

Математическое моделирование
Mathematical modeling

УДК 004.81
<https://doi.org/10.32362/2500-316X-2022-10-2-51-58>



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

Семантика визуальных моделей в космических исследованиях

В.П. Савиных¹,
С.Г. Господинов²,
С.А. Кудж³,
В.Я. Цветков^{3, @},
И.П. Дешко³

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, 105064 Россия

² Университет архитектуры, строительства и геодезии, София, 1164 Болгария

³ МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, 119454 Россия

@ Автор для переписки, e-mail: cvj2@mail.ru

Резюме

Цели. Цель работы – разработка методики для оценки семантики слабо структурированных или морфологически сложных визуальных информационных моделей. Для достижения цели вводится критерий отнесения визуальных моделей к сложным и алгоритм получения градиентного изображения с несколькими уровнями плотности. Градиентное изображение не является бинарным, что повышает надежность нахождения границ или контуров. Вводится вспомогательная структурная визуальная модель, и в обработке используется серия изображений разной плотности. Далее вводится понятие условной системы координат изображения, позволяющей переносить информацию с разных визуальных моделей на синтетическую результирующую визуальную модель.

Методы. Использование градиентной обработки изображений и построение новой промежуточной структурной модели, которая позволяет связывать модели с разной плотностью. Введение системы условных координат изображения. Обработка серии моделей с разной плотностью для получения синтетического изображения.

Результаты. Проведена обработка визуальных моделей, полученных с космических снимков со слабой различимостью объектов. Обработаны снимки в системе «Солнце – Земля – Луна». В качестве базиса выбрана система «Солнце – Земля». Для космических снимков характерно то, что яркий свет Солнца «забивает» изображения других объектов с большими фазовыми углами. Применение методики оконтуривания позволило выровнять изображения объектов слабой яркости и большой яркости. Смещение частотной характеристики после выявления всех объектов позволило сформировать четкую визуальную модель.

Выводы. На первичных визуальных моделях изображения слабой яркости не видны. При увеличении экспозиции они появляются, но объекты высокой плотности могут сливаться в один. Из-за этого по одному снимку высокой, средней или слабой плотности принципиально невозможно получить качественное изображение всех объектов или полную семантику визуальной модели. Для получения полной семантики визуальной модели необходима обработка серии изображений с переносом изображений на общее синтетическое изображение. Предложенная методика позволяет решать такие задачи. Сравнение полученных результатов с методами обработки одного изображения показывает надежность и большую информативность метода.

Ключевые слова: математическое моделирование, семантика, визуальная модель, образная модель, визуальная структурная модель, информационное поле, информационная семантика, когнитивная семантика, информационная модель, когнитивная модель

• Поступила: 23.12.2021 • Доработана: 10.01.2022 • Принята к опубликованию: 26.03.2022

Для цитирования: Савиных В.П., Господинов С.Г., Кудж С.А., Цветков В.Я., Дешко И.П. Семантика визуальных моделей в космических исследованиях. *Russ. Technol. J.* 2022;10(2):51–58. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2022-10-2-51-58>

Прозрачность финансовой деятельности: Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

RESEARCH ARTICLE

Semantics of visual models in space research

Viktor P. Savinykh ¹,
Slaveiko G. Gospodinov ²,
Stanislav A. Kudzh ³,
Viktor Ya. Tsvetkov ³, @,
Igor P. Deshko ³

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, 105064 Russia

² University of Architecture, Construction and Geodesy, Sofia, 1164 Bulgaria

³ MIREA – Russian Technological University, Moscow, 119454 Russia

@ Corresponding author, e-mail: cvj2@mail.ru

Abstract

Objectives. The aim of the study is to develop a methodology for assessing the semantics of weakly structured or morphologically complex visual information models. In order to achieve the goal, a criterion for classifying visual models as complex and an algorithm for obtaining a gradient image with several levels of density were introduced. The gradient image is not binary, thus increasing the reliability of finding boundaries or contours. An auxiliary structural visual model was introduced, and a series of images of different densities was used in processing. Next, the concept of a conditional image coordinate system was introduced. This allows for information to be transferred from different visual models to a synthetic resulting visual model.

