

Схема постановки и решения задачи мониторинга пространственного объекта

Ю.А. Маглинец¹, Р.В. Брежнев¹, К.В. Раевич¹, А.В. Пятаева¹, Г.М. Цибульский¹

¹Сибирский федеральный университет, институт космических и информационных технологий, ул. Киренского 26, Красноярск, Россия, 660074

Аннотация. В статье обсуждается проблематика взаимодействия конечных пользователей – постановщиков задач наблюдения за пространственными объектами (далее Постановщик) с системой дистанционного аэрокосмического мониторинга поверхности Земли (далее Система) при решении задач мониторинга в контексте объектно-ориентированного подхода. Рассматриваются такие аспекты взаимодействия, как постановка задачи, интерпретация задачи во внутреннее представление Системы, решение задачи, предоставление результатов решения Постановщику. Отдельное внимание уделено проблеме решения задачи, которая рассматривается, как способность Системы динамически выстраивать схемы решения (алгоритмические конструкции) в диалоге с Постановщиком на основе формальной грамматики. Представлена обобщенная методика постановки задачи. Также рассмотрен пример постановки задачи измерения температуры поверхности заданного пространственного объекта – поля севооборота – по спутниковым данным в тепловом диапазоне.

1. Введение

Данная работа является развитием исследования [1–3], направленного на разработку технологии создания интеллектуальных информационных систем объектно-ориентированного мониторинга территорий по данным дистанционного зондирования. Технология ориентирована на конечных пользователей, которые выступают, как постановщики задач и потребители результатов их решения. Как отмечалось в [1], ежегодный рост объемов данных ДЗЗ, получаемых от аэрокосмических съемочных систем, повышение их качества и доступности позволяет решать все большее количество прикладных задач в разных сферах деятельности. Такой рост популяризирует услуги, оказываемые космическими агентствами и официальными дистрибьюторами, для государства, бизнеса и населения. Однако следует отметить значительный разрыв между выразительными средствами, реализованными в интерфейсных решениях, описанных в литературных источниках [4–8] систем обработки и анализа геопространственных данных (далее – Систем), с одной стороны и информационными потребностями конечных пользователей – с другой. В этой связи представляются актуальными вопросы организации гибкой унифицированной диалоговой среды, позволяющей конечному пользователю, рассуждающему в терминах своей профессиональной области, формулировать перед Системой задачи дистанционного наблюдения за пространственным объектом.

Наряду с вопросами постановки задачи, не менее важными являются вопросы ее внутрисистемного представления и наличия у Системы возможностей решать задачи в заданной постановке. В статье обсуждаются указанные вопросы и предлагаются подходы к их решению, рассмотренные ниже.

2. Организация диалоговой среды постановки задачи дистанционного мониторинга пространственных объектов

Диалог, возникающий между Постановщиком задачи и Системой мониторинга, направляется целями его участников. Основная цель Постановщика – организация дистанционного наблюдения за наземным объектом (далее – Объект), представляющим для него интерес. При этом Постановщик формулирует цель наблюдения и ожидает от Системы сведений об Объекте, поступающих в темпе его изменений. Основная цель Системы – сформировать алгоритмическую модель, обеспечивающую решение поставленной задачи.

Постановка задачи направляется обобщенной схемой решения задачи, которая выглядит следующим образом.

1. Постановщик, в диалоге с Системой, характеризует Объект, оперируя элементами базы знаний [2]. При этом формируется модель предметной области (K), к которой принадлежит Объект, формируется актуальная модель (K_A), означающая начальные параметры Объекта, требуемые для его идентификации в пространстве геометрических (координаты) и/или семантических признаков [1]. Так же формируются требования к модели (K_T), описывающей изменение заданных признаков Объекта (спектральных, текстурных, геометрических или др.) во времени.

2. Система, в темпе ожидаемого изменения Объекта, осуществляет измерения и интерпретацию состояний Объекта, то есть означает ограниченное множество признаков K_T .

3. В случае если состояние интерпретировано, как «необходимость оповещения», Система формирует диалоговое сообщение Постановщику.

4. Постановщик – при поступлении сообщений, либо по собственной инициативе, может прекратить текущий цикл мониторинга и переформулировать задачу, например, при появлении у него дополнительной информации о состоянии Объекта, полученной вне рамок описываемого диалогового взаимодействия.

