

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

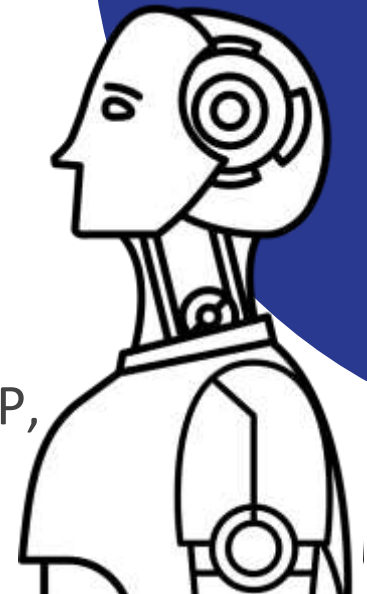
Голенков Владимир Васильевич, д.т.н., профессор

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

Ивашенко 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

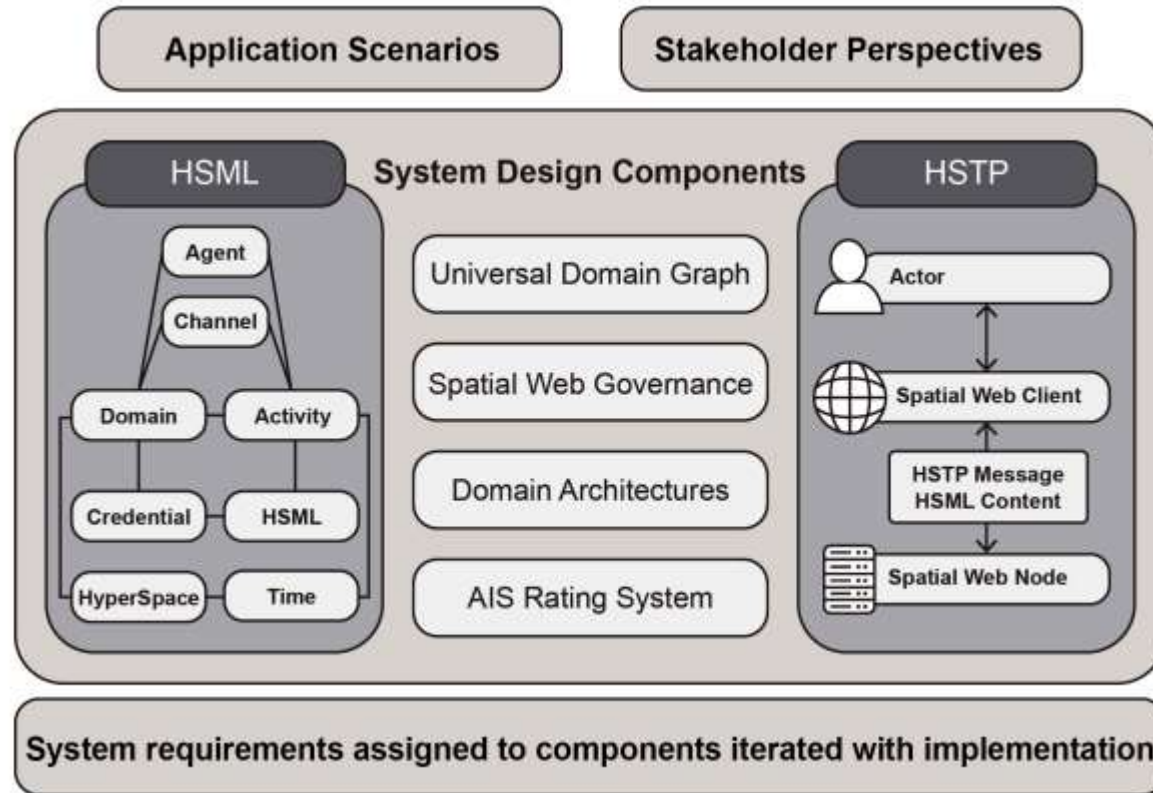
# The Spatial Web

- «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)

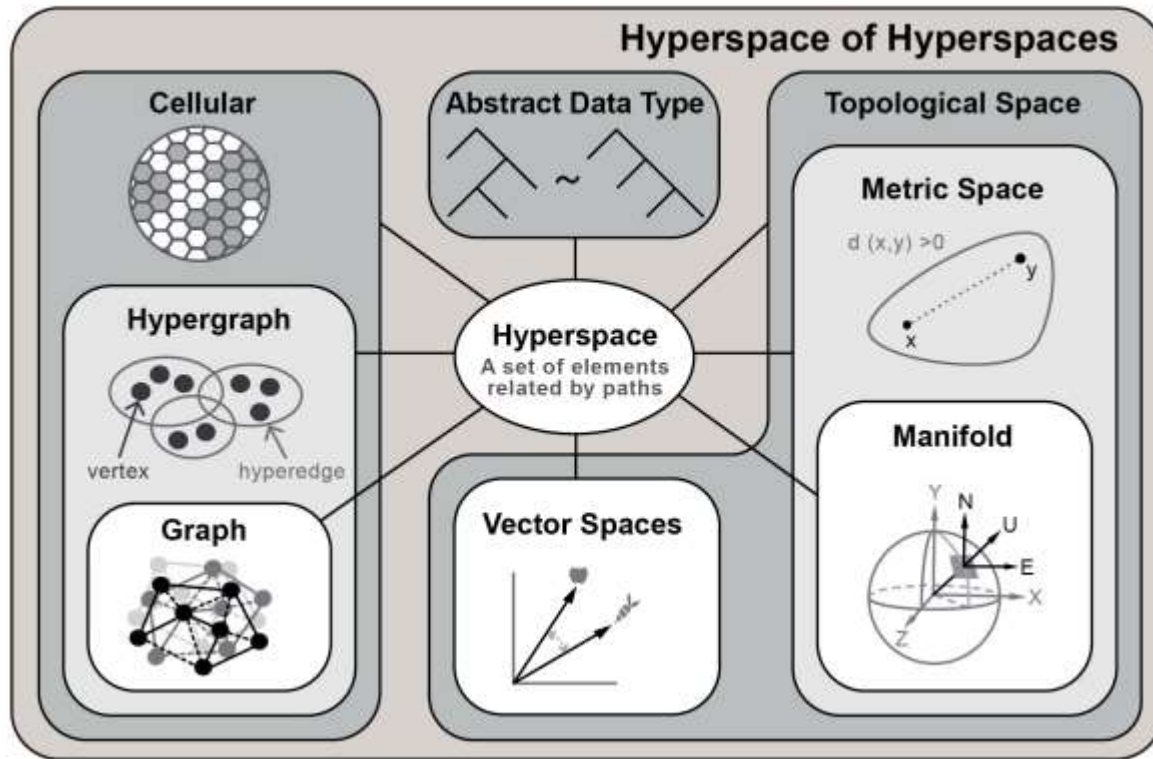
- «Spatial Web объединяет физический и виртуальный миры, преодолевая географические и национальные границы, создавая глобальное пространство для самовыражения и воображения. Эта **конвергенция**, ставшая возможной благодаря децентрализации технологий, **искусственному интеллекту**, автономным транспортным 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 (**HSTP**), 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 HSTP.»

