

## СЕМАНТИЧЕСКИЙ ГРИД, ОСНОВАННЫЙ НА КОНЦЕПЦИИ ПРЕДМЕТНЫХ ПОСРЕДНИКОВ

Вовченко А.Е., Калиниченко Л.А., Ступников С.А.

Институт проблем информатики РАН

Россия, 119333, Москва, Вавилова, д.44, кор.2

[itsnein@gmail.com](mailto:itsnein@gmail.com), [leonidk@synth.ipi.ac.ru](mailto:leonidk@synth.ipi.ac.ru), [ssa@synth.ipi.ac.ru](mailto:ssa@synth.ipi.ac.ru)

### Abstract

In frame of the SYNTHESIS project being developed at IPI RAS a semantic grid infrastructure has been designed and implemented. The semantic grid is built on top of the AstroGrid that is positioned as an information grid aimed at support of virtual observatories. The infrastructure proposed significantly extends the conventional vision of semantic grids emphasizing a provision of well-defined meaning to data and service resources. We consider that such resources obtain adequate meaning in the context of specific application problems. Therefore we focus on ontological and conceptual specifications of application domains and problems. Such specifications are reflected in the definitions of *mediators* independently of information resources accessible through the information grid. The mediation middleware is positioned between the applications/users and resources. The mediation based semantic grid is used currently for problem solving in the area of astronomy. Note that mediation based semantic grid middleware is independent of particular information grid and can be integrated with any such infrastructure.

### 1. Введение

В настоящее время наблюдается существенный рост объема получаемых экспериментальных данных в различных областях науки. Разнородность информации вызвана большим числом организаций, накапливающих данные (в результате наблюдения, измерения), разнообразием объектов наблюдения, совершенствованием техники наблюдений. Это приводит к необходимости использования неоднородной, распределенной информации, накопленной в течение значительного периода наблюдений технологически различными инструментами.

Разрыв между исследователями и источниками данных и сервисов приводит к необходимости поиска новых путей создания информационных систем, в которых особое внимание было бы сосредоточено на специальных средствах организации решения задач над множеством распределенных информационных ресурсов, накапливаемых в разнообразных научных центрах. Разработан ряд инфраструктур, которые технически способствуют организации решения задач в такой среде. Среди них веб-сервисы, гриды, Семантический Веб, интероперабельные инфраструктуры промежуточного слоя и др.

Настоящая статья ограничивается рассмотрением информационных грид-инфраструктур для науки, которые в последнее время становятся все более востребованными. Принято различать вычислительные, информационные, облачные грид-инфраструктуры. До сих пор основное внимание при реализации таких инфраструктур было сосредоточено на организации множества компьютеров для достижения высокой производительности вычислений или на создании среды для обеспечения доступа к большому числу распределенных информационных ресурсов и их интероперабельности при решении задач. Вопросы семантики предметных областей задач, ее связи с семантикой информационных ресурсов грида, декларативного программирования приложений на основе таких семантических определений в грид-инфраструктурах практически не рассматривались. В настоящей работе кратко излагается подход к созданию прототипа *семантического грида*, компонентами которого могут быть как отдельные информационные ресурсы (базы данных и сервисы), так и вычислительные и информационные гриды со своими информационными ресурсами. Основная идея семантического грида заключается в формулировании задач на основе спецификации предметной области задачи независимо от релевантных задачи ресурсов и реализации такой формулировки в грид-инфраструктуре. Предполагается, что сами ресурсы, зарегистрированные

в грид-среде, снабжены семантическими определениями, достаточными для принятия решения о целесообразности их использования при решении конкретной задачи.

Статья структурирована следующим образом. Во втором разделе рассматривается подход к решению научных задач над неоднородными информационными ресурсами на основе концепции предметных посредников в грид-инфраструктурах. В третьем разделе представлено описание различных типов грид-инфраструктур и семантического грида, основанного на концепции предметных посредников. В четвертом разделе представлена инфраструктура семантического грида, основанного на предметных посредниках, а также разработанный прототип. В пятом разделе описан пример применения разработанного прототипа для решения конкретных научных задач. Заключение статьи подводит итог обсуждению и намечает планы дальнейшего развития работы.