Methods. Using gradient image processing and constructing a new intermediate structural model allows models with different densities to be linked. A system of conditional image coordinates was introduced and a series of models with different densities to obtain a synthetic image was processed.

Results. The visual models obtained from satellite images with poor visibility of objects were processed in the Sun–Earth–Moon system. The Sun–Earth system was chosen as the basis. A characteristic of space images is the fact that the bright light of the Sun “clogs” the images of other objects with large phase angles. The use of the contouring technique allows for the visibility of images of low brightness and high brightness to be equalised. The shift of the frequency response after detection of all objects enabled the formation of a clear visual model.

Conclusions. In primary visual models, low brightness images were not visible. They appeared when exposure was increased, while high-density objects merged into one. Because of this, it is fundamentally impossible to obtain a high-quality image of all objects, or the complete semantics of a visual model from a single high, medium, or low-density image. In order to obtain the complete semantics of the visual model, a series of images need to be processed with the transfer of images to a common synthetic image. The proposed technique allowed for such problems to be resolved. A comparison of the results obtained using the methods of processing a single image proved the reliability and high information content of the method.

Keywords: mathematical modeling, semantics, visual model, figurative model, visual structural model, information field, information semantics, cognitive semantics, information model, cognitive model

• **Submitted:** 23.12.2021 • **Revised:** 10.01.2022 • **Accepted:** 26.03.2022

For citation: Savinykh V.P., Gospodinov S.G., Kudzh S.A., Tsvetkov V.Ya., Deshko I.P. Semantics of visual models in space research. *Russ. Technol. J.* 2022;10(2):51–58. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2022-10-2-51-58>

Financial disclosure: The authors have no a financial or property interest in any material or method mentioned.

The authors declare no conflicts of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Широкое использование слабоструктурированных визуальных моделей обусловлено их применением во многих областях: лучевая диагностика, космические исследования, радиолокационные изображения, тепловые снимки, системы лазерного сканирования и т.д. Обработка таких изображений с целью получения семантики изображения является актуальной в настоящее время.

Каждая модель имеет форму представления или описания и содержательную часть. Можно говорить о морфологии или формальном представлении модели и ее семантике. Семантика любой модели означает ее смысловое содержание, включая описание ее структуры и пространственные отношения. Семантика визуальной модели связана с ее информативностью [1, 2]. Многие информационные и визуальные модели раздельно строят формализм модели и ее содержательную часть. На практике эти технологические этапы построения модели называют формализацией и сбором семантики. Обусловлено это тем, что формальная модель может иметь разный смысл и привязывать ее жестко к семантике нецелесообразно. Одна и та же формальная модель может иметь разные смыслы. Например, изображение прямоугольника на визуальной модели может обозначать дом, земельный участок, инженерное сооружение или вычислительный блок (на схеме алгоритма). Смысл визуальной модели или ее семантика определяется путем анализа информации, которая собирается дополнительно. Эта методика практикуется в геоинформатике, в которой раздельно собирают метрическую и атрибутивную информацию.

Среди визуальных моделей можно выделить два типа моделей по критерию познаваемости. Первый тип – это хорошо структурированные и распознаваемые визуальные модели с четкими контурами и известными объектами. Примером являются снимки городской территории, сканированные изображения чертежей или карт. Этот тип визуальных моделей можно охарактеризовать термином «объектные». Для такого типа визуальных моделей имеет место естественная декомпозиция. Для них легко

