры на SCg)

Различные виды фактов о какой-либо сущности

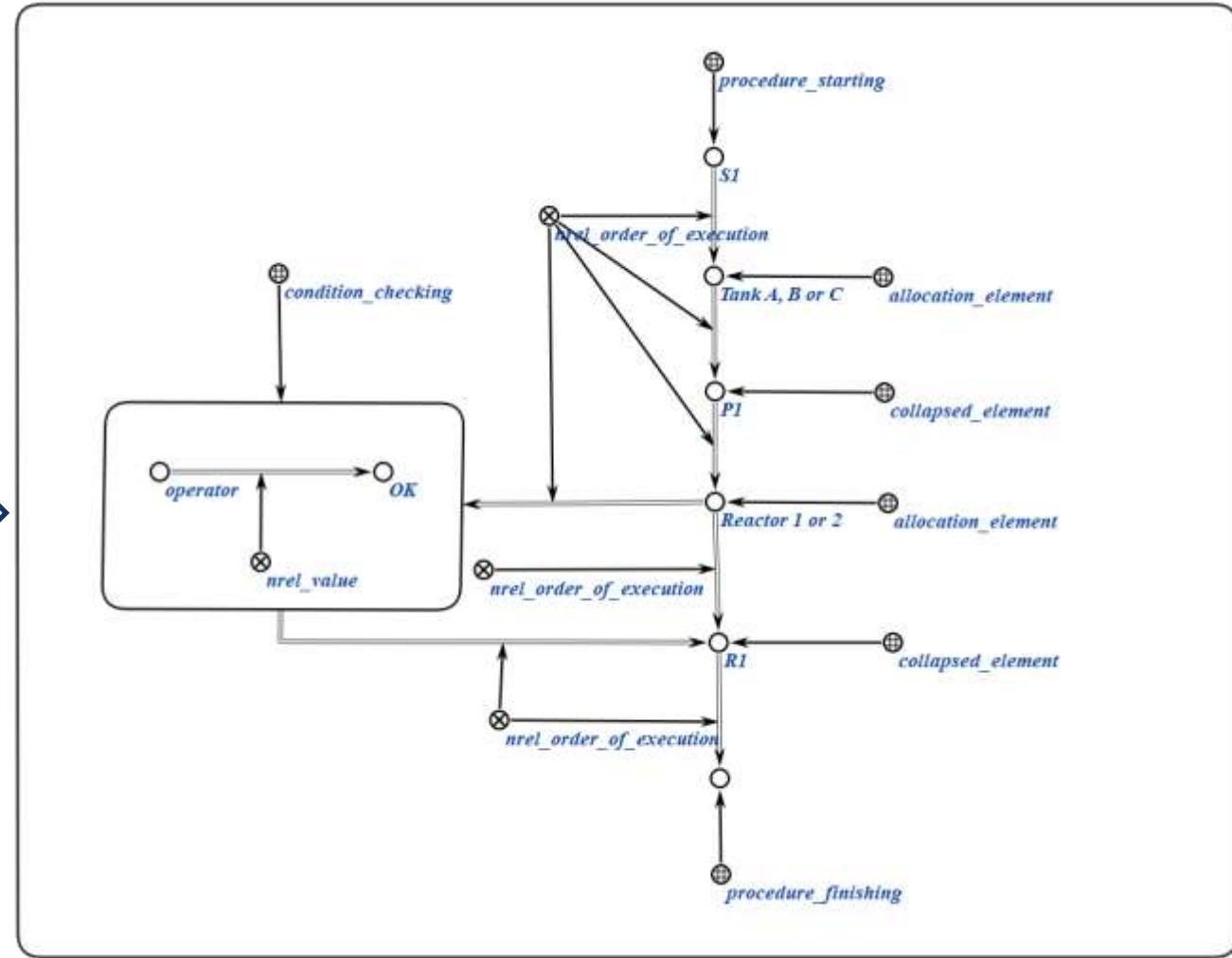


SC-код (примеры на SCg)