## **2. Концепция предметных посредников для организации решения научных задач над неоднородными информационными ресурсами**

Основной идеей в инфраструктуре доступа к множественным неоднородным информационным источникам является введение промежуточного слоя между информационными ресурсами и потребителями информации. Основными компонентами промежуточного слоя являются предметные посредники [1], существующие независимо от информационных ресурсов. Уровень предметных посредников вводится как часть информационных систем, создаваемых для решения научных задач. Каждый предметный посредник задает спецификацию предметной области для решения некоторого класса задач, используя каноническую информационную модель для представления предметной области [2] и унифицированного отображения разнообразных видов моделей информационных ресурсов.

Различаются два принципиально различных подхода к проблеме интегрированного представления описания предметной области задачи по отношению к множеству релевантных задаче информационных ресурсов:

- *двигааясь от ресурсов к задачам*, при этом схема посредника образуется как интегрированная схема множества ресурсов независимо от приложения;
- *двигааясь от приложения к ресурсам*, при этом описание предметной области приложения образуется независимо от ресурсов в терминах понятий, структур данных, функций, процессов, а затем релевантные приложению ресурсы отображаются в это описание.

Первый подход, *движимый информационными ресурсами*, является немасштабируемым по отношению к числу ресурсов, не дает возможности достижения семантической интеграции ресурсов в контексте конкретного приложения, не ведет к доказательной идентификации релевантных приложению ресурсов, не способствует повышению стабильности спецификации посредника в процессе эволюции ресурсов, релевантных приложению.

*Движимый приложениями* подход предполагает создание предметного посредника, который поддерживает взаимодействие между приложением и ресурсом на основе определения прикладной области (определения посредника). Второй подход имеет очевидные преимущества по отношению к подходу, движимому информационными ресурсами. Процесс регистрации неоднородных информационных ресурсов в предметном посреднике в подходе, движимом приложениями, основан на технике GLAV[3], комбинирующей два подхода: LAV (Local As View), при котором схемы регистрируемых ресурсов рассматриваются как материализованные взгляды над виртуальными классами посредника, и GAV (Global As View), при котором глобальная схема посредника является взглядом над схемами ресурсов. В этом случае GAV взгляды служат для разрешения различных конфликтов между спецификациями ресурсов и посредника. Подобная техника регистрации обеспечивает стабильность спецификации приложения при изменении конкретных информационных ресурсов и их фактического присутствия (удаление ресурса, добавление новых ресурсов), а также масштабируемость

посредников по отношению к числу регистрируемых ресурсов. Настоящая статья основана, главным образом, на подходе, движимом приложениями.

### **3. Семантический грид, основанный на концепции предметных посредников**

Целью любой грид-инфраструктуры является совместное использование распределенных ресурсов для решения сложных задач. Предполагается, что информационный грид предоставляет для решения задач следующие средства:

- совокупность ресурсов - готовых программ решения задач, библиотек методов, информационных ресурсов – онтологий, баз данных, файлов, и т.д.;
- реестры, содержащие метаописания всех представленных ресурсов;;
- средства программирования в конкретной грид-среде;
- стандартные интерфейсы для доступа к ресурсам, например, интерфейсы сервисов в SOA.

Семантические гриды предоставляют семантические описания ресурсов и возможности простого поиска ресурсов и сервисов, обеспечивая их интероперабельное и интегрированное совместное использование в контексте задачи, формулируемой в терминах предметной области.

Предлагаемая в данной работе инфраструктура семантического грида состоит из четырех слоев:

- слой предметной области задачи (Application Problem Domain);
- слой предметных посредников (Semantic Mediation Middleware);
- слой грид-инфраструктур (Computational and Information Resource Environments)
- слой информационных ресурсов.

Для решения задач в инфраструктуре используется метод, движимый приложениями. Отправляясь от предметной области задачи, определяется онтология предметной области (понятия и связи между ними), строится концептуальная схема предметной области, содержащая информационные структуры и методы, необходимые для решения задачи [4]. Таким образом, получается семантическая спецификация решения задачи, полностью независимая от конкретных ресурсов. После этого определяются грид-инфраструктуры, необходимые для решения задачи. Если задача особенно сложна, может понадобиться совокупность баз данных информационного грида и ряд методов (сервисов) обработки информации, поддерживаемых вычислительным гридом. Далее, на уровне ресурсов идентифицируются ресурсы, релевантные задаче, используя реестры доступных грид-инфраструктур.

