Первопорядковый логический вывод при решении задач распознавания с использованием результатов, полученных алгоритмически и нейросетевыми методами

Евгений Черкашин, Оксана Мазаева, Игорь Бычков

Институт динамики систем и теории управления СО РАН
Институт земной коры СО РАН
Институт математики и информационных технологий ИГУ
Иркутск, Россия

eugeneai@icc.ru

8.10.2024 , Новосибирск

Проблематика распознавания

1. Термин *искусственный интеллект* (ИИ) в настоящее время связывают с моделями, основанными на машинном обучении (МО):
   - нейронными сетями, включая этапы свертки,
   - генерирующими нейронными сетями,
   - моделями регрессии, таксономии, классификации на основе машинного обучения и т. п.
2. Известное ограничение применимости МО – невозможность интерпретации получаемых моделей в виде процедуры трансформации данных: нейронная сеть – это набор коэффициентов.
3. Другое ограничение МО – сложность построения моделей МО распознавания свойств (*динамических систем*), например, свойств процесса, представленного набором кадров видео. Необходимо уметь распознавать
   - набор допустимых состояний объектов, их классификация,
   - классы «недопустимых» и «целевых» состояний,
   - правила перехода объектов из состояния в состояние,
   - правила изменения свойств при выполнении перехода,
   - общий сценарий (модель) поведения объектов.

Проблематика распознавания сценариев

1. Применение МО требует большой объем данных для обучения, тестирования, верификации.
2. Предлагаемый вариант модели решения – построение иерархической системы моделей распознавания на основе существующих моделей МО «общего назначения»:
   - нижние уровни – результаты распознавания алгоритмами и моделями МО,
   - средние уровни – анализ статических свойств сцен,
   - боле высокие уровни – анализ (распознавание) динамических свойств.

   Результат анализа – классификация сценария (модели) и идентификация параметров.
3. Структуры данных результата далее интерпретируются, например, трансформируются в новую модель.
4. Ресурсы вкладываются не в создание новой модели МО с непредсказуемыми свойствами, а в построение моделей рассуждения.

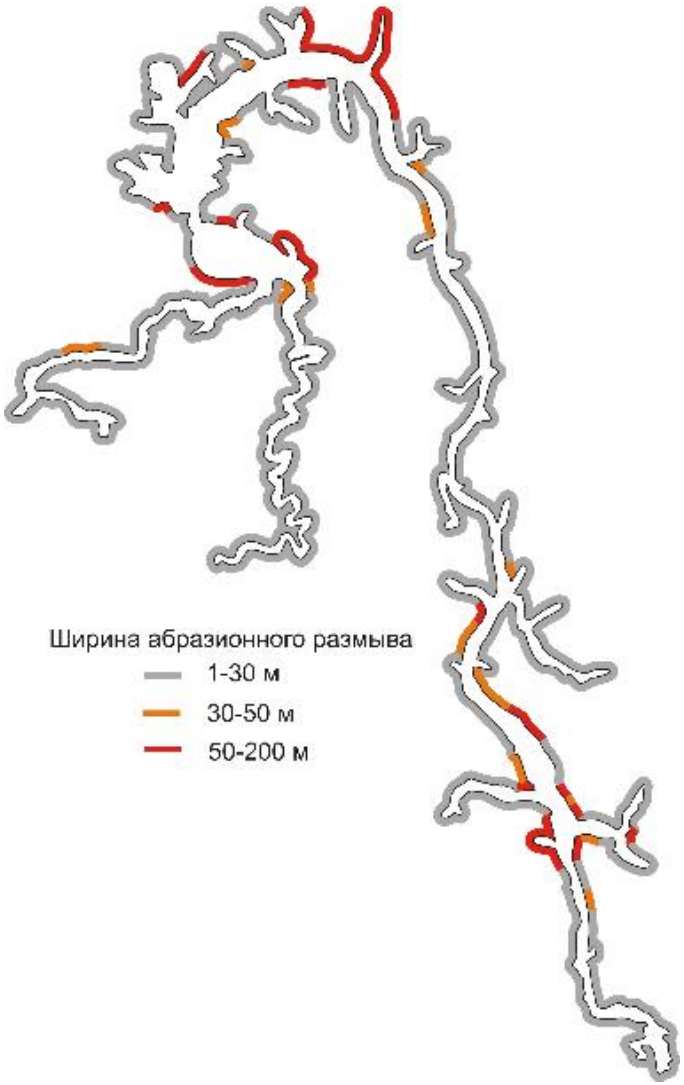
Инструменты реализации

1. Алгоритмы распознавания (регулярные выражения, свертки)
2. Универсальные предобученные нейронные сети
3. Хранилища разноформатных данных, накапливающие семантическую информацию об объектах
4. Обеспечение доступа к внешним данным и знаниям
5. Логическое программирование (ЛП): языки, реализации
6. Методики представления моделей на языках ЛП:
   - моделирование сценариев,
   - процедур идентификации структур и параметров,
   - трансформации получаемых структур

Экспериментальный инструментарий

- Предобученная НС изображений (Segment Anything, 2024)
- Хранение данных в распределенных графах знаний. Linked Open Data (LOD), SPARQL
- Язык логического ООП (ЛООП) Logtalk - макропакет над разными реализациями ISO-Prolog
- Методики применения ЛООП при проектировании моделей распознавания и трансформации

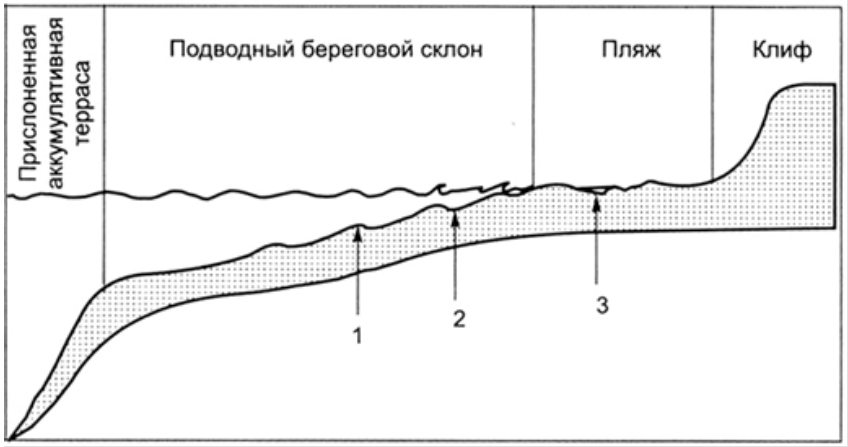
Мониторинг береговой зоны Братского водохранилища



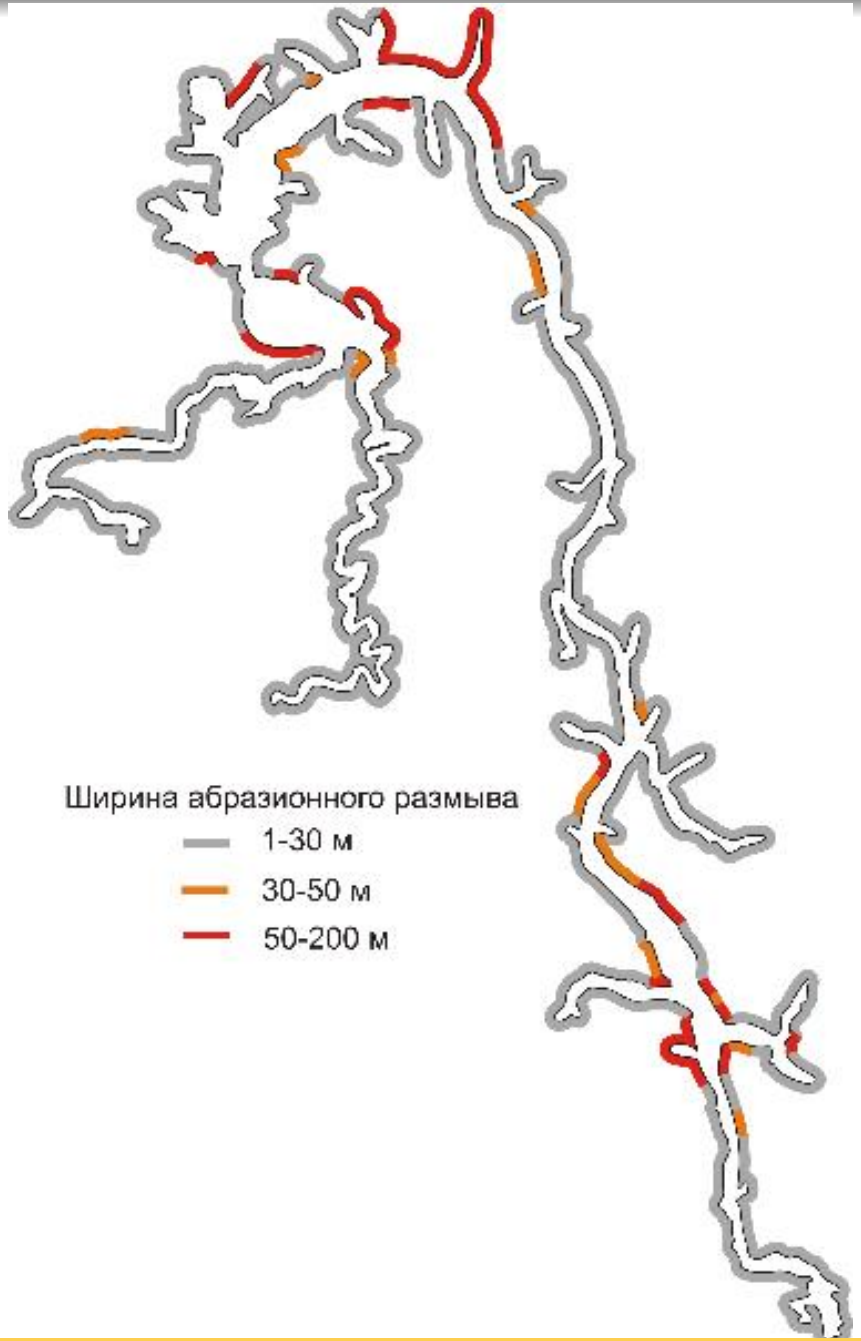
Результаты мониторинга: после более 50-ти лет эксплуатации береговая зона все еще не достигла стадии устойчивого равновесия. Сохраняется абразионный размыв, особенно береговых склонов, сложенных рыхлыми отложениями.