Процессы



Ввод оператора = готовность к запуску

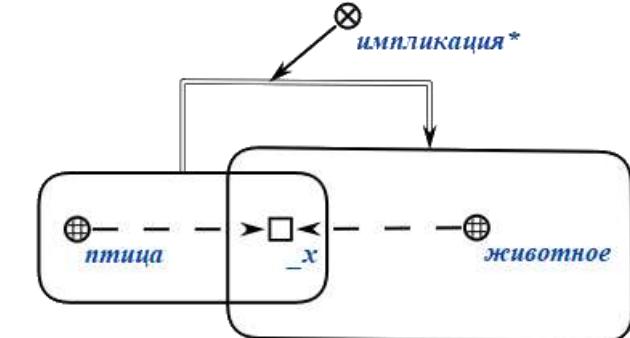




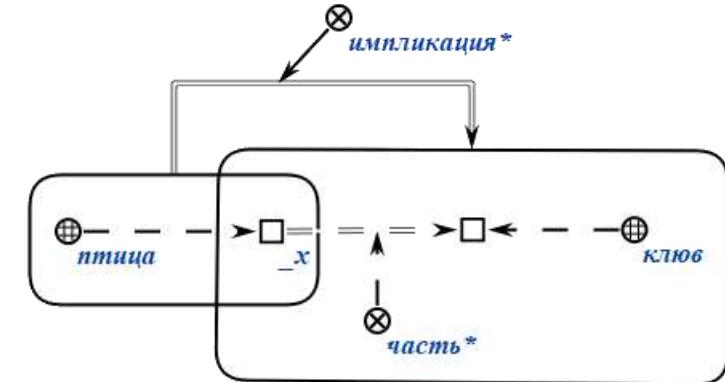
SC-код (примеры на SCg)