Для того, чтобы реализовать подобную схему решения задач, опираясь на семантику предметной области, а также обеспечить отображение в эту схему конкретных ресурсов, релевантных задаче, и, возможно, принадлежащих различным средам, необходим промежуточный слой, обеспечивающий взаимодействие программ приложений (или пользователей) с множеством ресурсов в процессе решения задачи - слой предметных посредников. Принципиально важным компонентом этого слоя является каноническая информационная модель (язык СИНТЕЗ [5]), используемая как для спецификации предметных областей и посредников, так и для унифицированного представления разнообразных информационных ресурсов, необходимых для решения задачи. Также каноническая модель используется для декларативной спецификации отображений спецификаций ресурсов в абстрактные спецификации посредника.

Каждый предметный посредник определяется концептуальной схемой задачи (или ее частью). Построение отображений спецификаций ресурсов в спецификации посредника реализуется в процессе регистрации ресурсов в посреднике [6].

Промежуточный слой предметных посредников вместе со связанными с ним гридами образует *семантический* грид. Благодаря спецификации задач (посредников) в абстрактных терминах предметной области и отображениям спецификаций конкретных ресурсов в такие

семантические спецификации обеспечивается интероперабельность совокупности неоднородных ресурсов, поддерживаемых одной или несколькими грид-средами.

#### 4. Прототип семантического грида, основанного на концепции предметных посредников

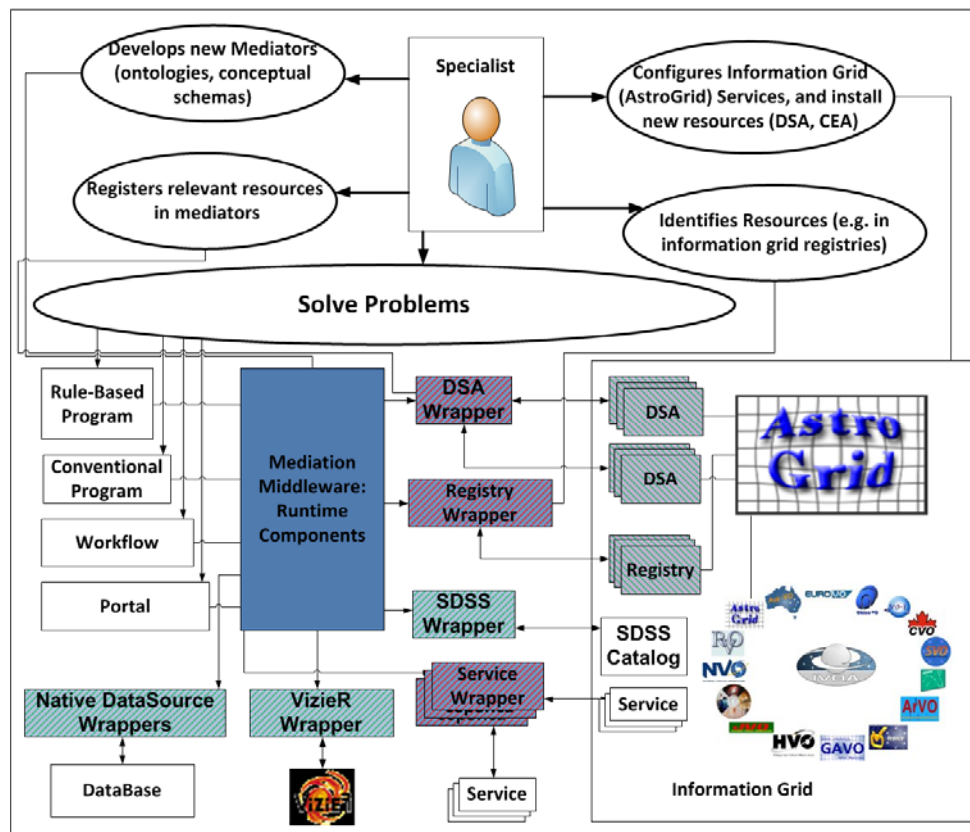


Рисунок 1 – Структура программных средств поддержки семантического грида

В соответствии с разработанной инфраструктурой для решения научных задач был реализован прототип семантического грида (Рис. 1). В качестве грид-инфраструктур использовались системы АстроГрид [7] и VizieR [8].