Таким образом, постановка задачи в терминах, введенных в работах А.М. Довгялло [9], выглядит следующим образом:

$$T = \langle K, K_A, K_T \rangle. \quad (1)$$

В зависимости от целей пользователя, будем различать задачу единичного измерения и задачу мониторинга. В первом случае, цель Постановщика – увидеть одномоментный «срез», характеризующий состояние Объекта. Во втором – установить наблюдение за Объектом и, с определенной периодичностью, отслеживать изменения его во времени. Роль Системы в этом процессе – сообщать об изменениях Постановщику. При этом необходимо определить степень существенности изменений, чтобы, с одной стороны, не пропустить важное изменение, с другой – не инициировать коммуникацию при возникновении рутинных событий.

2.1. Методика постановки задачи дистанционного мониторинга

Базовый сценарий методики выглядит следующим образом.

1. **Постановщик (П):** Указание типа объекта мониторинга и аспектов мониторинга.
2. **Система (С):** Визуализация таксономического дерева предметной области; возможность иерархического спуска по таксономии понятий предметной области с раскрытием понятийных вершин и просмотром их характеристик. Визуализация полей для ввода ключевых слов; возможность автоматического поиска вершин по ключевым словам.
3. **П:** Выбор интересующих понятий и требуемых для анализа аспектов. Осуществляется одним из предоставляемых способов, рассмотренных выше.
4. **С:** визуализация сформулированного в диалоге набора понятийных вершин и их аспектов, интересующих Постановщика.
5. **П:** Просмотр результатов целеуказания. Возможность подтверждения сформулированного выбора, либо его коррекции путем возврата к п. 3.
6. **П:** Указать пространственную локацию объекта мониторинга.
7. **С:** Визуализация картосхемы территории интереса. Возможность осуществления операций навигации и смены подложек. Визуализация справочников территориального деления и зонирования, доступных Системе.

8. **П:** Выбор пространственной локации. Осуществляется указанием геопространственных объектов, известных Системе, путем непосредственного позиционирования и (или) выбора наименования объекта из справочника.
9. **С:** Запрос подтверждения удовлетворенности Постановщиком заданием пространственной локации.
10. **П:** Подтверждение корректности задания пространственной локации. Возможность перехода к альтернативному сценарию внесения в Систему недостающей, либо более актуальной информации путем подгрузки новых, либо корректировки существующих векторных слоев.
11. **С:** Визуализация временной шкалы измерений. Возможно использование стандартных календарей, а также элементов диалога, зависящих от предметной области – так, стереотип «в течение периода вегетации» для сельскохозяйственной культуры, с учетом районирования, косвенным образом задает интервал дат.
12. **П:** указание временного интервала дат измерений.
13. **П:** указание требований к предоставлению результатов.
14. **С:** визуализация отобранного на шаге (5) методики набора анализируемых аспектов.
15. **П:** для аспектов, описываемых количественно, уточнение порогового значения и контрольного времени достижения порогового значения.
16. **П:** для аспектов, характеризующих состояние Объекта, уточнение контрольного времени наступления состояния.
17. **П:** для всех групп аспектов – уточнение контрольного значения удельной площади фрагмента Объекта, для всех пикселей которого достигнуто требуемое условие.

Диалог будет считаться успешным, если достигнут удовлетворительный результат по цели Постановщика. Предусловиями успешного ведения и окончания диалога со стороны Системы являются:

- унифицированный интерфейс [10], предназначенный для постановки задач конечными пользователями, основанный на базе знаний;
- база знаний и данных о пространственных объектах, представленная в виде систематизированных классификаторов на основе онтологии [2];
- программно-алгоритмическое обеспечение [3], позволяющее Системе с одной стороны интерпретировать действия пользователя, а с другой – оперировать разнородными геопространственными данными в процессе решения задач мониторинга.

3. Решение поставленной задачи

В процессе решения Системой поставленной задачи единичного или циклического измерения признаков, характеризующих некоторый аспект состояния наблюдаемого объекта, Системе требуется определить:

- необходимый темп измерений и источники информации;
- дешифровочные признаки аспектов объекта, подлежащих обнаружению на изображении с учетом характеристик каждого из источников;
- соответствие между численными значениями, измеряемыми на изображении и соответствующими характеристиками объекта мониторинга, которые необходимо определить в соответствии с запросом Постановщика.