# The Spatial Web

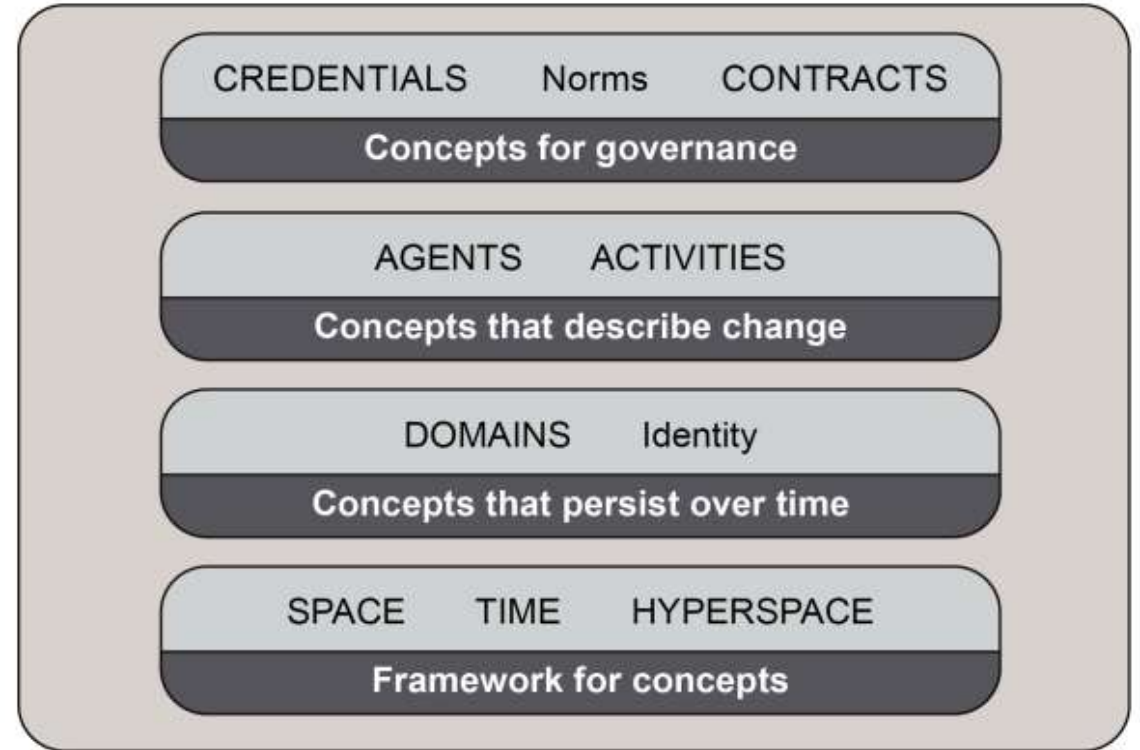


System engineering of the Spatial Web (architectural design approach)