Элементарные логические правила

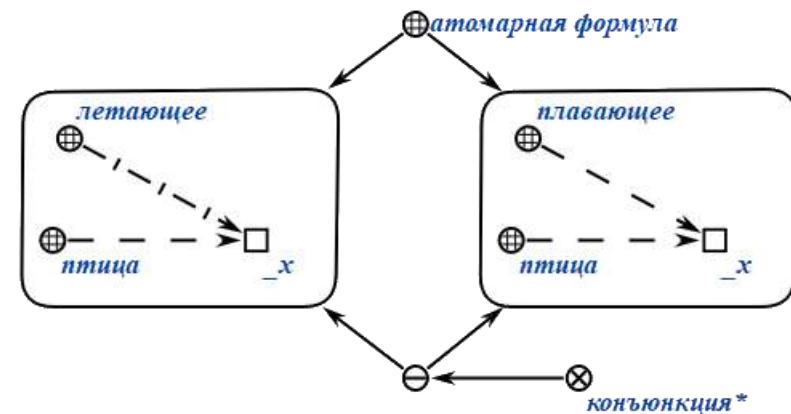
ЕСЛИ **X** - птица, ТО **X** – животное



ЕСЛИ **X** - птица, ТО у **X** есть клюв



СУЩЕСТВУЮТ птицы, которые
плавают, и СУЩЕСТВУЮТ птицы,
которые НЕ летают



Технология OSTIS

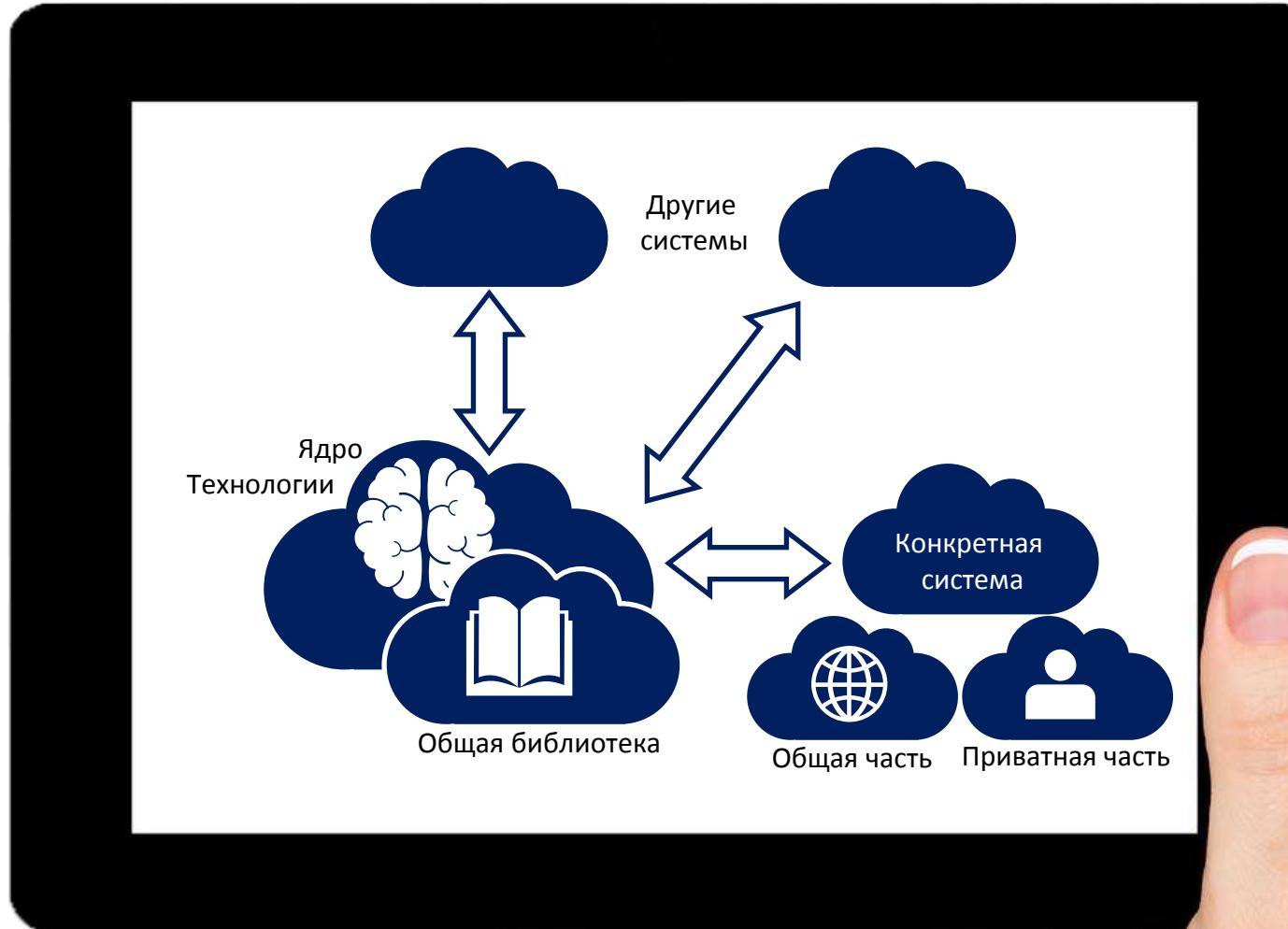
Достоинства и особенности технологии:

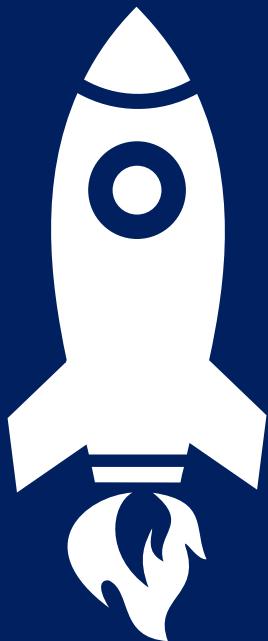
- унификация различных видов знаний с помощью **SC-кода**
- **база знаний** на основе иерархической системы предметных областей и онтологий
- **решатель задач** основан на **многоагентном подходе**, при котором агенты взаимодействуют между собой событийно, путем спецификации выполняемых ими действий в базе знаний
- ориентация на аппаратные платформы нового поколения – **семантический ассоциативный компьютер**
- наличие программного **варианта реализации платформы** интерпретации семантических моделей интеллектуальных систем (sc-моделей)
- **библиотека** многократно используемых компонентов

01

Следующий этап – Экосистема OSTIS

Архитектура Экосистемы OSTIS





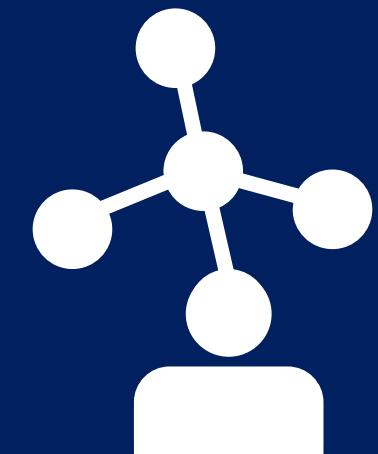
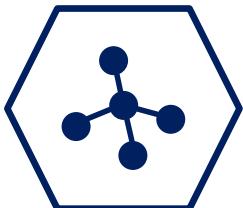
Состав Экосистемы OSTIS

- Множество *ostis-метасистем*, реализующих Технологию OSTIS, включающих **библиотеки многократно используемых компонентов ostis-систем**. Инструментальные средства также являются такими компонентами
- Множество прикладных ostis-систем
- Конечные пользователи и разработчики