От стабильности береговой зоны зависит возможность ее технического, рекреационного и др. видов использования, особенно в условиях, когда уровень воды регулируется технически в достаточно большом диапазоне значений сезонного (2-3 м) и многолетнего регулирования (до 10 м).

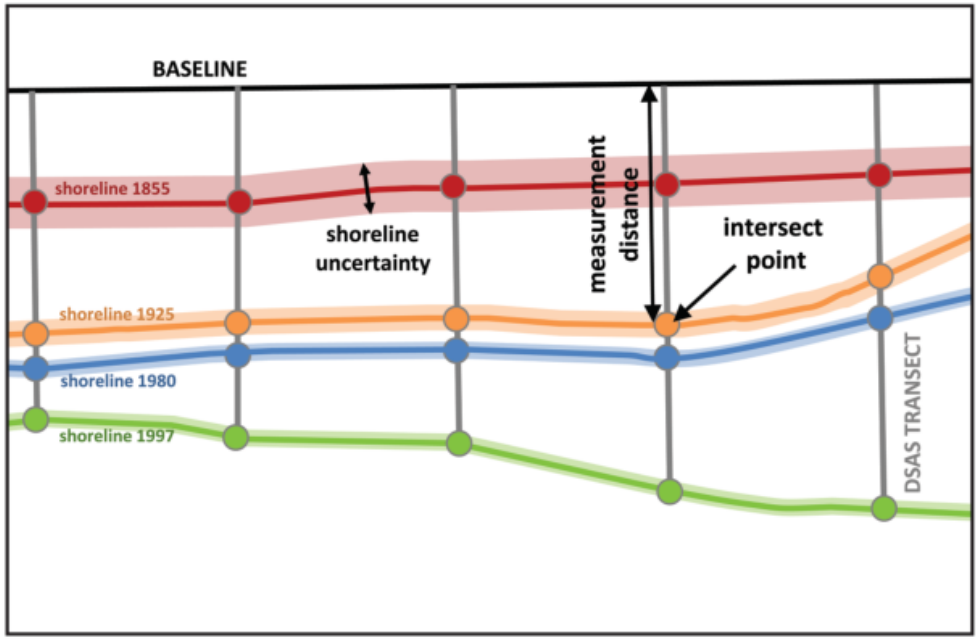
Береговая зона Братского водохранилища



За положение береговой линии принята последовательная линейная характеристика - положение бровки берегового уступа, которое изменяется под воздействием волновой деятельности водохранилища и процессов разрушения берегового уступа.



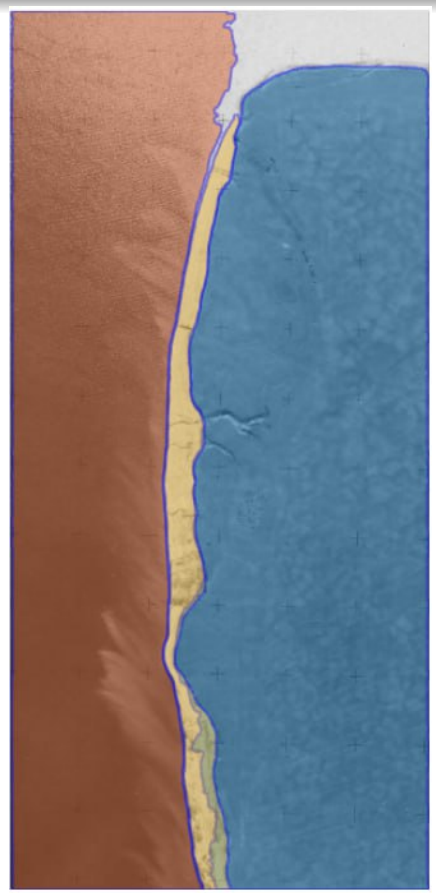
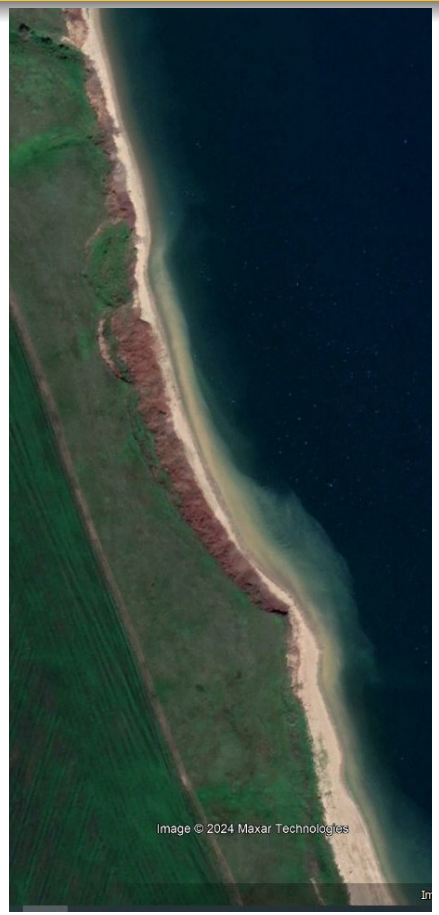
Прогнозирование конура береговой линии



Модель экстраполирует контур береговой линии по точкам вдоль нормали к базовой линии. Исходными данными служат контуры береговых линий, соответствующие разным годам. Исходные данные для получение контуров – спутниковые, аэрофотоснимки, съемка с квадрокоптера и непосредственно измерение.

Проблема – распознавание контуров береговых линий на растровых изображениях, имеющих различные характеристики.