# 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

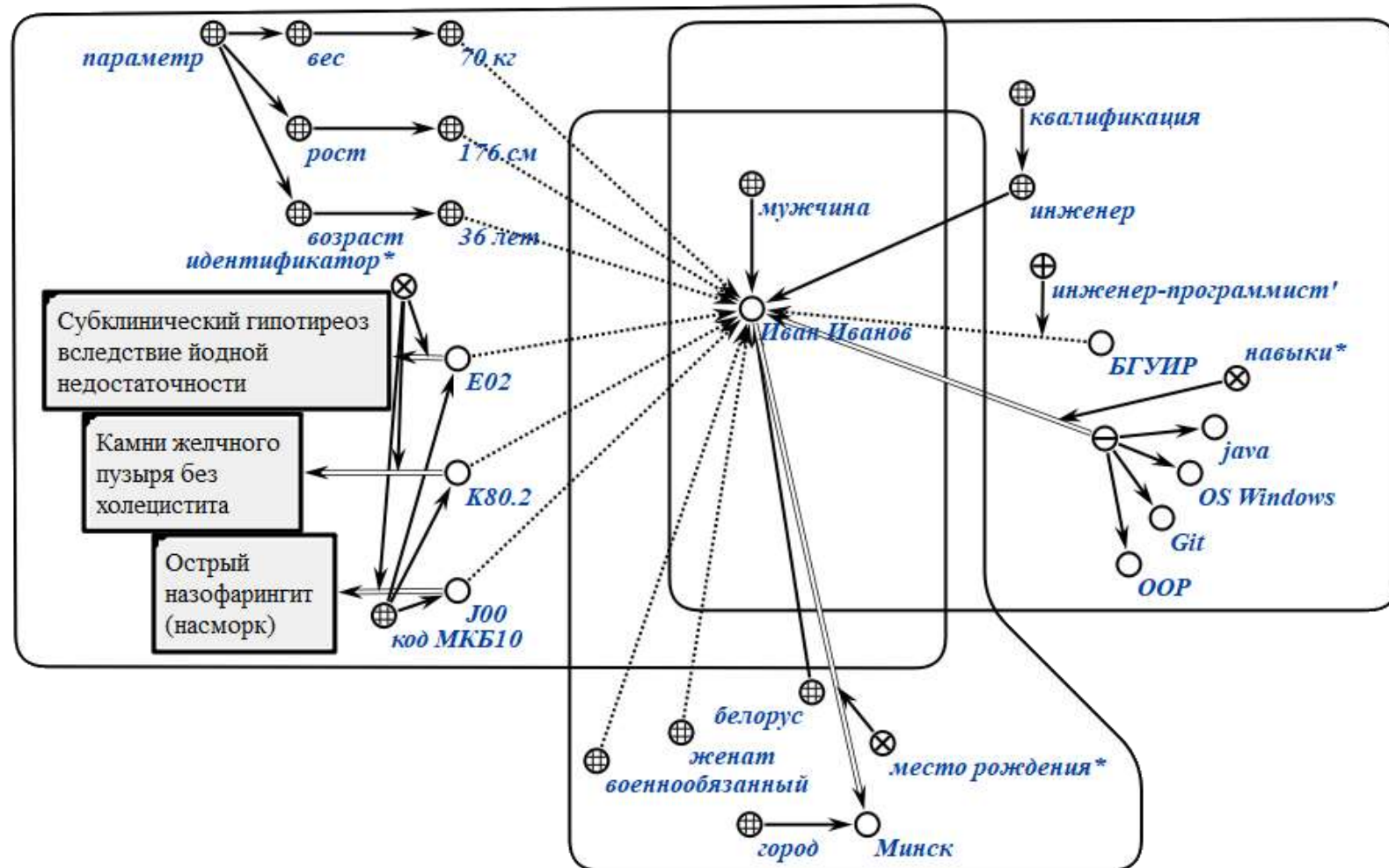
вид sc-элемента	изображение
sc-элемент общего (неуточняемого) вида	
sc-узел	
sc-дуга постоянной принадлежности	
sc-дуга временной актуальной принадлежности	
sc-дуга временной неактуальной принадлежности	
sc-дуга нечёткой принадлежности	
sc-дуга временной неактуальной непринадлежности	
sc-дуга временной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

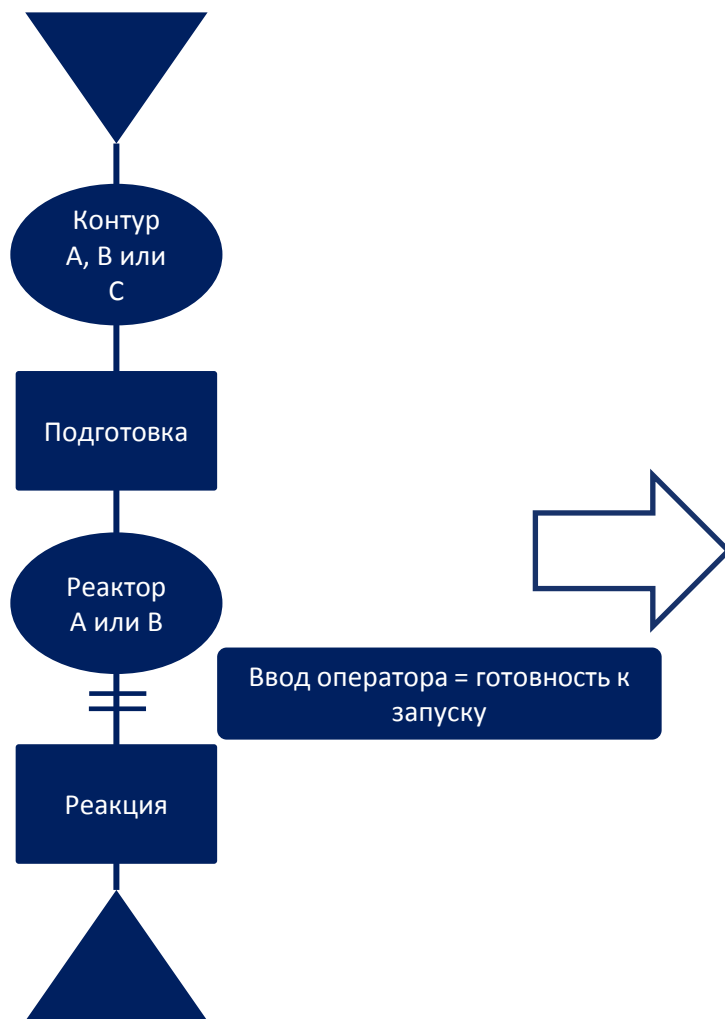
# SC-код (примеры на SCg)