Достоинства Экосистемы OSTIS

- Формирование Глобальной базы знаний, **качество** которой (логичность, корректность, целостность) **постоянно проверяется** множеством агентов. Все проблемы описываются в **единой базе знаний**, и для их устранения при необходимости привлекаются специалисты.
- **Автоматизация обновления** компонентов ostis-систем и **перманентная поддержка семантической совместимости ostis-систем**
- **Комплексная децентрализованная автоматизация** различных видов человеческой деятельности
- **Человекоцентризм и персонализация** – пользователи взаимодействуют с Экосистемой OSTIS посредством **персональных ostis-ассистентов**



Подходы. Модели и методы

- Семиотика
- Общая топология
- Линейная алгебра
- Дискретная математика
 - Теория множеств
 - Теория графов
 - Математическая логика
 - Анализ формальных понятий
- Формальная лингвистика
 - Теория обобщённых формальных языков



Подходы

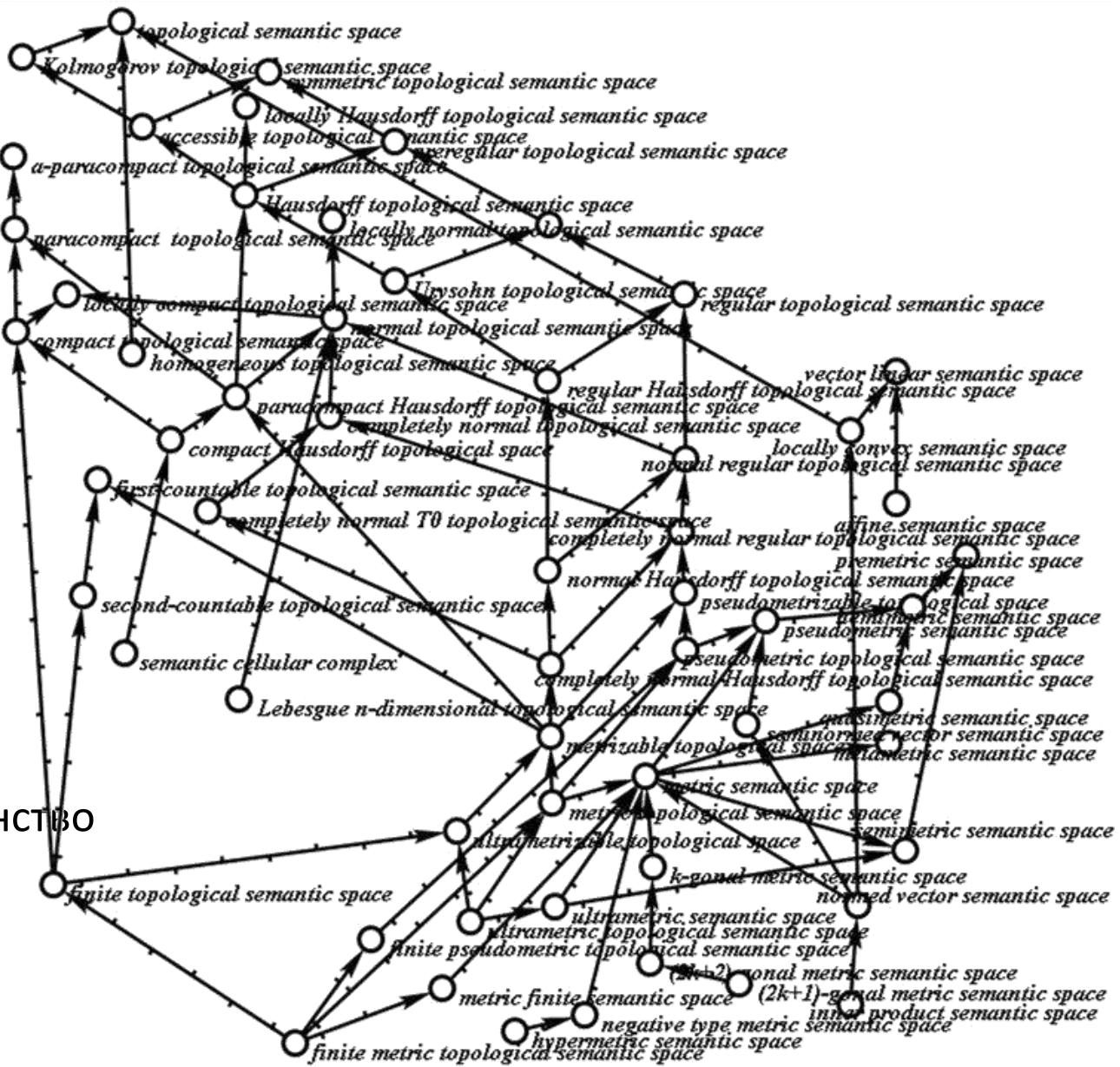
Подходы к моделированию смыслового (семантического) пространства	
экстериорные	интериорные
аналитические	синтетические
эмпирические	теоретические
количественные	качественные
статистические, вероятностные	логические, управляемые знаниями