Система АстроГрид нацелена на поддержку инфраструктуры для решения научных задач в виртуальных обсерваториях (ВО), предоставляющей средства доступа к астрономическим каталогам и реестрам метаданных, в которых регистрируются ресурсы ВО. Система АстроГрид включает следующие основные компоненты:

- *Registry* (реестр) представляющий собой коллекцию метаданных — XML-документов, описывающих ресурсы, которые могут использоваться при решении задач с помощью ВО. Реестр реализован на основе стандарта OAI PMH [9], специализированного IVOA (Альянс Международной Виртуальной Обсерватории [10]) для нужд ВО;
- *Community*, обеспечивающий регистрацию и персональную аутентификацию пользователей;
- *MySpace* — виртуальное хранилище данных, к которым могут иметь доступ все сервисы системы АстроГрид;
- *Common Execution Architecture* (CEA — Общая исполнительная архитектура), определяющая способ оформления приложения в виде сервиса АстроГрид;

- *DataSet Access* (DSA), реализующая подключение баз данных к системе АстроГрид.

VizieR может рассматриваться как информационный грид для доступа к большинству астрономических каталогов (около восьми тысяч каталогов). Пользователю предоставляется веб-интерфейс для поиска каталогов по ключевым словам и задания запросов к каталогам.

Прототип семантического грида, основанного на предметных посредниках, предоставляет пользователям следующие возможности:

- разработка онтологий и концептуальных схем новых предметных посредников;
- обнаружение релевантных задач ресурсов;
- регистрация релевантных ресурсов в посреднике, включающая:
  - определение онтологий и концептуальных схем ресурсов;
  - определение отображений спецификаций ресурсов в спецификации посредников [11];
- регистрация в системе АстроГрид новых ресурсов с использованием DSA и SEA и последующая регистрация их в предметных посредниках (в том случае, если ресурсы, необходимые для решения задачи, не найдены, или их недостаточно);
- непосредственное формулирование задач в виде:
  - программ на языке правил канонической информационной модели;
  - программ на традиционных языках программирования (в текущей версии прототипа – на языке Java);
  - управление потоками работ (в текущей версии прототипа – средства управления потоками работ системы АстроГрид AG Python).

Для поддержки названных возможностей в рамках реализации прототипа были разработаны следующие компоненты:

- портал, обеспечивающий возможности конфигурирования посредников, задания программ и отображение результатов;
- адаптеры (wrappers) - специальные программы, обеспечивающие унифицированный доступ к разнородным ресурсам из посредников: преобразование запросов на языке программ посредника в запросы на языке ресурса, получение результата запроса от другого ресурса, а также преобразование результатов запросов в объекты схемы посредника [12], в том числе:
  - адаптер реляционных баз данных (*Native DataSource Wrapper*);
  - адаптер к астрономическому каталогу данных SDSS [13] (*SDSS Wrapper*) с поддержкой возможности выполнения процедуры кросс-идентификации астрономических объектов XMatch на сервере SDSS;
  - адаптер DSA-ресурсов, зарегистрированных в системе АстроГрид (*DSA Wrapper*),
  - адаптер реестров АстроГрида (*RegistryWrapper*), для осуществления поиска по метаданным ресурсов или приложений в реестрах системы АстроГрид;
  - адаптер ресурсов системы VizieR (*VizieR Wrapper*);
  - адаптер системы поиска VizieR, для осуществления поиска по метаданным ресурсов или приложений в системы VizieR;
  - адаптер сервисов (*Service Wrapper*).
- средства переписывания и планирования программ над схемой посредника в частичные программы над ресурсами (Runtime Components) [14].

## 5. Пример решения научной задачи

### 5.1. Концептуальная схема задачи

Задача *определения вторичных стандартов для фотометрической калибровки оптических компонентов космических гамма-всплесков* (далее просто *задача*) поставлена Институтом космических исследований РАН [15]. Поиск стандартов необходим для проведения фотометрии

оптического компонента гамма-всплесков. В качестве стандартов необходимо использовать звезды с определенным блеском, находящиеся в небольшой окрестности конкретного наблюдения гамма-всплеска. Стандарты должны быть звездами (а не галактиками или артефактами), не переменными, изолированными, близкими по цвету к ожидаемому цвету гамма-всплеска, с малым собственным движением. Фотометрические оценки блеска звезд должны иметь минимальную ошибку (статистическую и систематическую), и таких звезд должно быть не менее пятнадцати для того, чтобы оставить специалисту возможность выбора стандартов по критериям конкретного наблюдения. Таким образом, задача определения стандартов включает выбор кандидатов в стандарты, вычисление количественного критерия качества стандарта и определение фотометрических значений стандарта в различных фотометрических системах.

Общий процесс решения задачи в инфраструктуре семантического грида выглядит следующим образом:

- построение глоссария предметной области;
- построение онтологии предметной области и онтологий ресурсов;
- создание концептуальной схемы посредника;
- регистрация в предметном посреднике ресурсов, релевантных задаче;
- формулирование задачи в виде программы или потока работ над концептуальной схемой и запуск ее на необходимых входных данных.