Для реализации информационного запроса Система должна обладать совокупностью компонент программно-алгоритмического и информационного обеспечения, достаточной для того, чтобы осуществлять решения задач в рамках профессиональной области Постановщика. При этом следует рассматривать два случая:

1. Ход решения задачи априори известен, т.е. в Системе представлена апробированная ранее схема решения. Такая ситуация соответствует выбору Постановщиком конкретного действия, которое необходимо выполнить над объектом. В таком случае Система способна однозначно сопоставить семантическое описание задачи с алгоритмом ее решения.

2. Ход решения задачи не известен. Это ситуация, в которой Система должна быть наделена

способностью формировать схему решения в диалоге с Постановщиком.

Формирование схемы решения может быть основано на синтаксически ориентированном подходе [11] применительно к интерпретации действий Постановщика в Системе, в рамках которого шаги диалогового взаимодействия можно рассматривать как множество последовательных действий [12]. Тогда задача интерпретации действия будет означать соотнесение действия с некоторой из заданных элементарных функций Системы, т.е. функций, способных решать одну из подзадач поставленной задачи.

Представим процесс диалогового взаимодействия как перевод высказываний с одного формального языка на другой. В рамках взаимодействия перевод подчинен некоторой грамматике G_1 и G_2 :

$$G_i = (V_{Ti}, V_{Ni}, P_i, S_i). \quad (2)$$

Пусть грамматика G_1 описывает действия Постановщика в Системе, а грамматика G_2 – функции Системы. Тогда для G_1 и G_2 определены алфавиты, которые представляют собой множества терминальных V_T и нетерминальных V_N символов.

К терминальным символам V_{T1} грамматики G_1 относится множество определенных действий Постановщика в Системе. К нетерминальным символам V_{N1} можно отнести каждую последовательность действий, которая рассматривается как некоторое высказывание (или цепочка), составленное из элементов множества V_{T1} . Диалог, описанный в виде совокупности высказываний, можно представить в виде дерева (рис. 1) или графа. При этом символ S_1 является корневым элементом, определяющим стартовую точку диалога. Элементами множества P_1 являются правила подстановки, используемые для интерпретации действий Постановщика.

По аналогии с грамматикой G_1 можно определить элементы грамматики G_2 , где V_{T2} – множество функций Системы; V_{N2} – последовательность функций, которая определяет схему алгоритма решения задачи или ее части; S_2 – корневой элемент, определяющий начальную функцию решения задачи; P_2 – правила подстановки функций. Элемент S_2 может быть корневым только в том случае, если инициатором диалога будет являться Система.

Рассмотрим пример постановки задачи, при которой схема решения не определена. Пусть задано ограниченное множество действий Постановщика $V_{T1} = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_n\}$ (табл. 1) и функций Системы $V_{T2} = \{f_1, f_2, f_3, \dots, f_n\}$ (табл. 2).

Таблица 1. Описание действий Постановщика.

Действие (d_i)	Интерпретация (A_i)
d_1	Указать объект
d_2	Задать область
d_3	Задать время
d_4	Рассчитать температуру поверхности
d_5	Задать форму представления результата

Таблица 2. Описание функций Системы.

Функция (f_i)	Интерпретация (B_i)
f_1	Осуществить поиск исходных снимков в архиве Системы
f_2	Осуществить поиск исходных снимков в известных Системе сторонних архивах
f_3	Извлечь архив данных
f_4	Создать поканально мозаику из сцен, содержащих заданный объект
f_5	Выполнить атмосферную коррекцию заданных каналов
f_6	Обрезать изображение по заданным координатам
f_7	Рассчитать температуру
f_8	Опубликовать картосхему температуры поверхности на геопортале Системы

Требуется определить температуру поверхности с/х поля (объект O_{165}) на дату $Tm = 2018-07-19$.