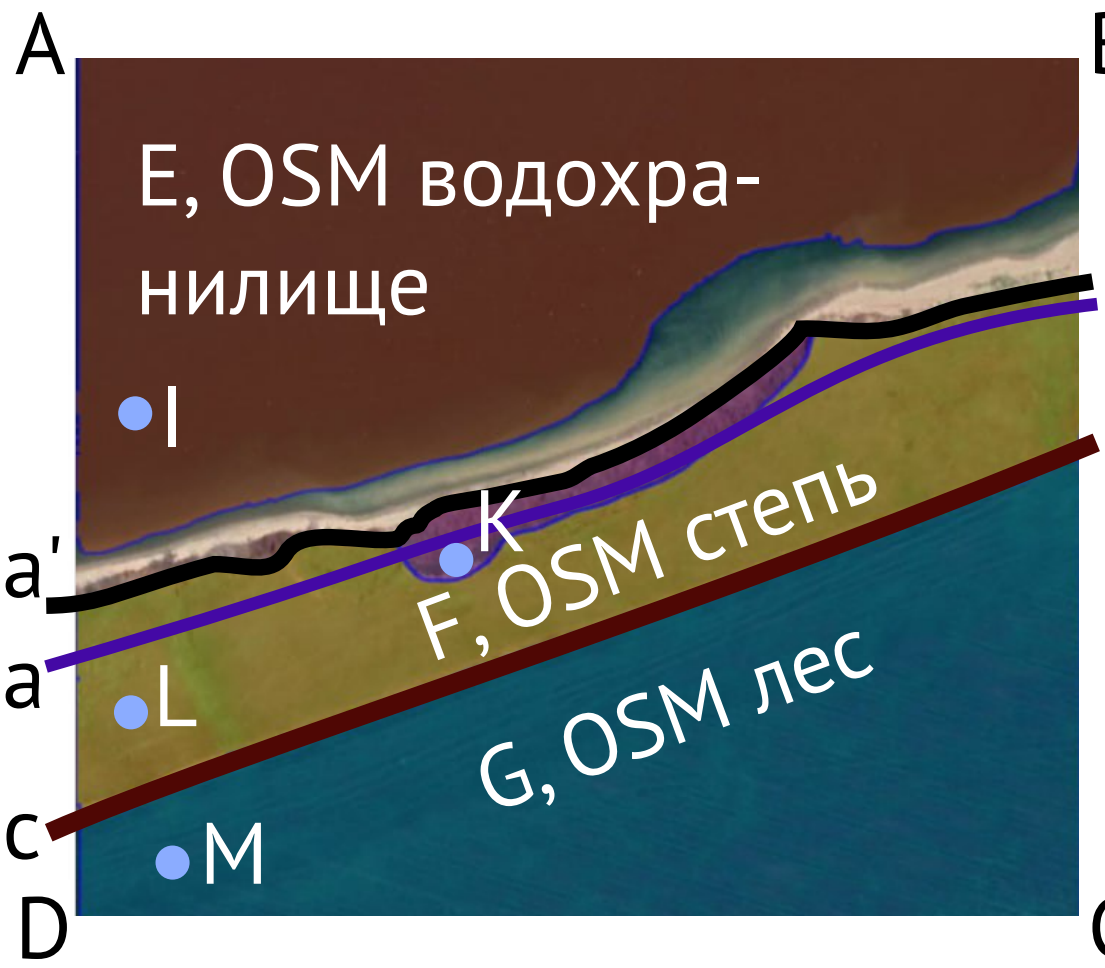
Технология SegmentAnything

Техническая проблема – на разнообразных цифровых изображениях распознать береговую линию:

- аэрофотоснимки,
- ортофотопланы,
- данные дистанционного зондирования Земли,
- измерения во время полевых исследований.