Задачи

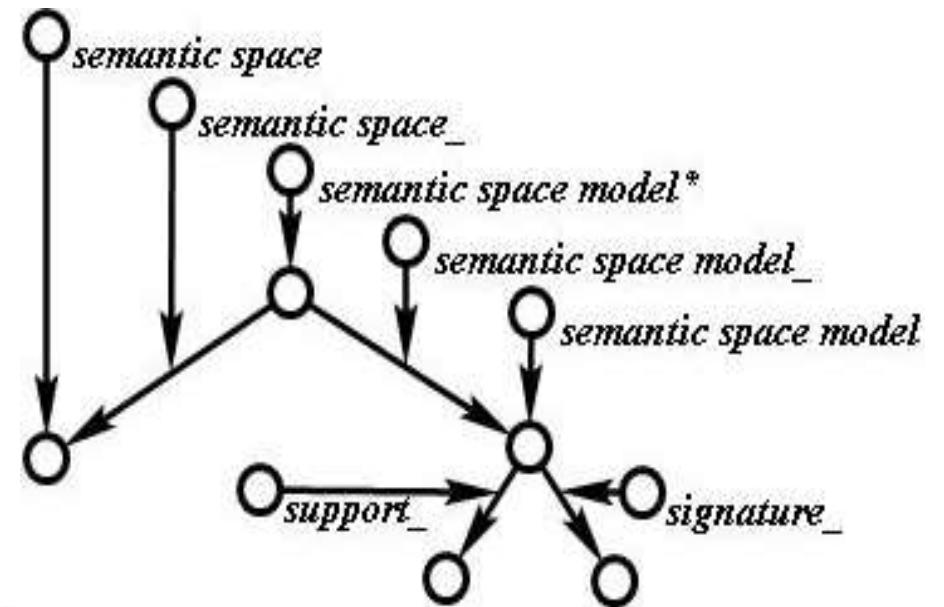
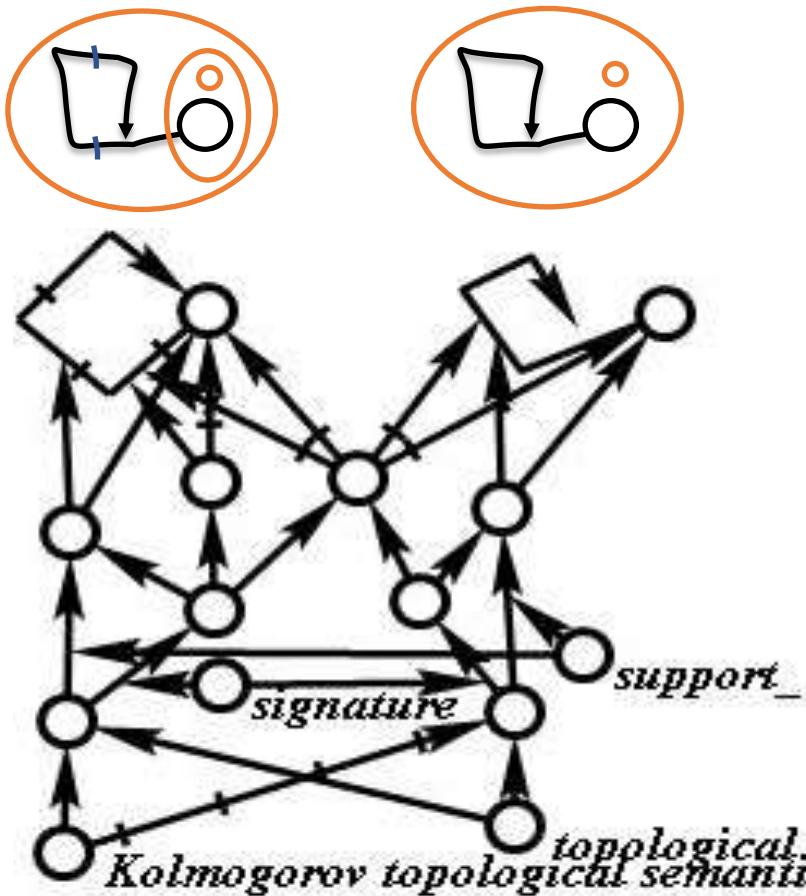
- построить онтологию видов смысловых пространств, которые позволяют соотносить известные смысловые пространства и подпространства общего смыслового пространства с их видами;
- построить модели метрических и топологических смысловых пространств конечных структур с операционной семантикой и конечных сильносвязных онтологических структур, согласованных с понятием экстенсионала и экстенсионального замыкания;
- сформулировать требования к модели метрического смыслового пространства протомультиверсальных чисел, согласующихся с нормой (метрикой) на действительных числах;
- сформулировать правила интеграции смысловых пространств, позволяющие получить интегрированное смысловое пространство для применения в задачах обеспечения интероперабельности