В процессе анализа описания задачи были выявлены фрагменты текста, определяющие термины или задающие их ограничения. По таким фрагментам, с использованием существующих астрономических онтологий [16], термины были определены вербально, т.е. были составлены их текстовые описания. Например, для термина *Magnitude* (звездная величина) было составлено определение «logarithmic measure of the brightness of an object, measured in a specific passband in particular epoch». В вербальных определениях терминов была произведена идентификация связанных с ними существенных терминов, и глоссарий был дополнен этими терминами. Так, например, термин *Epoch* (эпоха) является частью определения термина *Magnitude*. Далее была проведена аннотация новых терминов вербальными определениями. Этот процесс повторялся до некоторого насыщения глоссария.

На основе анализа вербальных определений терминов контекста решаемой задачи были выявлены онтологические понятия и связи между ними. Так, понятие *PhotometricSystem* связано отношением один-ко-многим с понятием *Passband*. Также были оценены и специфицированы ограничения отношений, специфические для предметной области. Так, например, свойство *epoch* понятия *Magnitude* имеет кардинальность 1.

На основании анализа описания задачи и построенной онтологии была создана концептуальная схема предметной области для решения задачи (Рис. 2). Были выявлены следующие основные типы данных, необходимые для решения задачи:

- экваториальные координаты (CoordEQJ);
  - фотометрическая система (PhotometricSystem);
  - фотометрическая полоса (Passband);
  - звездная величина в некоторой фотометрической системе (Magnitude);
  - абстрактный астрономический объект (Astronomical Object);
  - звезда (Star);
  - стандарт (Standard);
  - изображение (Image);
- а также методы и функции:
- кросс-идентификация объектов (matchObjects);
  - вычисление цветового индекса (colorIndex);

- проверка, является ли данный объект объектом некоторого определенного типа – звездой, галактикой и т.д. (checkType);
- проверка переменности звезды на основе фотометрических параметров (isVariable).