Различные виды фактов о какой-либо сущности

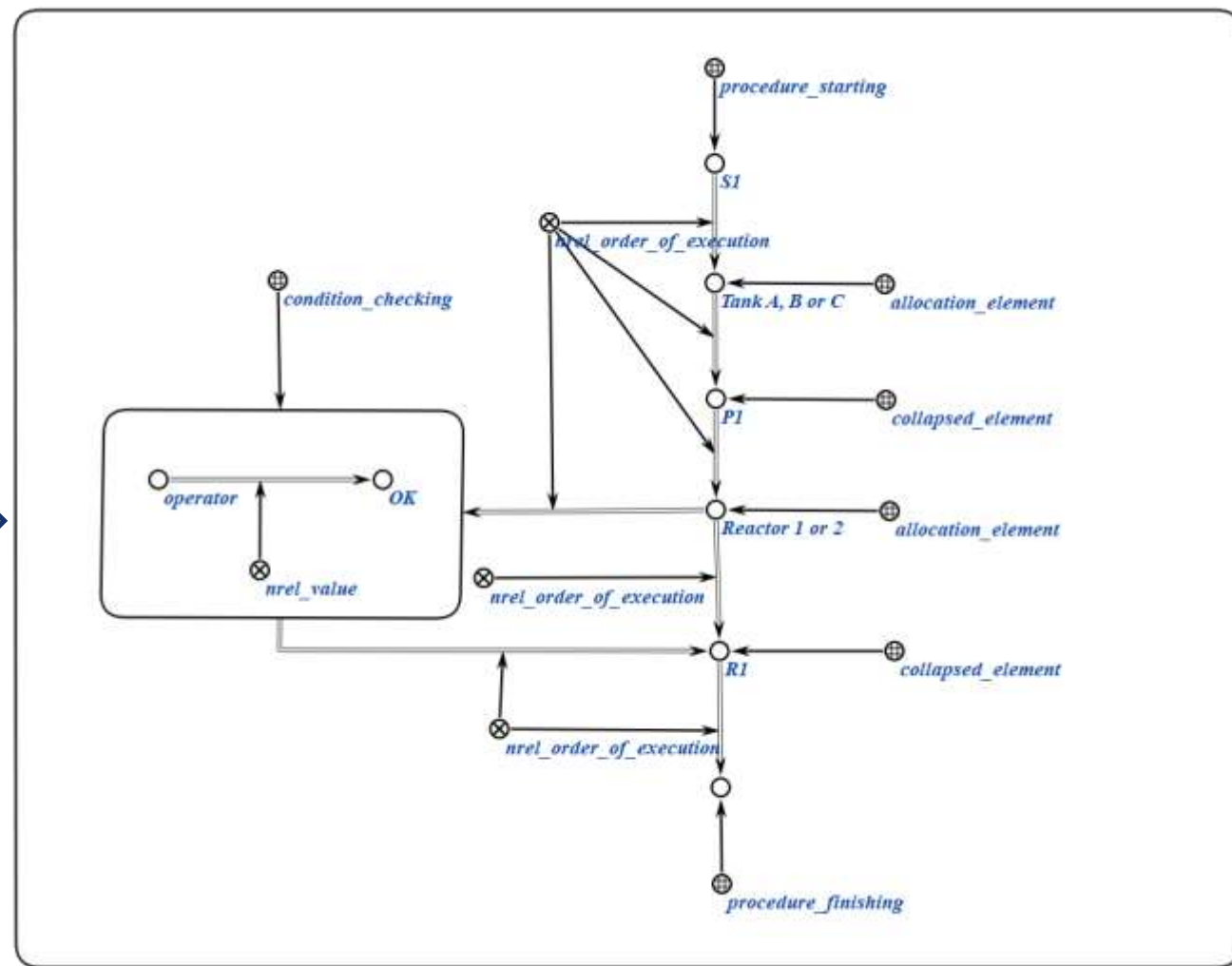


# SC-код (примеры на SCg)

## Процессы



Ввод оператора = готовность к запуску

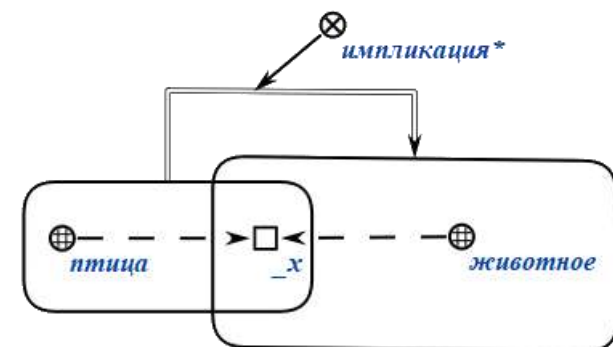




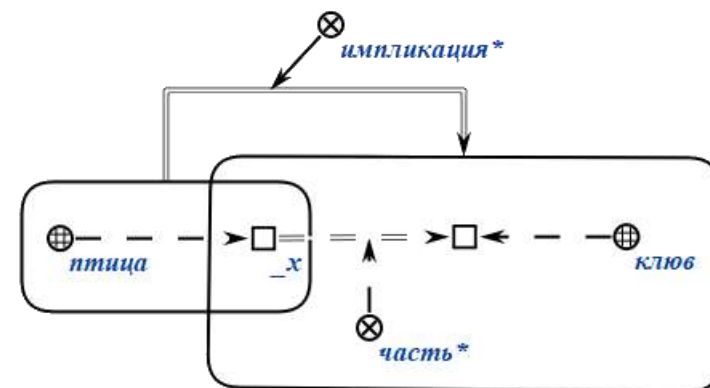
# SC-код (примеры на SCg)