Поскольку Постановщик является конечным пользователем, не являющимся специалистом в обработке данных ДЗЗ, то в контексте взаимодействия он может формировать запрос, используя различные траектории диалога. Представим траекторию, в которой Постановщик начинает с задания интересующего параметра – температуры поверхности:

1. **П:** Выбирает интересующий параметр – температуру поверхности (действие d_4);
2. **С:** Классифицирует указанный параметр как производный продукт обработки спутникового снимка и, исходя из этого, определяет стартовую точку диалога $S \rightarrow A_4(d_4, R_9)$, где A_4 – интерпретация d_4 , R_9 – правило, из которого следует, что необходимо сделать Постановщику для продолжения диалога;
3. **С:** Предлагает указать объект (d_1) или задать область на карте (d_2). В этом случае Постановщику предлагается альтернатива: $R_9 \rightarrow A_1(d_1, R_8)$ или $R_9 \rightarrow A_2(d_2, R_8)$;
4. **П:** Указывает объект O_{165} на карте – d_1 ;
5. **С:** Исходя из правила R_9 , предлагает указать интересующую дату или период: $R_8 \rightarrow A_3(d_3, R_7, R_5)$;
6. **П:** Указывает дату T – d_3 ;
7. **С:** Определяет наличие в своей БД снимков, исходя из заданных координат и даты, в соответствии с правилом $R_7 \rightarrow B_1(f_1 \vee R_6)$, где $R_6 \rightarrow B_2(f_2)$ – поиск снимков в сторонних архивах, известных Системе.
8. **С:** Если релевантные данные найдены, переходит к подготовке данных для последующего расчета в соответствии с $R_5 \rightarrow B_3(R_4, R_3)$, где $R_4 \rightarrow B_3(f_3, f_5, f_4, f_6)$. При этом f_4 – не обязательная функция, которая выполняется тогда, когда заданный объект или область расположены на более чем одной сцене изображения и для его целостного анализа требуется сшивка сцен. В рассматриваемом примере может потребоваться сшивка только одного канала – Landsat-8 TIRS;
9. **С:** Выполняет расчет температуры поверхности для заданного объекта в соответствии с правилом $R_3 \rightarrow B_4(f_7, R_2)$;
10. **С:** Предлагает задать способ представления результата: $R_2 \rightarrow A_5(d_5, R_1)$;
11. **П:** Выбирает отображение картосхемы – d_5 ;
12. **С:** Оформляет результат расчета в заданный Постановщиком форме (картосхема): $R_1 \rightarrow B_5(f_8)$.

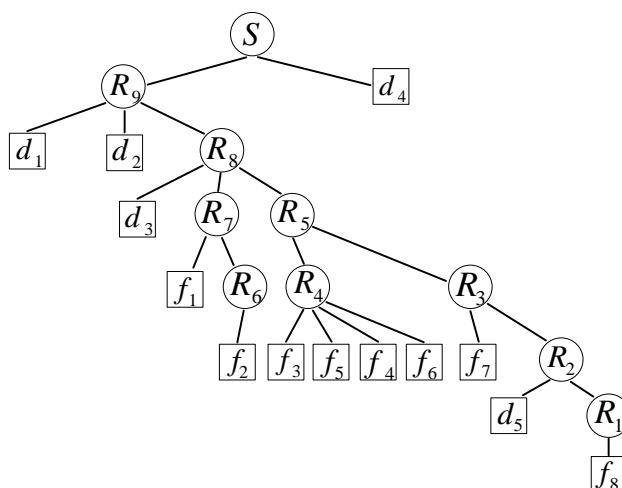


Рисунок 1. Дерево диалога постановки задачи вычисления температуры поверхности.

Рассмотренная схема диалога является примером реализации методики, рассмотренной в п. 2. Следует отметить, что базовый сценарий методики носит рекомендательный характер и не ограничивает Постановщика в выборе траектории взаимодействия. Таким образом, стартовая точка диалога может начинаться с любого действия Постановщика.

Формирование цепочек вида (f_3, f_5, f_4, f_6) осуществляется в процессе обучения Системы, который подробно рассмотрен в [2, 3]. Процесс представляет собой построение

алгоритмических конструкций (пример, рис. 3) [2], связанных с действиями Постановщика через онтологическую модель [3]. Построение множества правил P так же является актом обучения. Множество правил, которыми обладает Система, дополняется в процессе решения задач. С увеличением мощности множества увеличиваются возможности Системы интерпретировать действий пользователя и ее способность поддержать диалог с Постановщиком, предлагая в неявном виде означить тот или иной элемент множества K_A , необходимый для полного представления Системой формулируемой задачи.