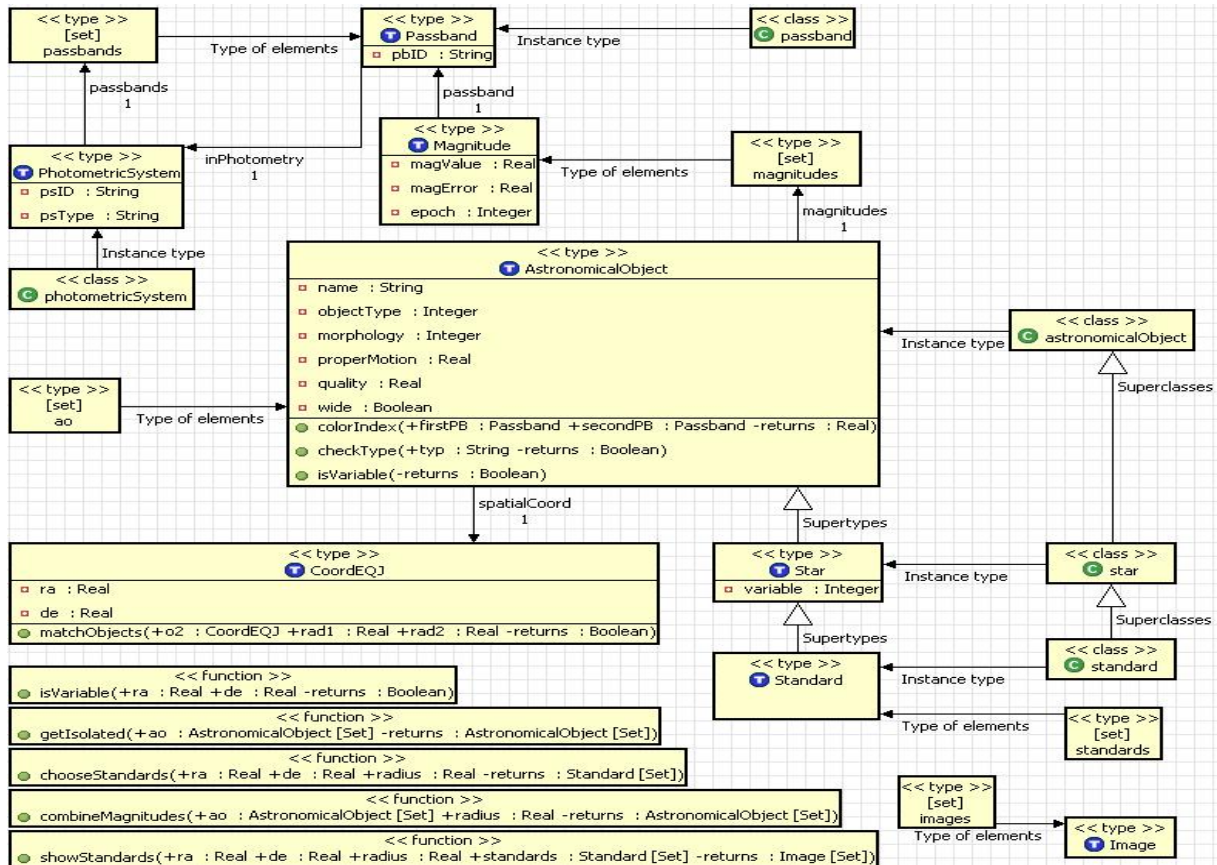


Рисунок 2 - Концептуальная схема задачи определения стандартов

### 5.2. Процесс решения задачи

Задача определения стандартов была сформулирована в виде программы над концептуальной схемой, рассмотренной в предыдущем разделе. Параметром программы является площадка на небесной сфере, в которой произошел гамма-всплеск. Площадка характеризуется центром с координатами  $queryRA$ ,  $queryDE$  и радиусом  $radius$ . Программу можно разбить на пять последовательных шагов.

#### Шаг 1.

На первом шаге среди всех астрономических объектов выбираются те, что попадают в указанную площадку. При этом нас интересуют только координаты ( $ra$ ,  $de$ ), звездные величины в различных полосах ( $magnitudes$ ), тип объекта ( $objectType$ ), собственное движение ( $properMotion$ ) и качество данных ( $quality$ ). Запрос к посреднику, представляющий собой правило языка СИНТЕЗ [5] (подобное правилам языка Datalog) выглядит следующим образом:

```

r(x/[ra, de, magnitudes, objectType, properMotion, quality])
:- astronomicalObject(x1/[ra: spatialCoord.ra, de: spatialCoord.de, objectType,
properMotion, quality, magnitudes])
& ra < queryRA + radius & ra > queryRA - radius
& de < queryDE + radius & de > queryDE - radius
  
```

Правило продуцирует коллекцию  $r$  объектов, содержащих только необходимые атрибуты и удовлетворяющих ограничениям на координаты, указанным в теле правила, из коллекции всех



доступных астрономических объектов (*astronomicalObject*). В виртуальной коллекции *astronomicalObject* интегрированы следующие информационные ресурсы:

- из информационного грида АстроГрид:
  - каталог USNO-B1 (US Naval Observatory). Покрывает все небо, включает наблюдения  $10^9$  объектов за последние 50 лет, сканированные с пластин Шмидта;
  - каталог 2MASS (Two Micron All-Sky Survey). Обзор всего неба на длине волны 2 микрона, включает наблюдения  $3 \cdot 10^8$  объектов за 1997-2001 годы;
- из информационного грида VisieR:
  - каталог GSC (Guide Star Catalog). Включает наблюдения  $945 \cdot 10^6$  объектов, полученных с телескопа «Хаббл»;
  - каталог UCAC3 (The Third USNO CCD Astrograph Catalog). Покрывает все небо, включает наблюдения  $10^8$  объектов;
- каталог SDSS (Sloan Digital Sky Survey). Включает наблюдения  $357 \cdot 10^6$  объектов северной части неба с 2.5-метрового телескопа обсерватории Апач Пойнт, Нью-Мексико.

### Шаг 2.

На втором шаге конструируются объекты, содержащие звездные величины из всех возможных ресурсов. Для этого производится кросс-идентификация объектов из разных ресурсов, после чего все одинаковые параметры отбрасываются за исключением звездных величин, которые объединяются в одно множество. Данная часть программы представляет собой вызов соответствующей функции:

```
combineMagnitudes (r/AstronomicalObject, r1);
```

Тем самым производится объединение фотометрических данных из различных астрономических каталогов.

### Шаг 3.

На третьем шаге отсеиваются неизолированные объекты:

```
getIsolated(r1, r2);
```

На вход функции *getIsolated* поступает коллекция *r1*, полученная на предыдущем шаге, в результирующую коллекцию *r2* попадают только изолированные объекты (т.е. такие, в некоторой окрестности которых на небесной сфере не наблюдается других объектов).