Привязка разметки OpenStreetMap к ключевым точкам



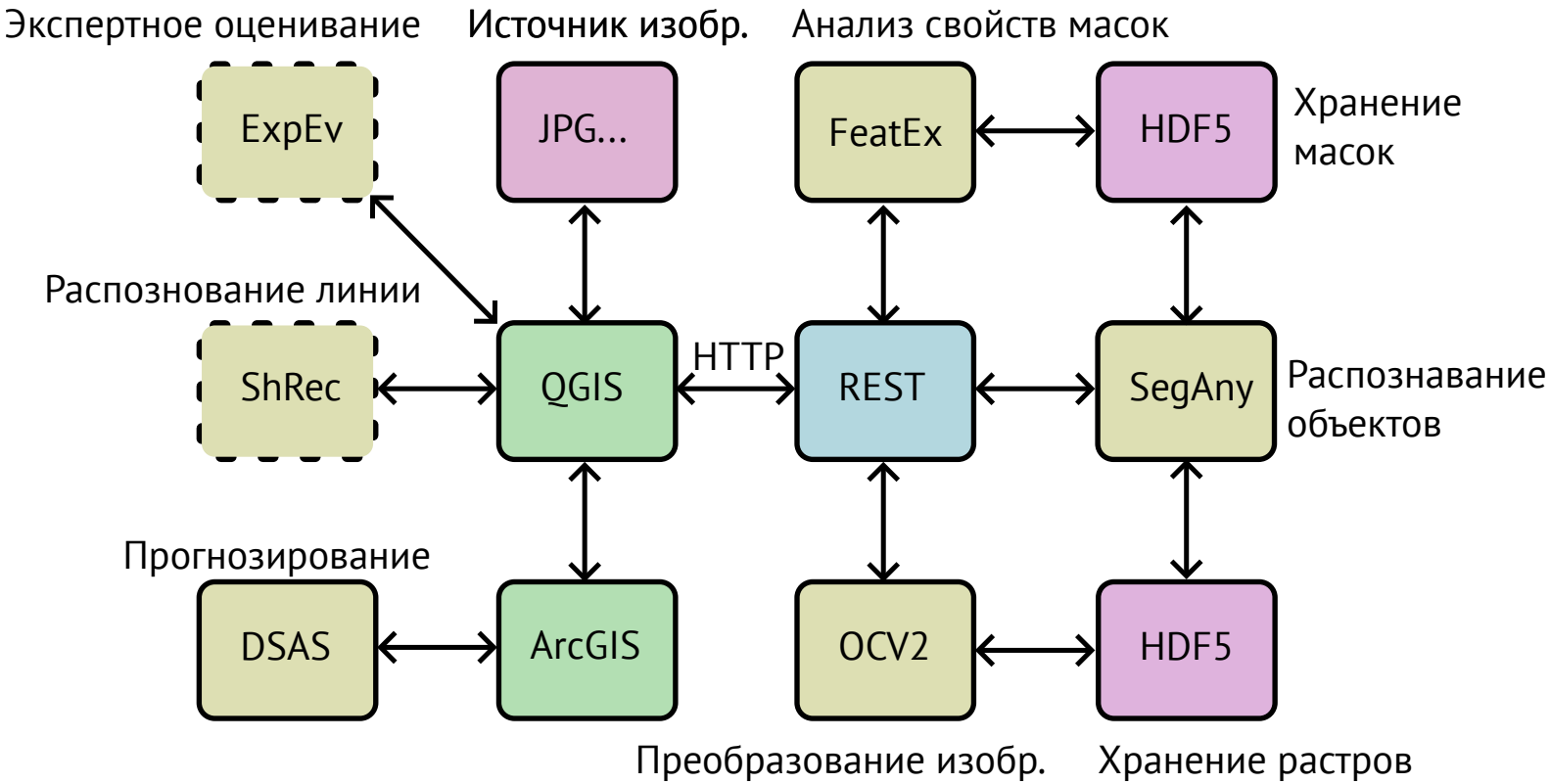
b' Контур

b OSM берег

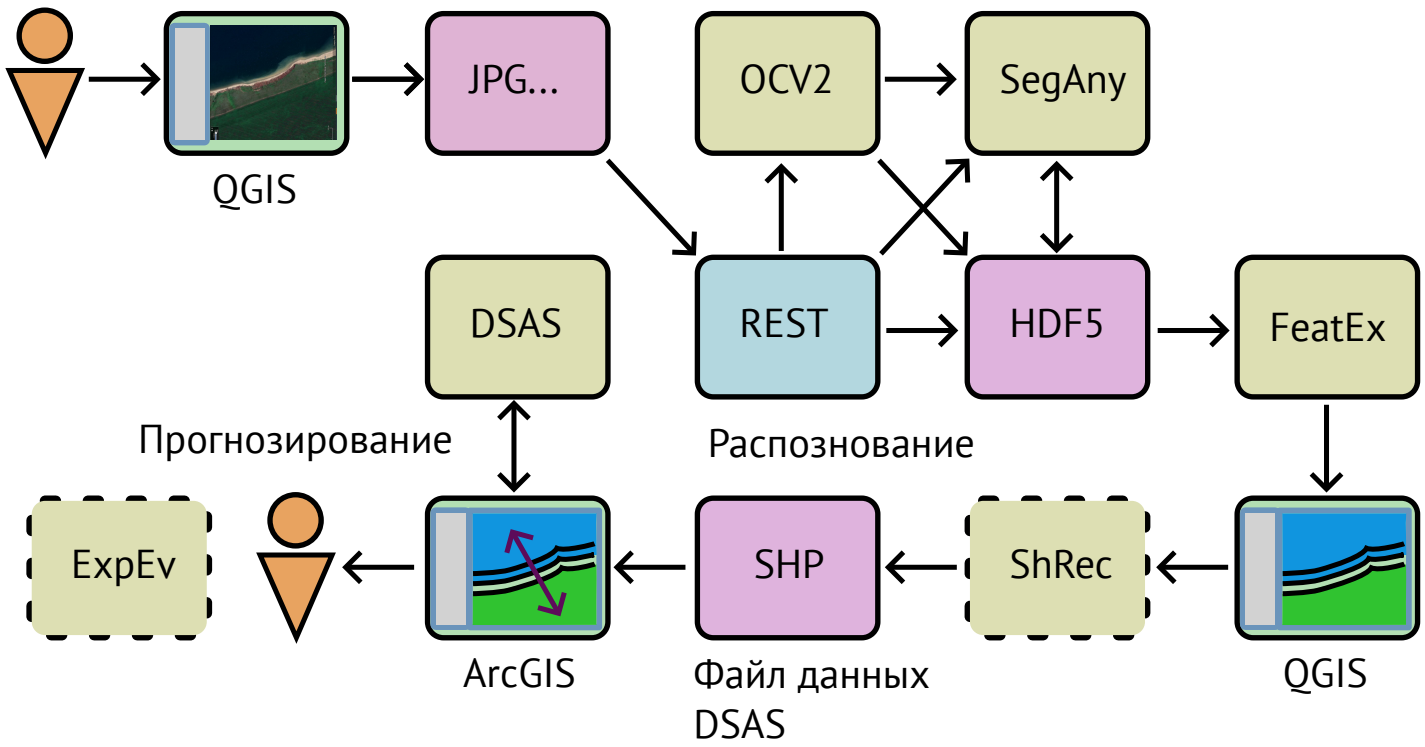
d OSM дорога

● Ключевая точка

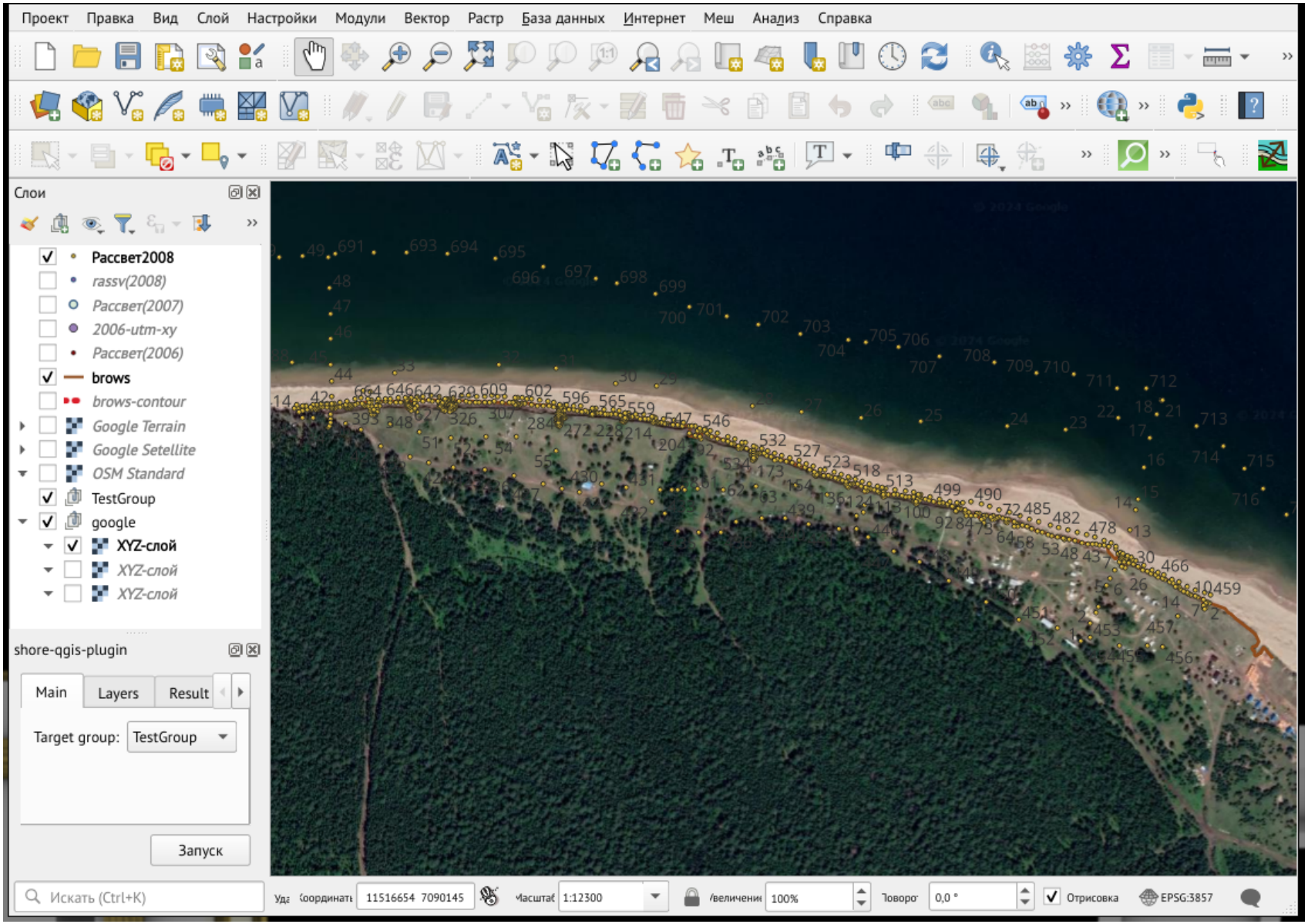
Архитектура распределенного сервиса



Технология


JPG...
OCV2
SegAny
QGIS
DSAS
REST
HDF5
FeatEx
Прогнозирование
Распознование
ExpEv
SHP
ShRec
ArcGIS
Файл данных
DSAS
QGIS

Интерфейс ГИС со средой обработки информации



Заключение по первому приложению

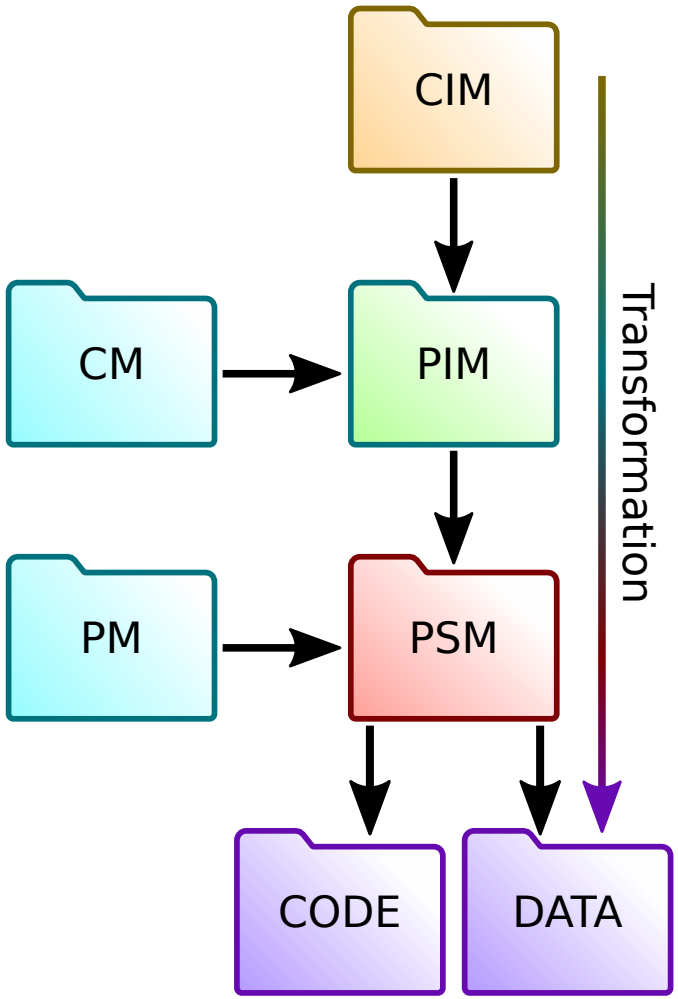
Сервис реализован примерно на 30%, из оставшегося 30% – решение задачи распознавания береговой линии, остальное – реализация технических задач.

1. SegmentAnything достаточно универсален и независим от свойств входного изображения
   - наличие цветности,
   - разрешения,
   - размера,
2. Нет необходимости тратить время на подготовку изображений для качественного обучения
3. Решение задачи распознавания вовлекает свободно сторонние ресурсы
4. Верификация результатов распознавания НС в контексте логической задачи (теории)

Дальнейшие направления совершенствования сервиса –

1. генерация данных для обучения НС,
2. разработать итеративный алгоритм последовательного уточнения контура – переходить к изображениям высокого разрешения на следующем шаге.