Элементарные логические правила

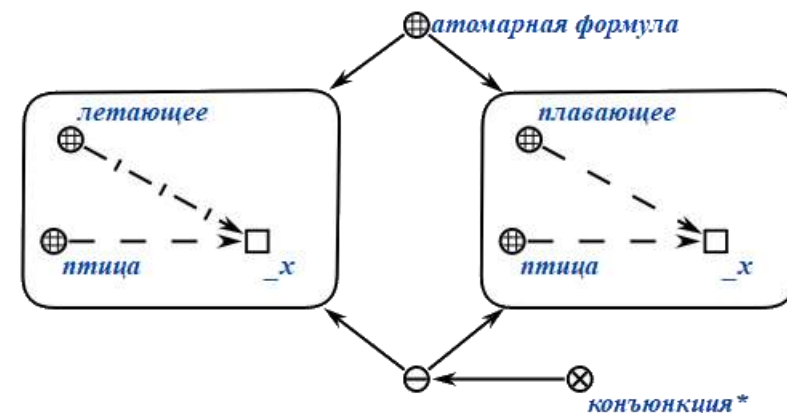
ЕСЛИ **x** - птица, ТО **x** – животное



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



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



# Технология OSTIS

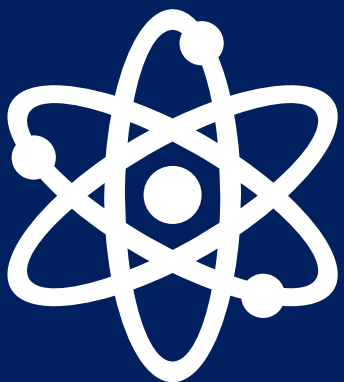
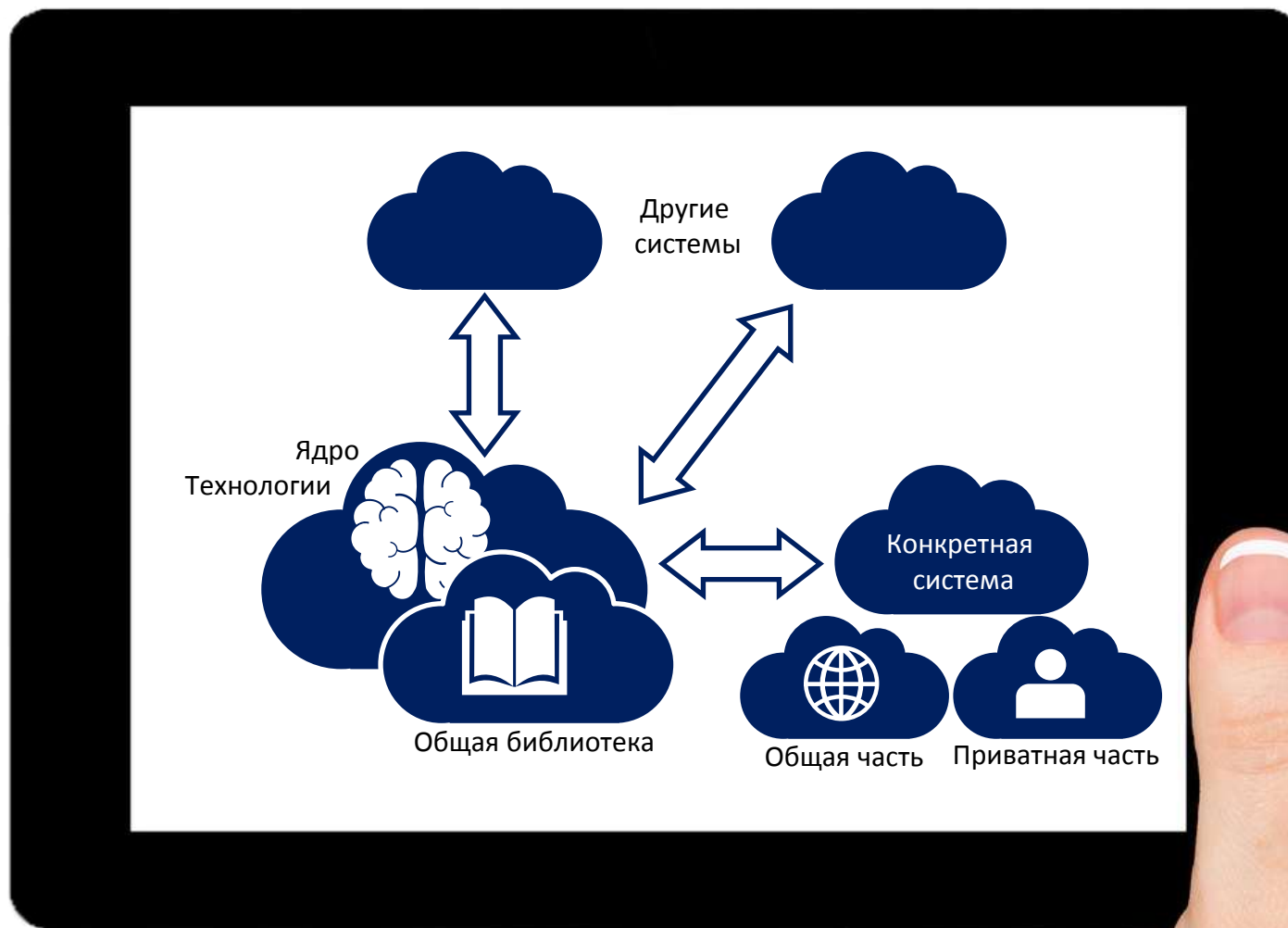
Достоинства и особенности технологии:

- 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

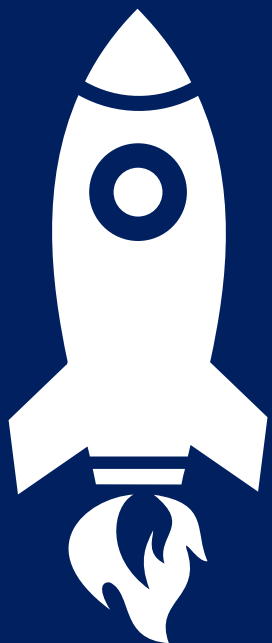
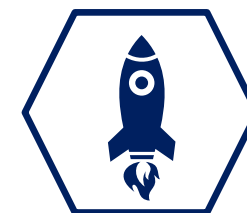
### Архитектура Экосистемы OSTIS