### Шаг 4.

На четвертом шаге отсеиваются переменные объекты и галактики, и выбираются звезды с очень малым собственным движением и качественными фотометрическими данными:

```
r3(x/[ra, de, magnitudes])
:- r2(x1/[ra, de, objectType, properMotion, quality, magnitudes])
& checkType(x1, 'G', nType) & nType = false
& isVariable(x1, isVar) & isVar = false
& objectType = Star
& properMotion < 0.01
& quality < 0.01
```

Все подходящие объекты (из структуры которых остаются только координаты и звездные величины) попадают в коллекцию *r3*, определенную в голове правила. Выбираются объекты из коллекции *r2*, полученной на предыдущем шаге. При помощи функции *checkType* выбираются те объекты, тип которых не есть *G* (галактика). При помощи функции *isVariable* выбираются только объекты, не являющиеся переменными. Также проверяются условия на тип объекта (*objectType = Star*), собственное движение (*properMotion < 0.01*) и качество фотометрии (*quality < 0.01*).

Функция *isVariable* проверяет переменность звезд, основываясь на интегрированной информации следующих ресурсов:

- из информационного грида VisieR – каталог VSX (The International Variable Star Index). Составлен American Association of Variable Star Observers, включает  $18 \cdot 10^4$  переменных звезд;



- NSVS (Northern Sky Variability Survey). Покрывает северную часть неба, включает наблюдения  $14 \cdot 10^6$  объектов, полученной с роботизированной системы телескопов в Лос-Аламосе;
- ASAS (All Sky Automated Survey variable stars). Составлен Обсерваторией университета Варшавы;
- GSVC (General Catalogue of Variable Stars). Составлен Институтом астрономии РАН и ГАИШ МГУ, включает  $78 \cdot 10^3$  переменных звезд;

Функция *checkType* определяет тип объекта, используя веб-сервис к NASA/IPAC Extragalactic Database, включающей данные о  $8 \cdot 10^5$  объектов.

#### Шаг 5.

На четвертом шаге в коллекцию *r3* попадают звезды - кандидаты в стандарты. На последнем же шаге кандидаты маркируются на изображениях площадки гамма-всплеска и предоставляются пользователю для утверждения:

```
r4(im/Image):- showStandards(queryRA, queryDE, radius, r3)
```

В результирующую коллекцию изображений *r4* попадают изображения площадки с заданными координатами *queryRA*, *queryDE* и радиусом *radius*, на которых промаркированы кандидаты из коллекции *r3*, полученной на предыдущем шаге.

## 6. Заключение

В настоящей статье рассматриваются первые результаты создания семантического грида, основанного на концепции предметных посредников для решения научных задач над множеством неоднородных распределенных информационных ресурсов. Введение семантического грида призвано решить ряд семантических проблем взаимодействия ученого, решающего задачу в некоторой предметной области, и разнообразных релевантных задаче результатов наблюдений и средств их обработки. В исследованной архитектуре предметных посредников реализован подход, движимый приложениями, при котором для класса приложений формируется спецификация предметной области независимо от существующих информационных ресурсов. Далее происходит идентификация ресурсов, релевантных задаче, и их регистрация в посреднике на основе техники GLAV.

Стоит отметить два важных момента. Первый заключается в возможности использования произвольных гридов (вычислительных, информационных) для решения задач. Каждый грид представлен абстрактно - своими информационными ресурсами: базами данных, файлами, сервисами (под которыми скрываются программы из библиотек программ соответствующего грида), и пр. Для пользования этими ресурсами нужны реестры ресурсов и согласованные интерфейсы для подключения к семантической среде поддержки решения задач - среде посредников. В случае наличия интерфейсов, реестров и ресурсов конкретный грид может быть включен в семантический грид, основанный на предметных посредниках и использоваться для решения задач.