Интерпретация как трансформация. Model–Driven Architecture



MDA	Model–Driven Architecture
CIM	Computationally Independent Model
CM	Model of Computations
PIM	Platform Independent Model
PM	Platform Model
PSM	Platform–Specific Model
CODE	Генерируемый исходный код
DATA	Начальное состояние баз данных

НИРОКР Model–Driven Architecture

Основная цель НИРОКР разработать технологии MDA, где модели CIM, PIM представлены в языках SysML, UML, BPMN, CMMN с использованием Семантического веба:

1. CIM представляется в UML, SysML, BPMN, CMMN, или как результат анализа текстов программ,
2. PIM, PSM представляется в UML и в RDF с использованием стандартных онтологий,
3. трансформации реализуются в языке Logtalk,
4. сервера LOD запрашиваются на предмет дополнительной информации,
5. порождение документов и интерфейсов пользователя, размеченных по требованиям LOD.

Технологии семантического веба – элемент моделей трансформации

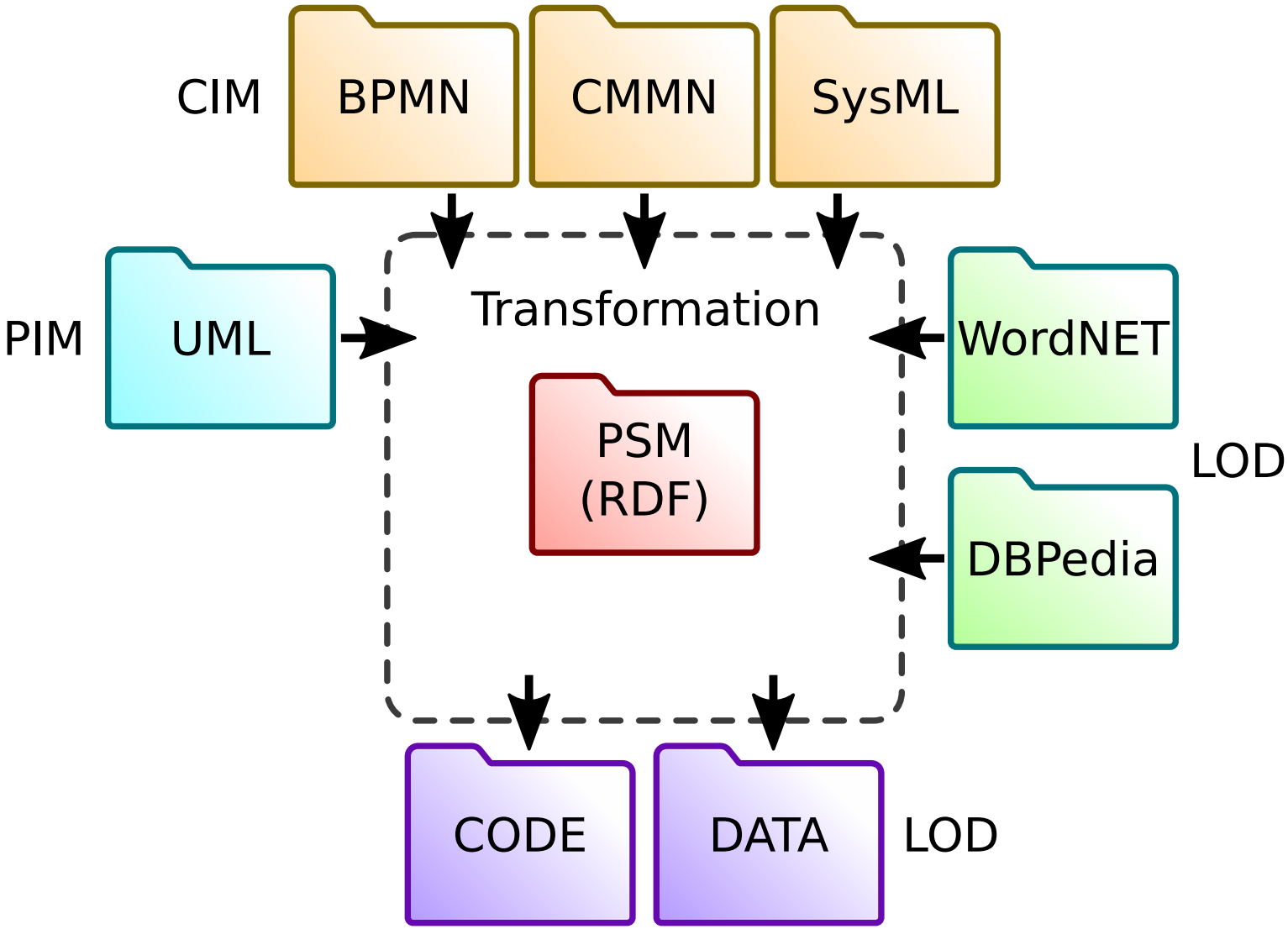
- Использование результатов исследований, формализации и стандартизации предметных областей
- Граф знаний задается множеством троек
- Онтологии описываются формально (`rdfs:domain`, `rdfs:range`);
- Поддержаны в большинстве систем программирования библиотеками, механизмами логического вывода, SPARQL
- Существует способ глобальной идентификации объектов в RDF: в разных программах можно идентифицировать один о тот же объект
- SWI-Prolog поддерживает механизмы прямых запросов к графу и интерпретацию некоторых отношений (`rdfs:label`, `dc:title`)
- Простая поддержка разделения доступа к информации (`rdfs:seeAlso`)
- Семантический веб и LOD – основа интеграции приложений

Связанные открытые данные, LOD

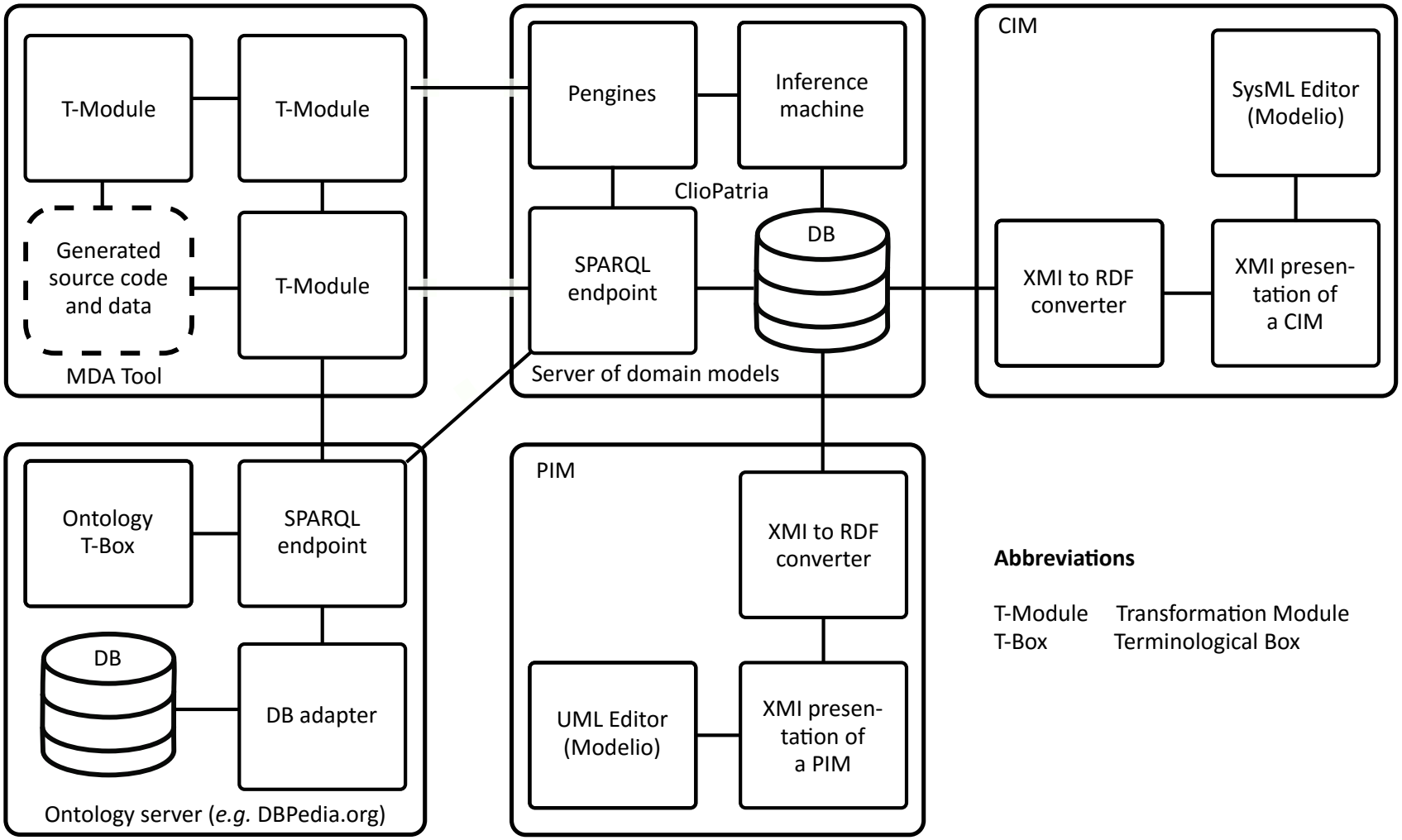
1. Информация публикуется в Интернете с лицензией открытого доступа
2. Он представлен в машиночитаемой форме, например, таблица Excel вместо растрового изображения
3. открытый формат, используемый, например, CSV вместо Excel
4. Формат основан на рекомендуемых стандартах W3C, что позволяет ссылаться на RDF и SPARQL
5. Опубликованные данные относятся к объектам, образующим контекст

Таким образом, приложения публикуют данные как отношения объектов (сущностей).