отдельно собрать семантику, а затем ее объединить с моделью. Второй тип – это визуальные модели с нечеткими контурами или их отсутствием, с изображениями объектов неизвестного класса. Этот тип визуальных моделей можно охарактеризовать термином «образные» или «морфологические». Сбор семантики раздельно для таких моделей затруднен. Такой тип моделей встречается в космических исследованиях, при обработке радиолокационных снимков, на рентгеновских снимках. Для этого типа визуальных моделей нет естественной декомпозиции. Поэтому проблема декомпозиции становится дополнительной задачей для этих моделей. Проблема семантики таких визуальных моделей тесно связана с извлечением неявных знаний [3] о такой модели. Общая проблема содержательности визуальных моделей относится к области искусственного интеллекта. Косвенно эта проблема связана с информационным полем [4, 5], с информационными отношениями и информационно-когнитивной семантикой. Можно ввести термин «информационное восприятие» и термин «когнитивное восприятие». Семантика визуальных моделей имеет когнитивную и информационную и составляющие. Поэтому оба этих фактора необходимо исследовать при анализе семантики визуальных моделей.

1. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование осуществлялось методами градиентного, статистического, сравнительного и качественного анализа. В качестве материалов использованы публикации в области анализа и обработки слабоструктурированных изображений, а также космические снимки.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Формирование визуальной модели

В отличие от других информационных моделей, визуальные информационные модели должны иметь три характеристики: морфологию, топологию и пространственные отношения. В некоторых случаях

топология задает структуру. Топология и пространственная логика чаще всего присутствуют в визуальных моделях первого типа. В визуальных моделях второго типа имеются только морфологические признаки и пространственные отношения. По двум типам визуальных моделей можно построить схемы их формирования.

На рис. 1 приведена схема построения визуальной модели первого типа. Источником информации является пространственный образ (снимок пространственного образа), который содержит четкие границы и допускает естественную декомпозицию объектов, входящих в этот образ.

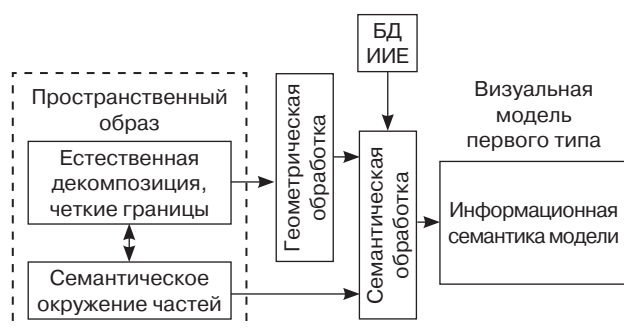


Рис. 1. Построение визуальной модели первого типа. БД ИИЕ – база данных информационных интерпретационных единиц

Естественная декомпозиция и четкие границы создают возможность выявления независимого семантического окружения и описания каждой части пространственного образа (карта, городская территория). Естественная декомпозиция и четкие границы создают возможность разделения визуальной модели на морфологическую и семантическую части. На рис. 1 это показано двусторонней стрелкой между семантическим окружением и морфологической частью. Для визуальных моделей первого типа морфологическая часть и семантика разделимы на

уровне компонент модели. Это разделение дает возможность независимой обработки морфологической части и последующей семантической обработки информации. Такая ситуация приводит к формированию семантики модели, которую можно назвать информационной.

Для формирования семантики модели используют специальную базу данных информационных интерпретационных единиц. Это может быть классификатор условных знаков или тезаурус. Визуальная модель передает смысл пространственного образа в компактной форме. На передачу такой же семантики с помощью естественного или искусственного языка необходимы большие информационные описания.

На рис. 2 приведена схема построения визуальной модели второго типа.

Согласно схеме на рис. 2 пространственный образ не содержит четких границ и четкой декомпозиции частей. Поэтому семантика частей такого образа, а также образа в целом, является неявной. Этот образ передается не в виде разделенных частей, а как информационная ситуация, содержащая объекты и неявные отношения. Поэтому первый этап обработки и извлечения смысла такого образа – это ассоциативная декомпозиция ситуации. Она опирается на базу данных ассоциаций, содержащуюся в когнитивной области эксперта [6] или интеллектуальной системы обработки [7]. Существует большое количество программных средств, которые помогают эксперту в анализе и интерпретации изображений. Такой программный продукт можно использовать для упрощения изображения и создания модели, объединяющей разные изображения одного объекта.