4. Обсуждение результатов и заключение

В примере (п. 3) рассмотрен случай, в котором Система обладает достаточным количеством программных операторов f_i и способна выполнить запрос. Однако возможны ситуации, в которых алгоритмическое оснащение Системы не достаточно для выполнения обработки данных и предоставления результата. Такая траектория диалогового взаимодействия не должна привести к глобальной неудаче, т.е. ситуации, в которой Постановщик не достигает своей цели. При этом стоит рассматривать два исхода: 1) Система предлагает Постановщику изменить, т.е. переформулировать или уточнить запрос путем указания дополнительных параметров; 2) Система запоминает цепочку действий и инициирует диалог с оператором для обучения.

Экспериментальные исследования диалогового взаимодействия проводятся на основе действующей системы дистанционного мониторинга ИКИТ СФУ. На базе этой системы реализован прототип интерфейса Постановщика задачи (рис. 2).

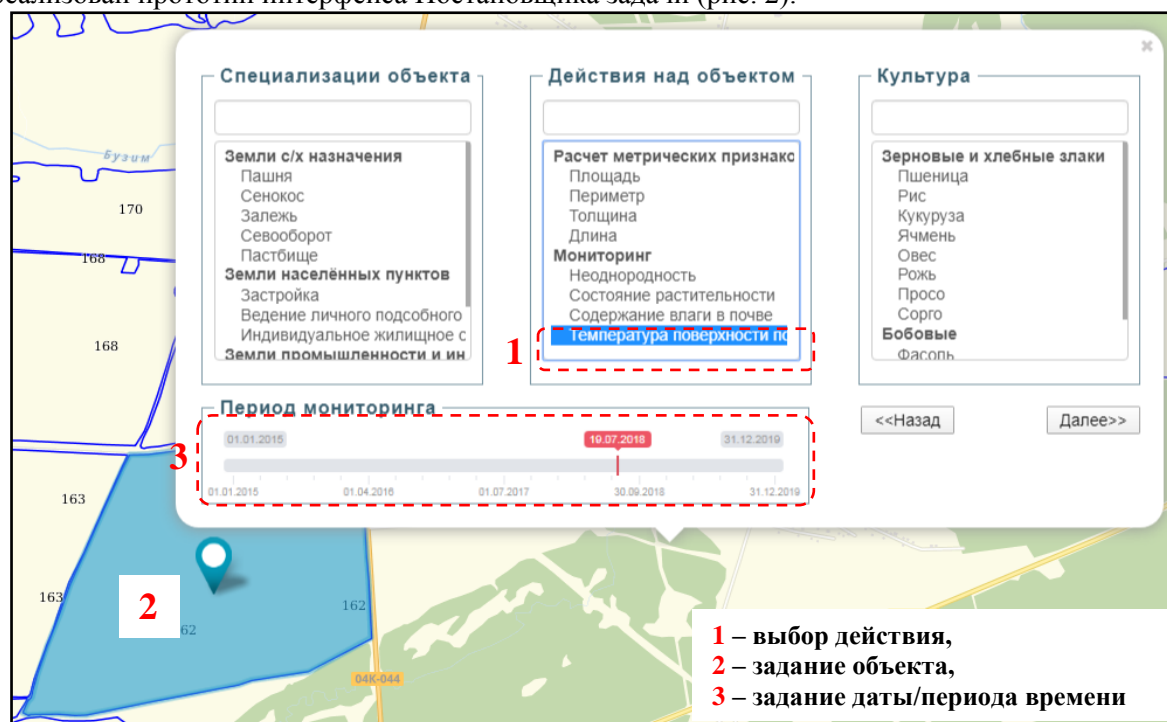


Рисунок 2. Прототип интерфейса Постановщика задачи мониторинга пространственного объекта.

Интерфейс использует совокупность справочников, сгенерированных на основе онтологии и взаимосвязанных за счет заданных отношений, таким образом, Постановщик может использовать переход от одного справочника к другому (кнопки «Назад» и «Далее») для уточнения запроса. Такой прецедент актуален для косвенного задания области интереса в пространстве и времени в случае, когда у Постановщика отсутствует точная информация о координатных и временных характеристиках целевого объекта или области.