Model Driven Architecture and Linked Open Data



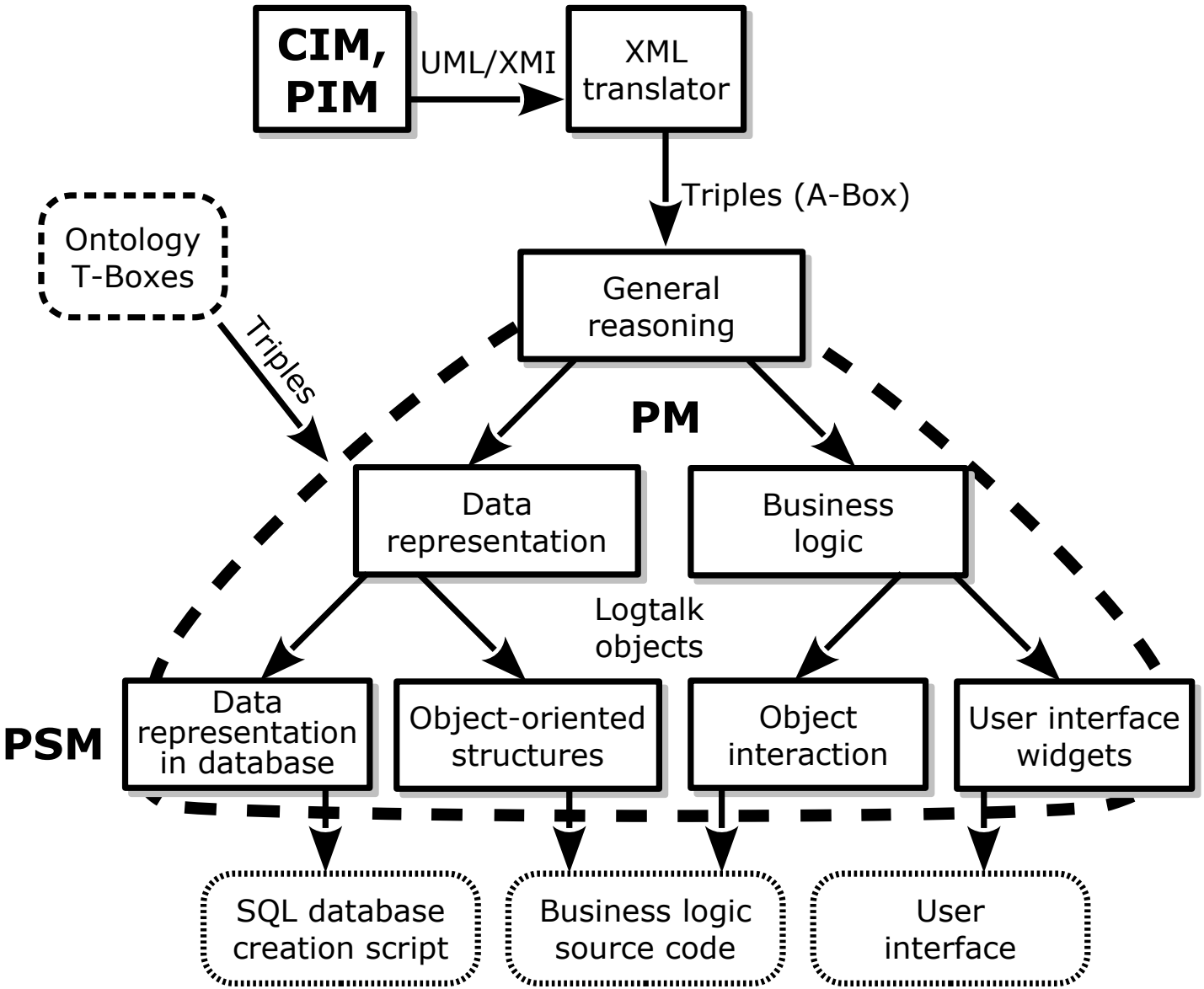
Инфраструктура MDA



Abbreviations

T-Module	Transformation Module
T-Box	Terminological Box

Процесс трансформации



Logtalk – средство манипуляции знаниями

Выбран, т.к. имеет следующие свойства:

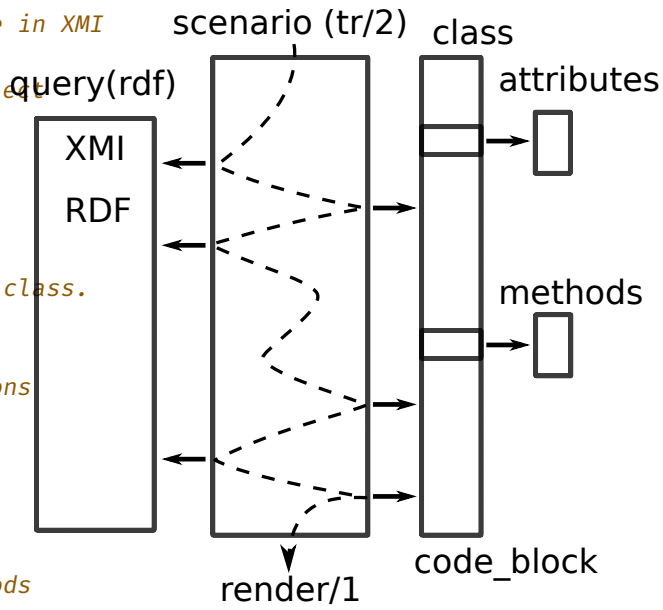
- наследует широко известный синтаксис и среду исполнения Prolog
- реализован как макропакет, потери производительности составляют около 1.5-10%
- имеет гибкую семантику: преобразования и ограничения определяются в рамках одного и того же синтаксиса
- реализует объектно-ориентированное структурирование знаний (правил), инкапсуляцию и замену
- из преобразований можно строить композиции
- механизм включения ограничений перехватом сообщений объекта к объекту (событий)
- есть варианты для различных реализаций ISO Prolog

Сценарий синтеза PSM

```
:- object(direct(_Package,_LocalProf,_CodeProf)).    % Transformation driver object
:- public([tr/4,tr/3]).                              % Public interface of a class synthesis scenario
% . . . . . .
tr(class, Class, ClassID):- ::package(Package),      % Synthesize a class
    query(Package)::class(Name, ClassID),            % Query package structure in XMI
    create_object(Class,      % . . . . .            % Create a «Class» object
    create_object(Attributes, % . . . . .            % Create «Attributes» object
    create_object(Methods,    % . . . . .            % ...«Methods».
    Class::name(Name),                               % Name the class.
    % Generate attributes of the class,
    % organizing them in a local database.
    % ...methods...
    Class::attributes(Attributes),                   % Set the attributes for class.
    Class::methods(Methods).                         % ...methods.

tr(attribute, Attribute, ClassID, AttributeID):-     % Attribute transformations
    ::package(Package),
    query(Package)::attribute(Name,ClassID,AttrID),
    create_object(Attribute,  % . . . . .
    Attribute::name(Name).                           % Name the attribute.

tr(method, Method, ClassID, MethodID):-              % Transformation of methods
    ::package(Package),
    query(Package)::method(Name,ClassID,MethodID),
    create_object(Method,     % . . . . .
    Method::name(Name).                              % Name of the method
:- end_object.
```