Онтология смысловых пространств

- Топологическое смысловое пространство
 - Псевдометрическое смысловое пространство
 - Метрическое смысловое пространство
 - Ультраметрическое смысловое пространство
 - Линейное векторное смысловое пространство
 - Конечное топологическое смысловое пространство
 - ...



Смысловые пространства



Примеры смысловых подпространств

Смыловые (под)пространства

В основе топологического смыслового пространства лежит понятие экстенсионала (объёма) понятия и экстенсионального замыкания, которое рассматривается как топологическое замыкание.

Под согласованностью топологического и метрического пространства понимается свойство:

- каждая окрестность топологического пространства является объединением либо – конечным пересечением шаров, радиусы которых выражены метрикой относительно их центров.

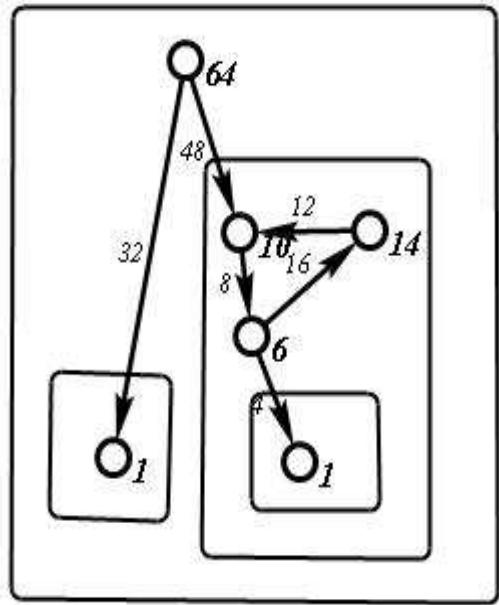
Смыловые (под)пространства

Пусть дано топологическое пространство $\langle X, S \rangle$.

- Обозначим топологическое замыкание множества M как $[M]_S$.
- Топологически сильносвязным множеством (классом неотделимости) будем называть класс отношения эквивалентности $[\{y\}]_S = [\{x\}]_S$.
- Определим функцию $C \in (2^X)^X : C(x) = \{y | [\{x\}]_S = [\{y\}]_S\}$.
- Допустим, что на классе $C(x)$ определена мера $\pi \in V^{C(x)}$, тогда введём меру $\mu \in V^X$ такую, что:
$$\mu(x) = 2 * \left((\alpha - 1) * \lim_{z \rightarrow \sup\{\pi(y) | y \in C(x)\}} \frac{\pi(x)}{z} + \sup \left(\{\mu(y) | [C(y)]_S \subset [C(x)]_S\} \right) \right)$$
,
где $\alpha \in V$ и $\alpha > 1$, а $V \subseteq \mathbb{R}$.
- При этом пусть $\pi(x) = 0$ при $\{x\} = C(x)$.
- Определим метрику рекурсивно следующим образом:

$$v(\langle x, z \rangle) = \begin{cases} |\mu(x) - \mu(z)| & ([\{z\}]_S \subset [\{x\}]_S) \vee ([\{x\}]_S \subset [\{z\}]_S) \\ \inf \left(\{v(\langle x, y \rangle) + v(\langle y, z \rangle) | y \in X\} \right) & (\emptyset \subset [\{z\}]_S / [\{x\}]_S) \wedge (\emptyset \subset [\{x\}]_S / [\{z\}]_S) \end{cases}$$

Смысловые пространства



	1	1	4	6	8	10	12	14	16	64	96	128
1	0	190	187	185	183	181	179	177	175	63	95	127
1	190	0	3	5	7	9	11	13	15	127	95	127
4	187	3	0	2	4	6	8	10	12	124	92	124
6	185	5	2	0	2	4	6	8	10	122	90	122
8	183	7	4	2	0	2	4	6	8	120	88	120
10	181	9	6	4	2	0	2	4	6	118	86	118
12	179	11	8	6	4	2	0	2	4	116	84	116
14	177	13	10	8	6	4	2	0	2	114	82	114
16	175	15	12	10	8	6	4	2	0	112	80	112
64	63	127	124	122	120	118	116	114	112	0	32	64
96	95	95	92	90	88	86	84	82	80	32	0	32
128	127	127	124	122	120	118	116	114	112	64	32	0