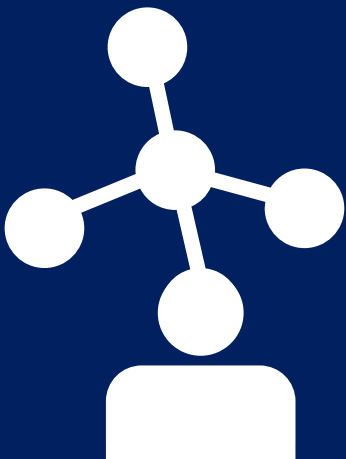
# Состав Экосистемы OSTIS

- 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

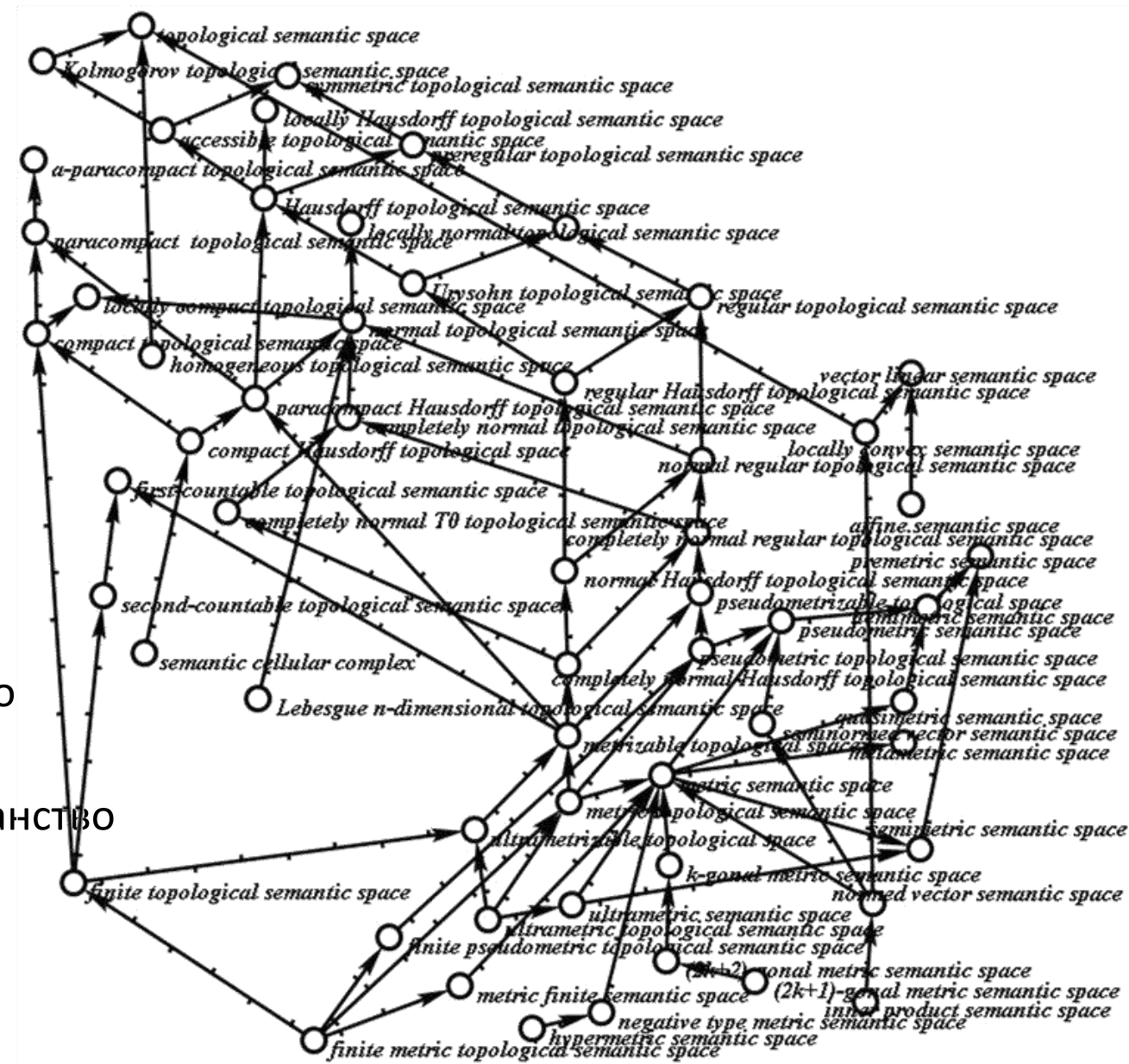
Подходы к моделированию смыслового (семантического) пространства	
экстериорные	интериорные
аналитические	синтетические
эмпирические	теоретические
количественные	качественные
статистические, вероятностные	логические, управляемые знаниями