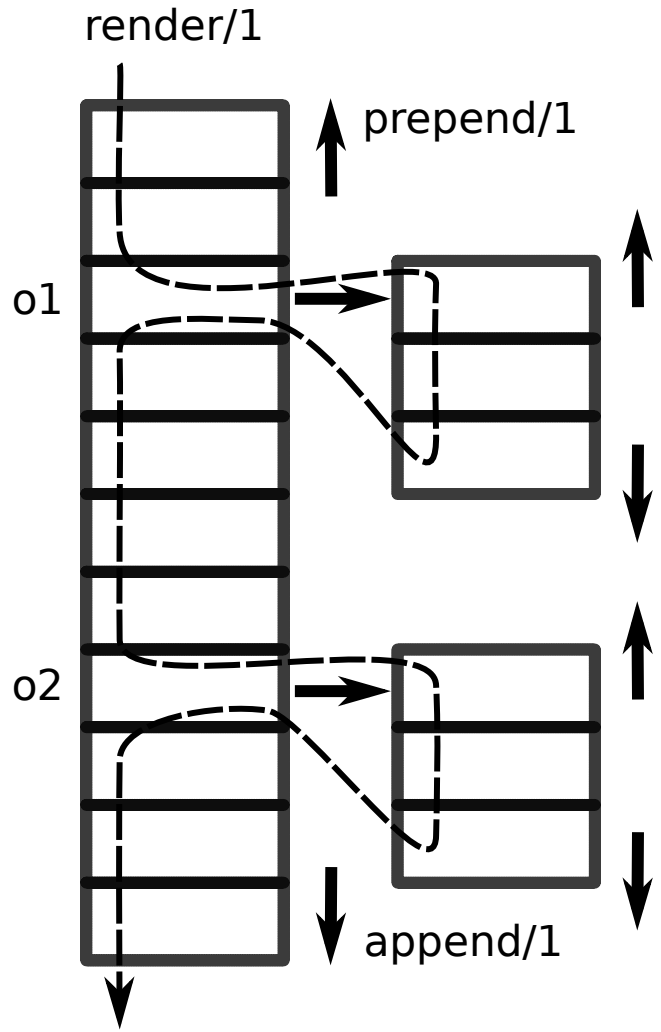


Обрамление модели PSM

```
:- object(query(_XMI)).
:- protected(xmi/1).
:- public([class/2, attribute/3, method/3]).
xmi(XMI) :- parameter(1, XMI).
class(Name, ID):-                          % Recognition of Class in RDF
    ::xmi(XMI),
    XMI::rdf(ID,rdf:type,uml:'Class'),
    XMI::rdf(ID,rdfs:label, literal(Name)).
attribute(Name, ClassID, ID):-             % ...attribute...
    ::xmi(XMI),
    XMI::rdf(ClassID, xmi:ownedAttribute, ID),
    XMI::rdf(ID, rdfs:label, literal(Name)).
method(Name, ClassID, ID):-                % ...method...
    ::xmi(XMI),
    XMI::rdf(ClassID, xmi:ownedOperation, ID),
    XMI::rdf(ID, rdfs:label, literal(Name)).
% . . . . . .
:- end_object.
```

Блок кода. Идея – llvmlite*

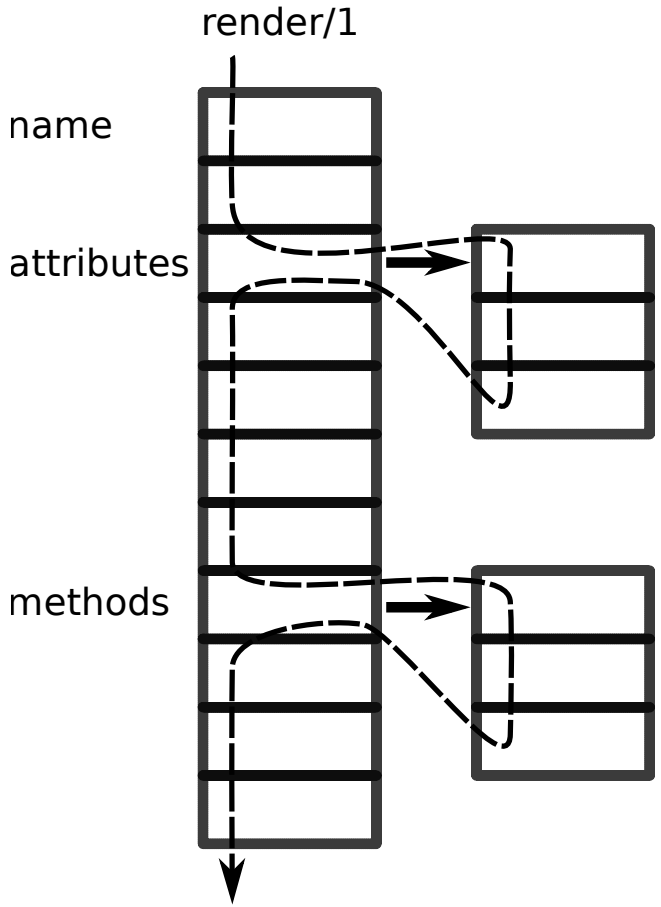
```
:- object(code_block, specializes(root)).
% Public interface of the object
:- public([append/1, prepend/1, clear/0,
   render/1, render_to/1, remove/1,
   item/1, items/1]).
% Code block items
:- dynamic([item_/1]).
:- private([item_/1]).
% Methods specialized during inheritance
:- protected([renderitem/2, render_to/2]).
% . . . . . .
% Delegate rendering to object itself
renderitem(Object, String):-
    current_object(Object), !,
    Object::render(String).
% Convert a literal to its string
% representation
renderitem(literal(Item), String):-!,
    atom_string(Item, String).
% Just print the item (debugging).
renderitem(Item, String):-
    root::iswritef(String, '%q', [Item]).
:- end_object.
```



*) https://github.com/numba/llvmlite

PSM-модель класса Python – специализация блока кода

```
:- object(class, specializes(code_block),
   imports([named])). % Category of named entities
:- public([classlist/1, methods/1, attributes/1]).
% . . . . . .
renderitem(Item, Result):-      % proceed with default
    ^^renderitem(Item, Result). % rendering
render(Result):-          % Source generator
    ^^render(Name),       % implemented in a category
    ( ::item(classlist(List)) ->
     % . . . . . .
        [Name]) ),
    ( ::item(attributes(Attributes))->
     % . . . . . .
        [DefAttrList]),
      Attributes::items(InstanceAttrs),
      findall(S, ( % initialize attributes
         % . . . . . .
         ), AttrAssigns),
        root::unindent,
        AttrList=[ConstructorDef|AttrAssigns];
         % . . . . . .
        AttrList=[ConstructorDef, Pass] ),
    ( ::item(methods(Methods))-> % If any ...
      Methods::render(MethodList);
      MethodList=[] ),
    lists::append(AttrList,MethodList,StringList),
    root::unindent, Result=[Signature|StringList].
```

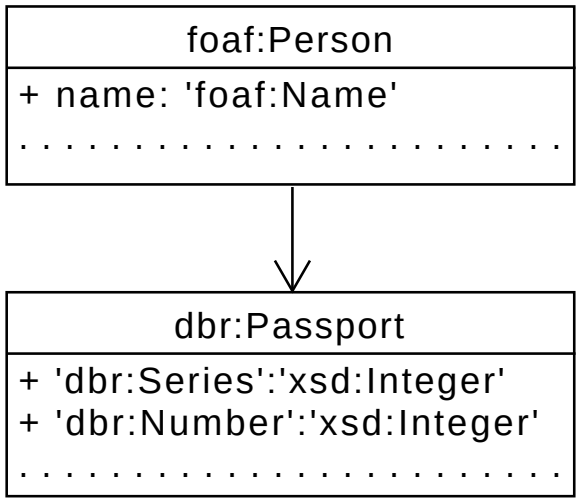


Доступ к данным LOD

```
:- category(sparql).
:- public(query/2).
query(Pattern,Parameters,Row):-
    prepare(Pattern,Parameters,Query),
    server(Host,Port,Path),
    sparql_query(Query, Row,
        [host(Host),port(Port),path(Path)]).
:- protected(server/3).  % must be implemented
                         % by a subclass.
:- protected(prepare/3). % prepares a query
% . . . . . .           %             string.
:- end_category.

:- object(dbpedia, extends(sparql)).
:- protected(server/3).
server('dbpedia.org',80,'/sparql').
:- public(entity_name/2).
entity_name(Entity,Language,Name):-
    query('select ?name where { '
          ' %w rdfs:label ?name. '
          'FILTER langMatches( lang(?label),'
          ' "%w" )}', [Entity, Language],
          row(Name)).
:- end_object.

% ?- dbpedia::entity_name(dbr:'Passport', 'ru', Name).
```