В результате обработки создается когнитивная и информационная семантика визуальной модели, поскольку когнитивный фактор влияет на ее создание на уровне ассоциативной декомпозиции. Для

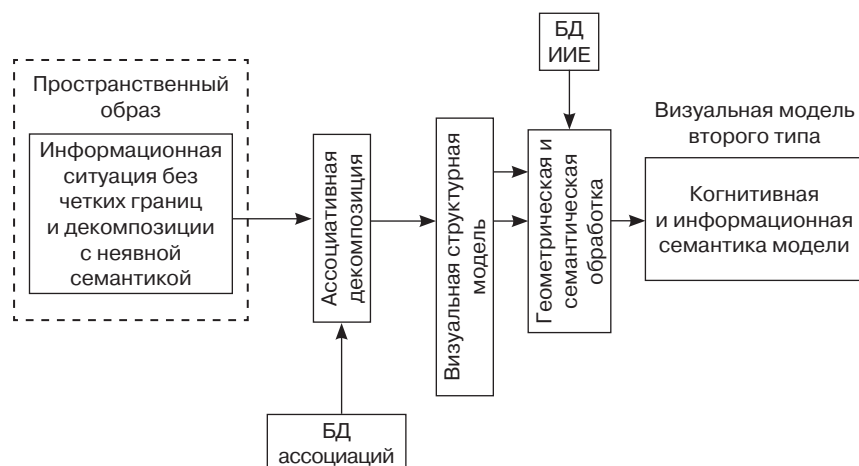


Рис. 2. Построение визуальной модели второго типа

2.2. Экспериментальные исследования

На рис. 5 символ S обозначает Солнце, E – Землю, M – Луну, O – произвольное космическое тело. Визуальная структурная модель или геометрическая модель позволяет задавать условную координатную систему снимка относительно выбранных объектов. Для рис. 5 – это направление «Земля – Солнце». Вторая ось перпендикулярна к этому направлению. По измерениям расстояний на снимке от

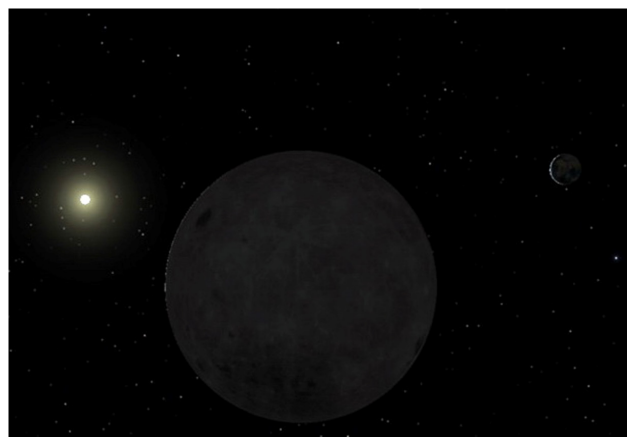


Рис. 3. Исходный снимок Солнца, Земли и Луны



Рис. 4. Структурная визуальная модель, полученная на основе градиентной обработки исходного снимка

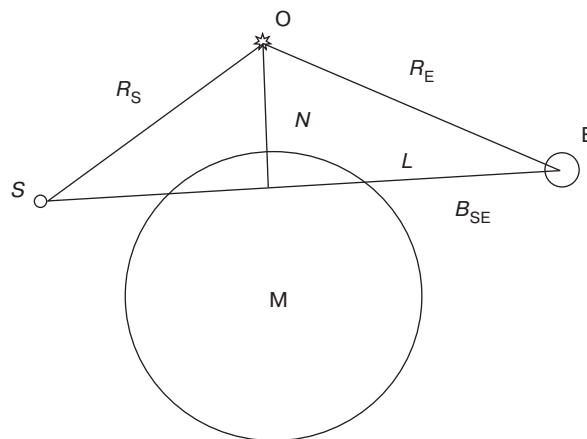


Рис. 5. Векторизованная или геометрическая модель для наложения на серию снимков

$$N = 2 S_{\text{SOE}}/B_{\text{SE}}, \quad (1)$$

$$L = (R_E^2 - N^2)^{1/2}.$$

Все параметры показаны на рис. 5. В выражении (1) S_{SOE} – площадь треугольника SOE, вычисленная через длины его сторон. Следует подчеркнуть, что величины N и L – это условные координаты снимка, которые больше отражают пространственные отношения, а не реальные пространственные координаты. Изменение характеристической кривой возможно при компьютерной обработке. Поднятие слабых светлых тонов и общее выравнивание тонов дает изображение, показанное на рис. 6.