Результатом постановки задачи для Системы будет являться динамически сформированная на основе правил P алгоритмическая конструкция (рис. 3), состоящая из блоков – программных

операторов, входные параметры которых частично означаются Постановщиком, частично определяются на основании базы знаний, в случае, когда рассматривается априори известный Системе объект, а частично самостоятельно Системой в процессе обработки изображений и чтения метаданных.

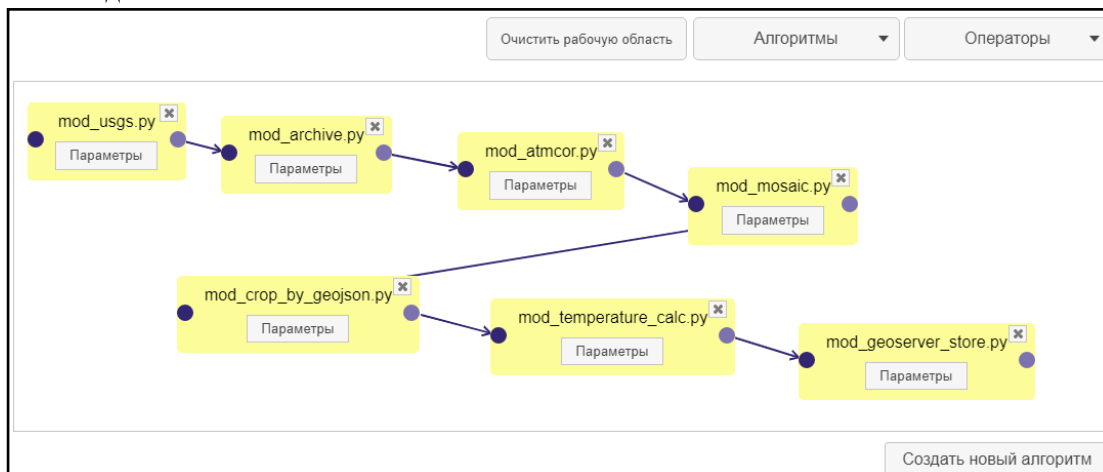


Рисунок 3. Алгоритмическая конструкция решения задачи вычисления температуры поверхности.

На рисунке 4 представлен результат постановки задачи измерения температуры заданного объекта «Поле 162» на территории Сухобузимского района Красноярского края с центром с координатами 56,4259 С.Ш. 92,9572 В.Д.

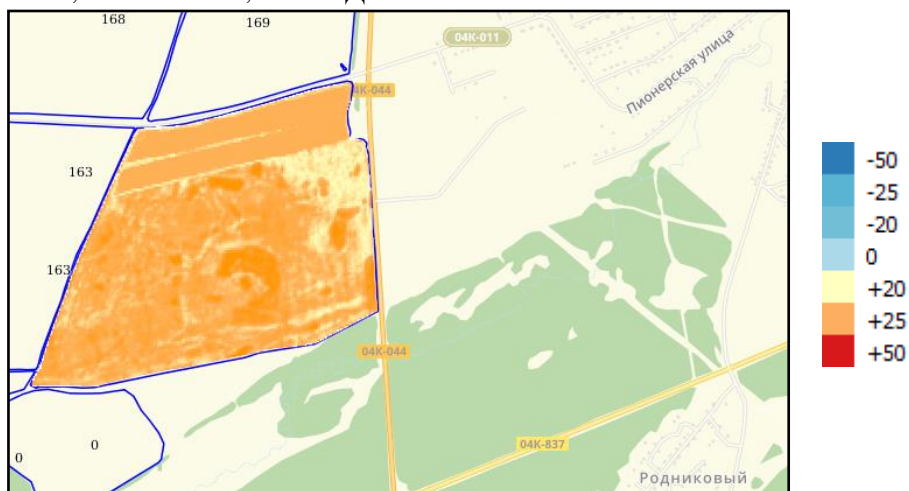


Рисунок 4. Результат расчета температуры поверхности по данным Landsat-8 от 2018-07-19 в тепловом диапазоне.

Формируемые таким образом алгоритмические конструкции, пополняют и расширяют возможности Системы по выполнению пользовательских запросов, а при последующих обращениях Система будет рассматривать такие запросы как типовые (п. 3, случай 1).