Пример согласованного метрического топологического
смыслового подпространства

Метрика для протомультиверсальных чисел

- Модель протомультиверсальных чисел разработана в целях обеспечения интерпретируемости результатов интеллектуальных систем, основанных на моделях сетевых вычислений, включая искусственные (в т. ч. квантовые) нейронные сети за счёт:
 - трактовки обрабатываемых образов как знаков
 - трактовки вычисляемых значений как денотатов
 - трактовки вычисляемых функций как семантических связей знак-денотат
 - описания числовых значений, учитывающим НЕ-факторы:
 - неопределённости – интервальное описание и использование ограничений
 - немонотонности – описание в зависимости от локализации в обобщённом пространстве-времени и операций редукции и расщепления-слияния
 - описания числовых значений, учитывающим свойства:
 - конструктивности (представление, использующее канонические формы)
 - топологические (логические признаки замкнутости, открытости, полуоткрытости)

Метрика для протомультиверсальных чисел

- Модель протомультиверсальных чисел задаётся: $\langle N, L, R, F, M, A \rangle$ множеством характеристических функций протомультиверсальных чисел M , множеством канонических форм чисел N , множеством элементов носителя пространственно-временной модели L , множеством переходов (операций) редукции R , множеством переходов (операций) расщепления-слияния F , множеством взаимных ограничений A .
- Для построения метрических характеристик протомультиверсальных чисел для каждой локации из L используются интервальные $\langle\langle\alpha, \chi\rangle, \langle\beta, \gamma\rangle\rangle \in (\{\perp, \top\} \times N)^2$
 - числовые признаки

$$\tau(\langle\chi, \gamma\rangle) = \frac{\chi + \gamma}{2}$$

$$\sigma(\langle\alpha, \beta\rangle) = |\{\emptyset | \alpha\}|$$

- и меры

$$\delta(\langle\chi, \gamma\rangle) = \chi - \gamma$$

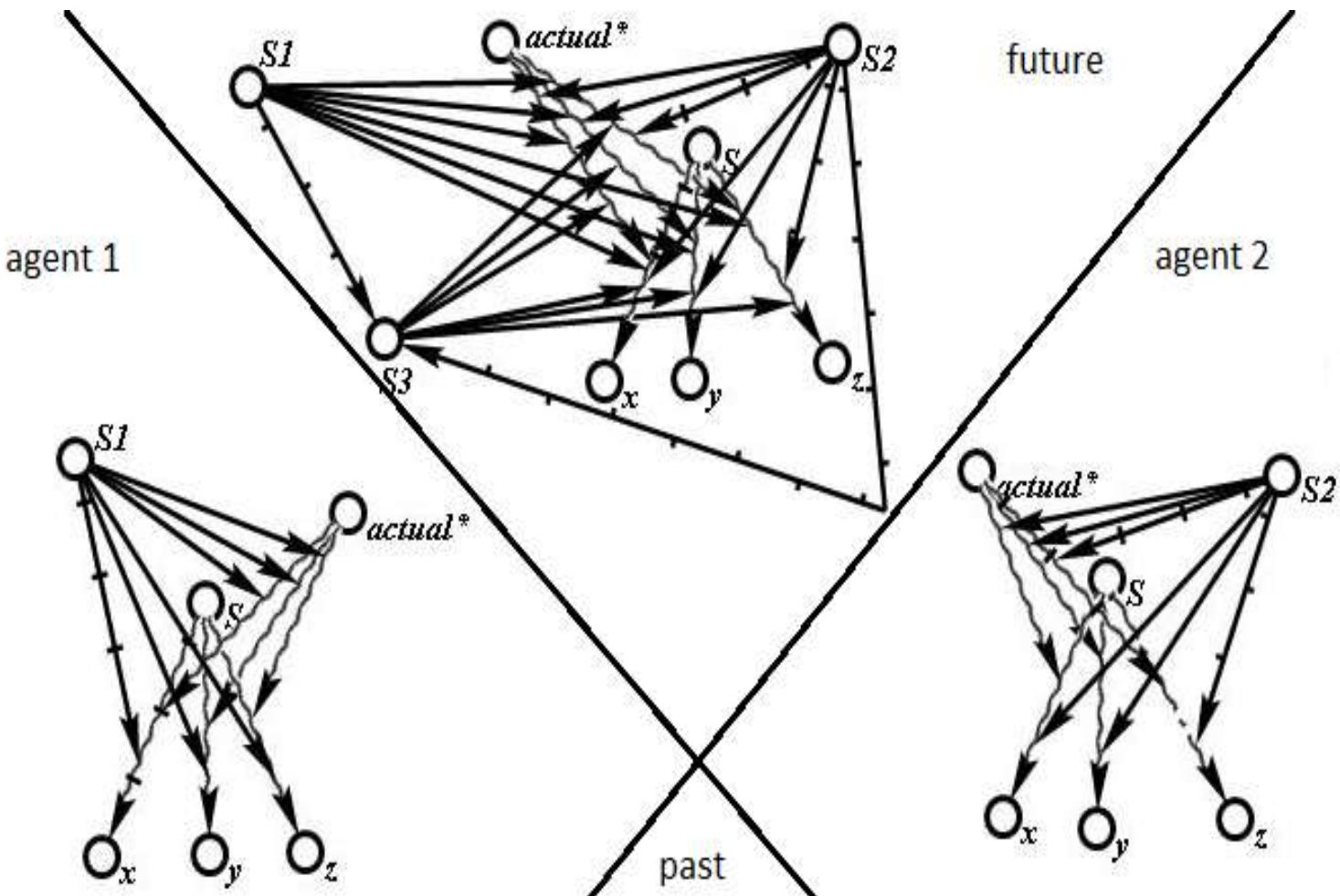
$$\lambda(\langle\alpha, \beta\rangle) = |\{\emptyset | \alpha \vee \beta\}|$$