Рис. 6. Снимок, полученный при обработке первичного снимка

Изображение объектов на рис. 6 дано в псевдоцветах. На рис. 6 хорошо видны звезды, которые не видны на первом снимке. У Солнца хорошо просматривается гало, как совокупность концентрических окружностей разной яркости. По данным рис. 5 можно оценить расположение опознаваемых объектов на рис. 6, который является не исходным, а производным от снимка, показанного на рис. 3.

Использование и получение визуальной структурной модели (ВСМ) дает возможность обрабатывать серии снимков разных плотностей и разной детальности. ВСМ позволяет объединить в общую визуальную модель объекты разной плотности и видимости.

Данный подход основан на переходе от визуальной модели к геометрической информационной модели и последующим подключением геометрической обработки изображений [11]. Он уже применяется в обработке аэрокосмических изображений [12], но с применением регрессионных методов и прямых измерений снимков. Первичные снимки (например, рис. 3) не обладают высокими измерительными свойствами. Предлагаемый метод исключает измерение первичного снимка и использует четкую геометрическую модель (рис. 5). Эта модель позволяет не только выполнять измерения, но повышать качество первичного снимка, делая его более наглядным (рис. 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Семантика визуальных моделей содержит не только атрибутивные характеристики, но и характеристики их видимости и пространственных отношений. При анализе сложных визуальных моделей, отображающих сложные или непонятные образы, целесообразно использовать промежуточную визуальную структурную модель. Эта модель может создаваться либо только на основе градиентных характеристик (рис. 4), либо с последующей векторизацией и дополнением «невидимых» на снимке объектов (рис. 5). Введение нового понятия «визуальная структурная модель» создает условия для серийной обработки снимков с разными частотными характеристиками. ВСМ позволяет совмещать снимки из разных спектральных диапазонов. Для сложных визуальных образов допустимо понятие информационной визуальной ситуации.

Информационная визуальная ситуация объединяет объекты и отношения между ними. Для сложных образов типа рентгеновского или радиолокационного изображения такая модель является первичным понятием. Проведенные исследования дают основание ввести понятие ВСМ. Такую модель целесообразно создавать по снимкам с максимальной детальностью. В тоже время ее можно дополнять по другим снимкам. На модели ВСМ могут изображаться объекты, невидимые человеческому глазу на исходном изображении. Проведенные исследования дают основание ввести понятие «семантика сложных визуальных образов». Сложные визуальные образы сложно описать языком, поэтому их можно рассматривать как закодированное сообщение. Визуальные образы информативны, поэтому требуют меньшей памяти. Данная методика позволяет обрабатывать разные снимки в комплексе и делать видимыми объекты, плохо опознаваемые на первичных снимках. Предложенная методика дает возможность обрабатывать визуальные образы, получаемые другими сенсорами, например, тепловыми или акустическими.

Вклад авторов

В.П. Савиных – получение и обработка космических снимков, качественный и сравнительный анализ изображений.

С.Г. Господинов – анализ алгоритмов обработки космических изображений, составление алгоритма для данной методики.

С.А. Кудж – разработка методики обработки изображений.

В.Я. Цветков – разработка методики наложения изображений, обоснование выбора координатной системы изображения.

И.П. Дешко – реализация алгоритма, отладка программного обеспечения, компьютерная обработка.

Authors' contribution

V.P. Savinykh—obtaining and processing satellite images, qualitative and comparative analysis of images.

S.G. Gospodinov—analysis of algorithms for processing space images and compilation of an algorithm for chosen technique.