Второй момент заключается в том, что над совокупностью грид-базированных ресурсов создается семантический промежуточный слой (слой предметных посредников) для придания всей совокупности грид-ресурсов унифицированных представлений. Унифицируются спецификации концептуальных моделей решения задач, формулируемых в терминах предметных областей и воплощаемых в посредниках. Унифицируются спецификации нужных задаче (посреднику) ресурсов и задания отображений отобранных ресурсов в спецификации посредников. Унифицируется рассредоточенное планирование реализации концептуальных моделей и рассредоточенное исполнение программ поддержки решения задач над множеством грид-ресурсов. Таким образом, пользователь решает задачу в общих терминах, не заботясь о том, какие конкретно грид-инфраструктуры используются для решения задачи.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности исследованного подхода, существенное развитие которого планируется в ряде направлений. Планируется использование семантического грида, основанного на предметных посредниках при решении разнообразных

научных задач. Возможности разработанной инфраструктуры были продемонстрированы при решении задачи определения вторичных стандартов для фотометрической калибровки оптических компонентов космических гамма-всплесков.

### Литература

1. Д.О. Брюхов, А. Е. Вовченко, О.П. Желенкова, В.Н. Захаров, Л.А. Калиниченко, Д.О.Мартынов, Н.А. Скворцов, С.А. Ступников. Архитектура Промежуточного слоя Предметных Посредников для Решения Задач над Множеством Интегрируемых Неоднородных Распределенных Информационных Ресурсов в Гибридной Грид-Инфраструктуре Виртуальных Обсерваторий. Информатика и ее Применения, 2008. Т. 2. Вып. 1. С. 2-34
2. В.Н. Захаров, Л.А. Калиниченко, И.А. Соколов, С.А. Ступников. Конструирование Канонических Информационных Моделей для Интегрированных Информационных Систем. Информатика и ее Применения, 2007. т.1, вып.2, с.15-39.
3. Рябухин О.В. Брюхов Д.О. Калиниченко Л.А. Формирование выражений взглядов в задаче регистрации ресурсов в предметных посредниках. RCDL'2009, Петрозаводск, Россия, 2009.
4. А.Е. Вовченко, В.Н. Захаров, Л.А. Калиниченко, Д.Ю. Ковалёв, О.В. Рябухин, Н.А. Скворцов, С.А. Ступников. От спецификаций требований к концептуальной схеме. RCDL'2010, Казань, Россия, 2010.
5. Kalinichenko L. A., Stupnikov S. A., Martynov D. O. SYNTHESIS: A language for canonical information modeling and mediator definition for problem solving in heterogeneous information resource environments. — М.: IPI RAS, 2007. 171 p.
6. Briukhov D.O., Kalinichenko L.A., Martynov D.O. [Source Registration and Query Rewriting Applying LAV/GLAV Techniques in a Typed Subject Mediator](#). Proc. of the Ninth Russian Conference on Digital Libraries RCDL'2007. -- Pereslavl-Zalesskij: Pereslavl University, 2007. -- P. 253--262.
7. AstroGrid. <http://www.astrogrid.org>.
8. Vizier. <http://vizier.u-strasbg.fr/cgi-bin/VizieR>
9. The open archives initiative protocol for metadata harvesting. Protocol Version 2.0 of 2002-06-14, Document Version 2004/10/12T15:31:00Z. <http://www.openarchives.org/OAI/2.0/openarchivesprotocol.htm>.
10. International Virtual Observatory Alliance. <http://ivoa.net/>
11. Kalinichenko L.A., Stupnikov S.A. [Constructing of Mappings of Heterogeneous Information Models into the Canonical Models of Integrated Information Systems](#). Advances in Databases and Information Systems: Proc. of the 12th East-European Conference. -- Pori: Tampere University of Technology, 2008. -- P. 106-122.
12. Stupnikov S.A., Kalinichenko L.A., [Methods for Semi-automatic Construction of Information Models Transformations](#). Proc. of the 13th East-European Conference Advances in Databases and Information Systems, workshop Model – Driven Architecture: Foundations, Practices and Implications (MDA). - Riga: Riga Technical University, 2009. – P. 432-440.
13. The Sloan Digital Sky Survey. <http://www.sdss.org/>
14. Вовченко А.Е., Крупа А.В. Планирование запросов над множеством неоднородных распределенных информационных ресурсов в архитектуре средств поддержки предметных посредников. RCDL'2009, Петрозаводск, Россия, 2009.
15. Вовченко А.Е., Вольнова А.А., Денисенко Д.В., Калиниченко Л.А., Куприянов В.В., Позаненко А.С., Скворцов Н.А., Ступников С.А. Применение средств виртуальной обсерватории для выбора вторичных стандартов поля при фотометрии оптического послесвечения гамма-всплесков. Труды Всероссийской Астрономической Конференции, ВАК-2010.
16. Ontology of Astronomical Object Types. Version 1.3. <http://www.ivoa.net/Documents/Notes/AstrObjectOntology/>