Модуль Rapidminer

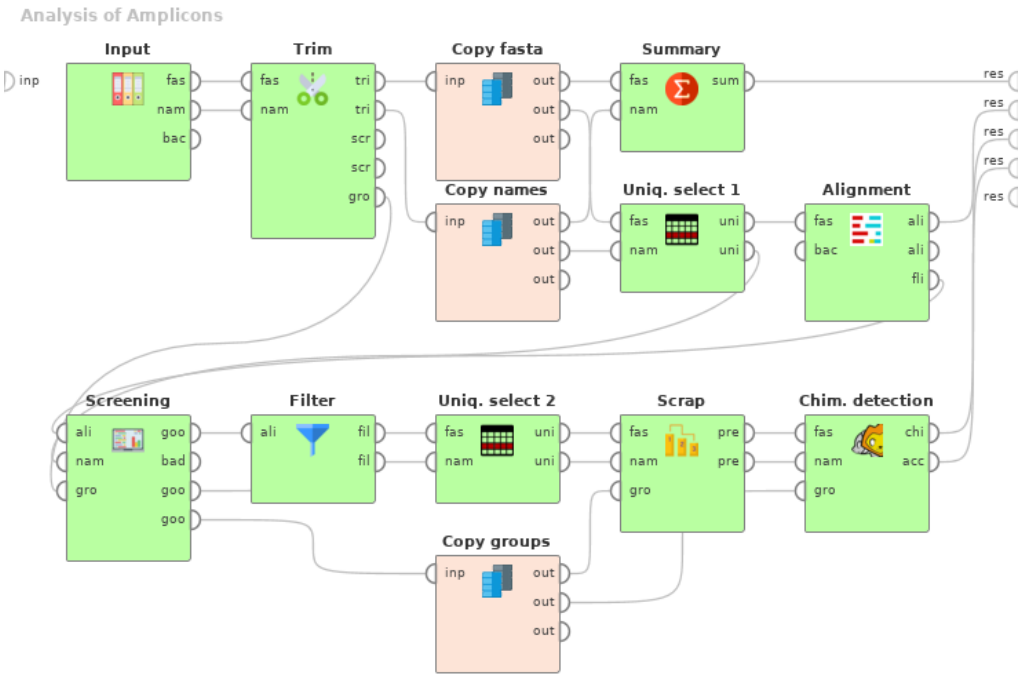
```
vector<string> AlignCommand::setParameters(){ // PART OF MODULE SOURCE
try {
  CommandParameter ptemplate("reference", "InputTypes", "", "", "none", "none", "none","",false,true,true); parameters.push_back(
  CommandParameter pcandidate("fasta", "InputTypes", "", "", "none", "none", "none","fasta-alignreport-accnos",false,true,true);
  CommandParameter psearch("search", "Multiple", "kmer-blast-suffix", "kmer", "", "", "","",false,false,true); parameters.push_ba
  CommandParameter pksize("ksize", "Number", "", "8", "", "", "","",false,false); parameters.push_back(pksize);
  CommandParameter pmatch("match", "Number", "", "1.0", "", "", "","",false,false); parameters.push_back(pmatch);
// . . . . . .
```

```
package com.rapidminer.ngs.operator; // GENERATED JAVA MODULE
// imports

class MothurChimeraCcodeOperator extends MothurGeneratedOperator {
  private InputPort fastaInPort = getInputPorts().createPort("fasta");
  private InputPort referenceInPort = getInputPorts().createPort("reference");
  private OutputPort chimeraOutPort = getOutputPorts().createPort("chimera");
  private OutputPort mapinfoOutPort = getOutputPorts().createPort("mapinfo");
  private OutputPort accnosOutPort = getOutputPorts().createPort("accnos");

  public MothurChimeraCcodeOperator (OperatorDescription description) {
    super(description);
  }
  @Override
  public void doWork() throws OperatorException {
    super();
    // . . . . . .
  }
  @Override
  public List<ParameterType> getParameterTypes() {
    super();
        // . . . . . .
  }
  @Override
  public String getOutputPattern(String type) {
    if (type=="chimera") return "[filename],[tag],ccode.chimeras-[filename],ccode.chimeras";
    if (type=="mapinfo") return "[filename],mapinfo";
    if (type=="accnos") return "[filename],[tag],ccode.accnos-[filename],ccode.accnos";
    return super.getOutputPattern(type);
  }
}
```

Приложение: Диаграммы потока исполнения в NGS



Термин	Расшифровка
NGS	New Generation Sequencing
Amplicon	часть ДНК, РНК, скопированная много раз
Mothur	прикладной пакет для NGS
Rapidminer	визуальный инструмент для моделирования процессов Data Mining и их исполнения

Зеленые блоки — это модули Mothur. Остальные – модули Rapidminer.

Исходный граф RDF (TTL) и его обрамляющий объект

```
@prefix xml: <http://www.w3.org/.../namespace> .
@prefix xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#> .
ngsp:spec a ngsp:Specification ;
    ngsp:module mothur:NoCommand,
        mothur:align-check,
        mothur:align-seqs,
# . . . . .
mothur:align-check a ngsp:Module ;
    ngsp:outputPattern [ a cnt:Chars ;
            ngsp:parameterName "type" ;
            ngsp:pattern [ ngsp:patternString
                    "[filename],align.check" ;
                    dc:identifier "aligncheck" ] ;
            cnt:chars # . . . .
# . . . . .
mothur:align-check-idir-parameter
    a ngsp:Parameter ;
    ngsp:important false ;
    ngsp:multipleSelectionAllowed false ;
    ngsp:optionsDefault "" ;
    ngsp:required false ;
    ngsp:type mothur:String ;
    dc:title "inputdir" .

mothur:align-check-map-parameter a ngsp:Parameter ;
    ngsp:important true ;
    ngsp:multipleSelectionAllowed false ;
    ngsp:optionsDefault "" ;
    ngsp:required true ;
    ngsp:type mothur:InputTypes ;
    dc:title "map" .

mothur:align-check-name-parameter a ngsp:Parameter ;
    ngsp:chooseOnlyOneGroup "namecount" ;
    ngsp:important false ;
    ngsp:multipleSelectionAllowed false ;
# . . . . .
```

```
:- object(queryparam(_RDF,_Parameter),
          extends(ngsquerybase)).

:- public(type/1).
type(Type) :-
    ::attr(type, Type).
:- public(name/1).
name(Name) :- ::attr(dc:title, literal(Name)).
:- public(options/1).
options(Value):- ::attr(options, Value).
:- public(options_default/1).
options_default(Value):-
    ::attr(optionsDefault, Value).
% . . . . . .
:- public(multiple_selection_allowed/0).
multiple_selection_allowed:-
    ::bool_attr(multipleSelectionAllowed).
:- public(required/0).
required:-
    ::bool_attr(required).
:- public(important/0).
important:-
    ::bool_attr(important).
:- protected(attr/2).
attr(NS:Name, Value):-
    ::ngs(RDF),
    ::second(Parameter),
    rdf_db::rdf_global_object(Value, V),
    RDF::rdf(Parameter, NS:Name, V).
attr(Name, Value):-
    \+ Name=_:_,!,
    ::ngs(RDF),
    ::second(Parameter),
    rdf_db::rdf_global_id(Value, V),
    RDF::rdf(Parameter, ngsp:Name, V).
% . . . . .
```

Обсуждение

Интересные положительные впечатления:

- Logtalk и RDF являются гибкими, универсальными и удобными средствами реализации MDA.
- Лучшие средства реализации – инкапсцляция в предикаты Prolog и объекты Logtalk;
- Не все свойства Logtalk исследованы: необходимо разработаны эффективные методики программирования, включая перехват сообщений.

Технические проблемы, затрудняющие использование Logtalk:

- Очень простые задачи требуют слишком много усилий, например, конвертация идентификатора в CamelCase.
- Много времени уходит на изучение свойств существующих онтологий, но это более продуктивно, чем разработка «с нуля»;
- Prolog не является популярным языком в MDA, как и Logtalk.

Заключение

К настоящему времени получены следующие результаты:

- Разработана и протестирована техника представления моделей
- Разработана методика программирования на объектно-ориентированном логическом языке Logtalk
- Реализованы прототипы различных операций трансформации
- Инструменты трансформации протестированы в прикладных областях, и никаких существенных технических проблем не было отмечено

Дальнейшие направления развития следующие:

- Техника для автоматической разметки документов при помощи сущностей онтологий
- Разработка методики реализации трансформации, минимизирующей использование динамических объектов и ориентированной на макро-возможности Logtalk
- Формирование набора инструментов из существующих прототипов, отвечающих современным требованиям разработки программного обеспечения

Исходный код проекта опубликован на Github:
https://github.com/isu-enterprise/icc.xmitransform,
https://github.com/eugeneai/icc.mothurpim.

Спасибо за внимание!