S.A. Kudzh—development of the image processing technique.

V.Ya. Tsvetkov—development of the image overlay technique and justification of the choice for the image coordinate system.

I.P. Deshko—algorithm implementation, software debugging, and computer processing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Номоконов И.Б. Информативность рентгеновского изображения. *Славянский форум*. 2015;2(8):233–239.
2. Nomokonov I.B. The semantic informativeness. *European Journal of Medicine. Series B*. 2015;3(4):141–147.
3. Bolbakov R.G. Tacit knowledge as a cognitive phenomenon. *European Journal of Technology and Design*. 2016;1(11):4–12.
4. Цветков В.Я. Информационное поле и информационное пространство. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016;1–3:455–456. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=8536>
5. Господинов С.Г. Семантическое дерево в информационном поле. *Славянский форум*. 2018;3(21):73–79.
6. Kudzh S.A., Tsvetkov V.Ya. Cognitive expert assessment. In: Silhavy R. (Ed.). *Artificial Intelligence in Intelligent Systems. proceedings of Computer Science On-line Conference. Ser. "Lecture Notes in Networks and Systems."* 2021. V. 229. P. 742–749. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77445-5_66
7. Zafar B., et al. Intelligent image classification-based on spatial weighted histograms of concentric circles. *Comput. Sci. Inf. Syst.* 2018;15(3):615–633. <https://doi.org/10.2298/CSIS180105025Z>
8. Савиных В.П. Определение линейных параметров планеты по измерению углового диаметра. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2021;7(1):28–34.
9. Ожерельева Т.А. Информационное соответствие и информационный морфизм в информационном поле. *ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении*. 2017;4(4):86–92
10. Lototsky V.L. Spatial information modeling. *European Journal of Computer Science*. 2016;1(2):38–46.
11. Егоскин Н.А. Динамические модели геометрической обработки изображений в системах дистанционного зондирования Земли. *Цифровая обработка сигналов*. 2017;1:8–12.
12. Злобин В., Еремеев В. *Обработка аэрокосмических изображений*. ЛитРес; 2018. 287 с.

REFERENCES

1. Nomokonov I.B. Descriptiveness X-ray image. *Slavyanskii forum = Slavic Forum*. 2015;2(8):233–239 (in Russ.).
2. Nomokonov I.B. The semantic informativeness. *European Journal of Medicine. Series B*. 2015;3(4):141–147.
3. Bolbakov R.G. Tacit knowledge as a cognitive phenomenon. *European Journal of Technology and Design*. 2016;1(11):4–12.
4. Tsvetkov V.Ya. Information field and information space. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy = International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2016;1–3:455–456 (in Russ.). Available from URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=8536>
5. Gospodinov S.G. Semantic tree in the information field. *Slavyanskii forum = Slavic Forum*. 2018;3(21):73–79 (in Russ.).
6. Kudzh S.A., Tsvetkov V.Ya. Cognitive expert assessment. In: Silhavy R. (Ed.). *Artificial Intelligence in Intelligent Systems. proceedings of Computer Science On-line Conference. Ser. "Lecture Notes in Networks and Systems."* 2021. V. 229. P. 742–749. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77445-5_66
7. Zafar B., et al. Intelligent image classification-based on spatial weighted histograms of concentric circles. *Comput. Sci. Inf. Syst.* 2018;15(3):615–633. <https://doi.org/10.2298/CSIS180105025Z>
8. Savinykh V.P. Determination of the linear parameters of the planet by measuring the angular diameter. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2021;7(1):28–34 (in Russ.).
9. Ozherel'eva T.A. Information conformity and informational morphism in the information field. *ITNOU: Informatsionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii*. 2017;4(4):86–92 (in Russ.).
10. Lototsky V.L. Spatial information modeling. *European Journal of Computer Science*. 2016;1(2):38–46.
11. Egoshkin N.A. Dynamic models of geometric image processing in Earth remote sensing systems. *Tsifrovaya obrabotka signalov = Digital Signal Processing*. 2017;1:8–12 (in Russ.).
12. Zlobin V., Ereemeev V. *Obrabotka aerokosmicheskikh izobrazhenii (Aerospace image processing)*. LitRes; 2018. 287 p. (in Russ.).