# Задачи

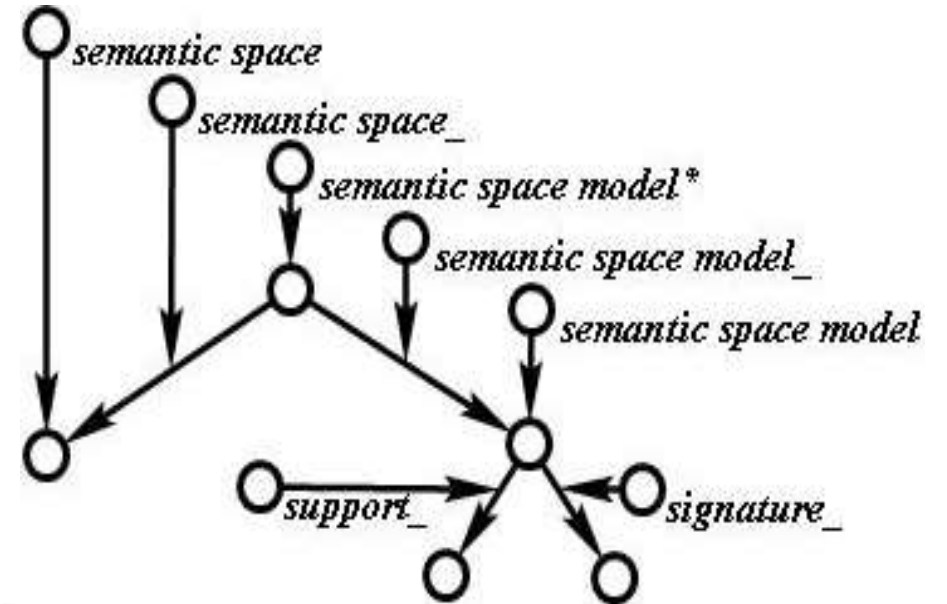
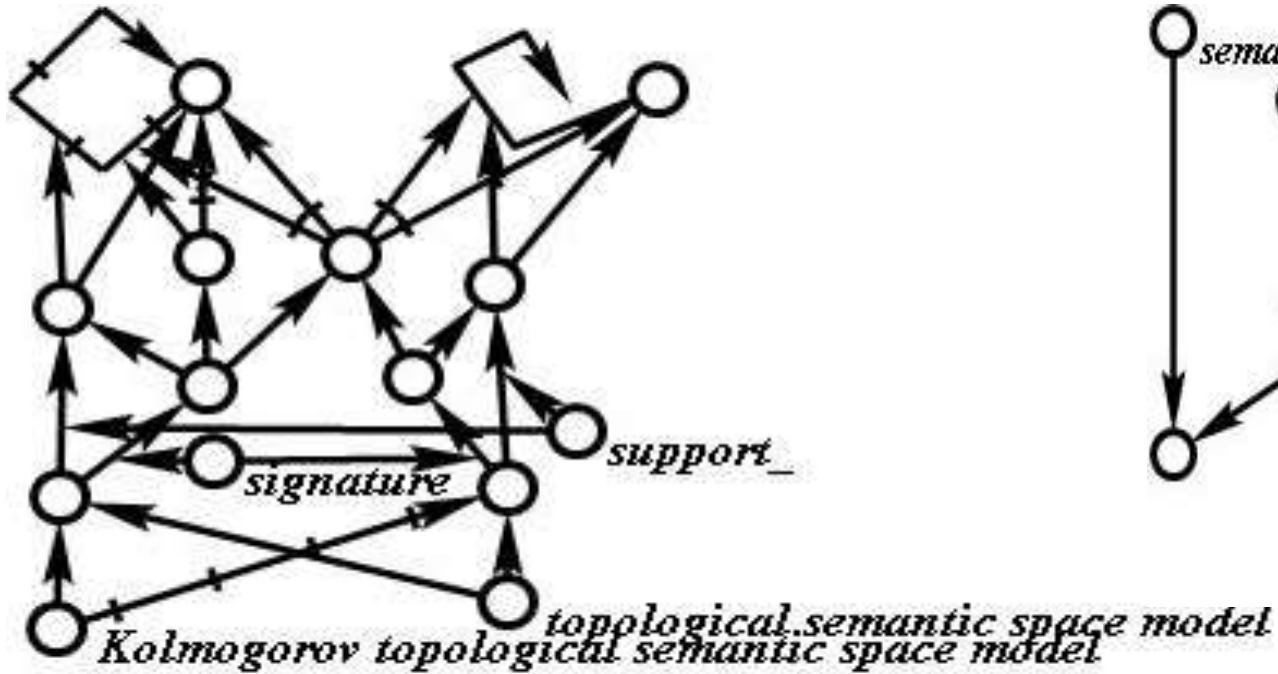
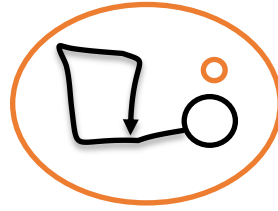
- построить онтологию видов смысловых пространств, которые позволяют соотносить известные смысловые пространства и подпространства общего смыслового пространства с их видами;
- построить модели метрических и топологических смысловых пространств конечных структур с операционной семантикой и конечных сильносвязных онтологических структур, согласованных с понятием экстенционала и экстенционального 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

# Смысловые (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.



# Смысловые (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  $C \in (2^X)^X : C(x) = \{y \mid [\{x\}]_S = [\{y\}]_S\}$ .
- Допустим, что на классе  $C(x)$  определена мера  $\pi \in V^{C(x)}$ , тогда введём меру  $\mu \in V^X$  такую, что:

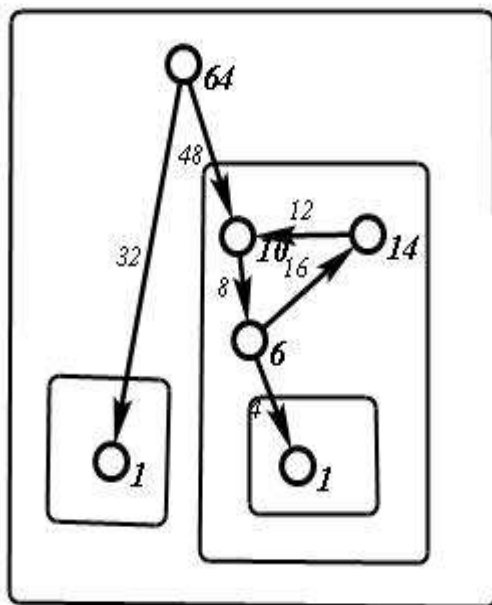
$$\mu(x) = 2 * \left( (\alpha - 1) * \lim_{z \rightarrow \sup\{\pi(y) \mid y \in C(x)\}} \frac{\pi(x)}{z} + \sup \left( \left\{ \mu(y) \mid [C(y)]_S \subset [C(x)]_S \right\} \right) \right),$$

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:

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

# 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
$$\tau(\langle \chi, \gamma \rangle) = \frac{\chi + \gamma}{2} \qquad \sigma(\langle \alpha, \beta \rangle) = |\{\emptyset | \alpha\}|$$
  - и меры
$$\delta(\langle \chi, \gamma \rangle) = \chi - \gamma \qquad \lambda(\langle \alpha, \beta \rangle) = |\{\emptyset | \alpha \sqsubseteq \beta\}|$$а также используются **правила интеграции**.