5. Благодарности

«Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (номер проекта: 18-47-242002 р_мк), Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта: «Разработка технологии создания интеллектуальных информационных систем объектно-ориентированного мониторинга территорий по данным дистанционного зондирования».

6. Литература

- [1] Brezhnev, R.V. The peculiarities of interaction between the end-user and the remote sensing system for spatial objects detection and recognition / R.V. Brezhnev, Yu.A. Maglinets, K.V. Raevich, G.M. Tsibulsky // CEUR Workshop Proceedings. – 2019. – Vol. 2391. – P. 250-257.
- [2] Brezhnev, R.V. An Interactive Environment for Modeling the Processes of ERS Data Processing and Analysis / R.V. Brezhnev, Yu.A. Maglinets, K.V. Raevich // CEUR Workshop Proceedings. – 2020. – Vol. 2534. – P. 61-67.
- [3] Raevich, K.V. Approaches to Representation of Knowledge of Operations on Spatial Data in Monitoring Applications / K.V. Raevich, Yu.A. Maglinets, R.V. Brezhnev // CEUR Workshop Proceedings. – 2020. – Vol. 2534. – P. 172-177.
- [4] Лупян, Е.А. Создание технологий построения информационных систем дистанционного мониторинга / Е.А. Лупян, И.В. Балашов, М.А. Бурцев, В.Ю. Ефремов, А.В. Кашницкий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т. 12, № 5. – С. 53-75.
- [5] Traynor, C. End users and GIS: a demonstration is worth a thousand words / C. Traynor, M.G. Williams // Interactive Technologies. – 2001. – P. 115-133.
- [6] Попова, М. Модель онтологического интерфейса агрегации информационных ресурсов и средств ГИС // International Journal "Information Technologies & Knowledge". – 2013. – Vol. 7(4). – P. 362-370.
- [7] Лобзенёв, В.Н. Полный цикл обработки материалов ДЗЗ в ПК ИМС // Труды Международной конференции «От снимка к карте: цифровые фотограмметрические технологии» – Хайнань, Китай, 2014. – С. 13-19.
- [8] Foumelis, M. ESA SNAP – StaMPS Integrated Processing for Sentinel-1 Persistent Scatterer Interferometry / M. Foumelis, J.M. Delgado Blasco, Y.-L. Desnos // IGARSS, 2018. – P. 1364-1367.
- [9] Довгялло, А.М. Диалог пользователя и ЭВМ и место средств искусственного интеллекта в его реализации // Кибернетика. – АН УССР, 1979. – № 2. – С.102-108.
- [10] Корнилаева, А.В. Разработка концепции интерфейса постановки задач системы дистанционного мониторинга ИКИТ СФУ / А.В. Корнилаева, Р.В. Брежнев // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: материалы VI Междунар. науч. конф. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2019. – С. 49-52.
- [11] Ту, Дж. Принципы распознавания образов / Дж. Ту, Р. Гонсалес – Москва: Мир, 1978. – 405 с.
- [12] Тазетдинов, А.Д. Автоматный подход в построении компьютерных обучающих диалогов // Информационные технологии и образование. – 2008. – № 4. – С. 42-48.

The Scheme of Setting and Solving of Spatial Objects Monitoring Tasks

Yu.A. Maglinets¹, R.V. Brezhnev¹, K.V. Raevich¹, A.V. Pyataeva¹, G.M. Tsybulsky¹

¹Siberian Federal University, The Institute of Space and Information Technology, Kirenskogo str. 26, ULK, Krasnoyarsk, Russia, 660074

Abstract. The problem of interaction of end users with the system of remote aerospace monitoring of the Earth's surface (hereinafter referred to as the System) when solving monitoring problems in the context of an object-oriented approach is discussed in the article. We consider such aspects of interaction as setting the task, interpreting the task in the internal representation of the System, solving the task, providing the resolution results to the Task Manager. Special attention is paid to the problem of solving task, which is considered as the ability of the System to dynamically build schemes for solving the task in dialogue with the Task Manager on the base of formal language of interaction. A generalized technique of the task setting is presented. The example of the task setting of measuring the surface temperature of the pointed out object - an agricultural field by satellite data in thermal range is also considered.