Об авторах

Савиных Виктор Петрович, академик РАН, д.т.н., профессор, Президент Московского государственного университета геодезии и картографии (105064, Россия, Москва, Гороховский пер., д. 4). Летчик-космонавт, Дважды Герой Советского союза, Лауреат государственной премии, Лауреат премии Президента РФ, Лауреат премии Правительства РФ. E-mail: president@miigaik.ru. Scopus Author ID 56412838700. <https://orcid.org/0000-0002-9303-5952>

Господинов Славейко Господинов, доктор наук, профессор, проректор по НИР Университета архитектуры, строительства и геодезии (1046, Болгария, София, ж.к. Лозенец, бул. Христо Ботева, д. 1). Академик международной академии наук Евразии, Академик Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского. E-mail: sgospodinov@mail.bg. <https://orcid.org/0000-0002-6127-4342>

Кудж Станислав Алексеевич, д.т.н., профессор, ректор ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). E-mail: rector@mirea.ru. Scopus Author ID 56521711400, ResearcherID AAG-1319-2019. <https://orcid.org/0000-0003-1407-2788>

Цветков Виктор Яковлевич, д.т.н., д.э.н., профессор, профессор кафедры инструментального и прикладного программного обеспечения Института информационных технологий, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). Лауреат Премии Президента РФ, Лауреат Премии правительства РФ, Академик Российской академии информатизации образования (РАО). Академик Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского (РАКЦ). E-mail: cvj2@mail.ru. Scopus Author ID 56412459400, ResearcherID J-5446-2013. <http://orcid.org/0000-0003-1359-9799>

Дешко Игорь Петрович, к.т.н., доцент кафедры инструментального и прикладного программного обеспечения Института информационных технологий, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). E-mail: dip@mirea.ru. <http://orcid.org/0000-0002-8311-4067>

About the authors

Viktor P. Savinykh, Academician at the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Eng.), Professor, President, Moscow State University of Geodesy and Cartography (4, Gorokhovskiy per., Moscow, 105064 Russia). Pilot-Cosmonaut, Twice Hero of the Soviet Union, State Prize Laureate, RF President Prize Laureate, Laureate of the RF Government Prize. E-mail: president@miigaik.ru. Scopus Author ID 56412838700. <https://orcid.org/0000-0002-9303-5952>

Slaveiko G. Gospodinov, Dr. Sci. (Habil.), Professor, Vice-Rector for Research, University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy (1, Hristo Botev Blvd., Lozenets residential complex, Sofia, 1046 Bulgaria). Academician at the International Academy of Sciences of Eurasia, Academician at the K.E. Tsiolkovsky Russian Academy of Cosmonautics. E-mail: sgospodinov@mail.bg. <https://orcid.org/0000-0002-6127-4342>

Stanislav A. Kudzh, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Rector, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia). E-mail: rector@mirea.ru. Scopus Author ID 56521711400, ResearcherID AAG-1319-2019. <https://orcid.org/0000-0003-1407-2788>

Viktor Ya. Tsvetkov, Dr. Sci. (Eng.), Dr. Sci. (Econ.), Professor, Department of Instrumental and Applied Software, Institute of Information Technologies, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia). Laureate of the Prize of the President of the Russian Federation, Laureate of the Prize of the Government of the Russian Federation, Academician at the Russian Academy of Education Informatization (RAO), Academician at the K.E. Tsiolkovsky Russian Academy of Cosmonautics. (RACC). E-mail: cvj2@mail.ru. Scopus Author ID 56412459400, ResearcherID J-5446-2013. <http://orcid.org/0000-0003-1359-9799>

Igor P. Deshko, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Instrumental and Applied Software, Institute of Information Technologies, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia). E-mail: dip@mirea.ru. <http://orcid.org/0000-0002-8311-4067>