# Правила интеграции (псевдо)метрических пространств

1. Пусть на множестве  $X$  заданы псевдометрическое с псевдометрикой  $\pi$  (метрикой) пространства, а также  $\lambda \geq 1$ .  
Тогда  $\langle X, \rho \rangle$  – псевдометрическое (метрическое) пространство, где  

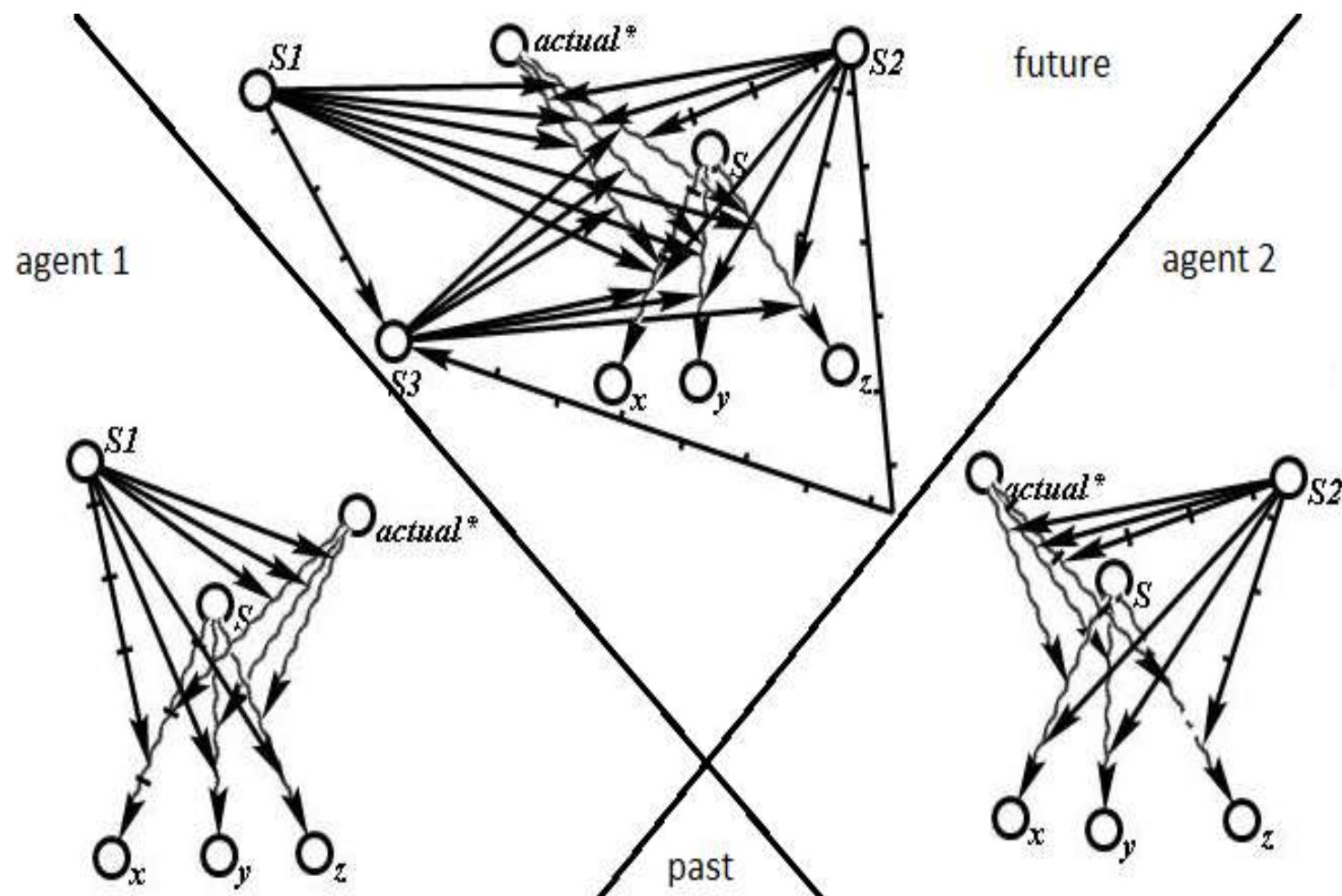
$$\rho(\langle \chi, \gamma \rangle) = \lambda * \mu(\langle \chi, \gamma \rangle).$$
2. Пусть на множестве  $X$  заданы псевдометрическое с псевдометрикой  $\pi$  и псевдометрическое с псевдометрикой  $\mu$  пространства, а также  $\lambda \geq 1$ .  
Тогда  $\langle X, \rho \rangle$  – псевдометрическое (метрическое – в случае  
 $(\neg(\chi = \gamma)) \rightarrow (\mu(\langle \chi, \gamma \rangle) + \pi(\langle \chi, \gamma \rangle) \geq 0)$ ) пространство, где  

$$\rho(\langle \chi, \gamma \rangle) = \left( \left( \mu(\langle \chi, \gamma \rangle)^\lambda \right) + \left( \pi(\langle \chi, \gamma \rangle)^\lambda \right) \right)^{(\lambda^{-1})}$$

или

$$\rho(\langle \chi, \gamma \rangle) = \max \left( \{ \mu(\langle \chi, \gamma \rangle) \} \cup \{ \pi(\langle \chi, \gamma \rangle) \} \right).$$

# 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/UCjSsaMx\\_DmA\\_LEnG4Rzadpw](https://www.youtube.com/channel/UCjSsaMx_DmA_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](mailto:golen@bsuir.by)*

*[ivashenko@bsuir.by](mailto:ivashenko@bsuir.by)*

*[shunkevich@bsuir.by](mailto:shunkevich@bsuir.by)*