а также используются правила интеграции.

Правила интеграции (псевдо)метрических пространств

1. Пусть на множестве X заданы псевдометрическое с псевдометрикой π (метрикой) пространства, а также $\lambda \geq 1$. Тогда $\langle X, \rho \rangle$ – псевдометрическое (метрическое) пространство, где $\rho(\langle x, y \rangle) = \lambda * \mu(\langle x, y \rangle)$.
2. Пусть на множестве X заданы псевдометрическое с псевдометрикой π и псевдометрическое с псевдометрикой μ пространства, а также $\lambda \geq 1$. Тогда $\langle X, \rho \rangle$ – псевдометрическое (метрическое – в случае $(\neg(x = y)) \rightarrow (\mu(\langle x, y \rangle) + \pi(\langle x, y \rangle) \geq 0)$) пространство, где
$$\rho(\langle x, y \rangle) = \left(\left(\mu(\langle x, y \rangle)^\lambda \right) + \left(\pi(\langle x, y \rangle)^\lambda \right) \right)^{(\lambda^{-1})}$$
или
$$\rho(\langle x, y \rangle) = \max \left(\{\mu(\langle x, y \rangle)\} \cup \{\pi(\langle x, y \rangle)\} \right).$$

Понятие актуального



Пример интеграции фрагментов онтологий интеллектуальных агентов в распределённой многоагентной системе, включающих понятие актуального (актуальной принадлежности)

Технология OSTIS

Достоинства и особенности технологии:

- унификация различных видов знаний с помощью **SC-кода**
- **база знаний** на основе иерархической системы предметных областей и онтологий
- **решатель задач** основан на **многоагентном подходе**, при котором агенты взаимодействуют между собой событийно, путем спецификации выполняемых ими действий в базе знаний
- ориентация на аппаратные платформы нового поколения – **семантический ассоциативный компьютер**
- наличие программного **варианта реализации платформы** интерпретации семантических моделей интеллектуальных систем (sc-моделей)
- **библиотека** многократно используемых компонентов

Сообщество OSTIS

- Информационный канал в Telegram
- Исходные тексты программной платформы и компонентов
<https://github.com/ostis-ai>
- Открытые проекты на базе технологии
<https://github.com/ostis-apps>
- Образовательные материалы о Технологии OSTIS
<https://github.com/ostis-education>
- Канал на youtube (OSTIS Project)
https://www.youtube.com/channel/UCjSsaMxDmA_LEnG4Rzadpw
- Реализация проектов в области энергетики, банковской сферы, медицины, юриспруденции, ЖКХ, образования, транспорта
- Интеграция семантических моделей с нейросетевыми, в частности LLM



Спасибо за внимание!

golen@bsuir.by

ivashenko@bsuir.by

shunkevich@bsuir.by