

УДК 004.62

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВЫХ 3D-ОБЪЕКТОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ВИРТУАЛЬНЫХ ВЫСТАВОК

Н. Е. Каленов, С. А. Кириллов, И. Н. Соболевская, А. Н. Сотников

Межведомственный Суперкомпьютерный Центр РАН – филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук», г. Москва

ansotnikov@jscs.ru, ins@jscs.ru, skirillov@jscs.ru, nkalenov@jscs.ru

Аннотация

Представлены подходы к решению задачи создания реалистичных интерактивных 3D веб-коллекций музейных экспонатов. Рассмотрено представление 3D-моделей объектов на основе ориентированных полигональных структур. Описан метод создания виртуальной коллекции 3D-моделей по технологии интерактивной анимации. Также показано, как на основе отдельных кадров экспозиции с помощью методов фотограмметрии строится высококачественная 3D-модель. Приведены результаты расчетов для построения 3D-моделей реальных музейных экспонатов. Для создания 3D-моделей с целью предоставления их широкому кругу пользователей через интернет использована технология интерактивной анимации. Приведены различия между представлениями цифровых 3D-моделей. Описана технология создания цифровых 3D-моделей объектов из фондов Государственного биологического музея им. К.А. Тимирязева и формирования на их основе средствами электронной библиотеки «Научное наследие России» виртуальной выставки, посвященной научной деятельности М.М. Герасимова и его антропологическим реконструкциям. Выставка наглядно продемонстрирована возможности интеграции информационных ресурсов средствами электронной библиотеки. Формат виртуальных выставок позволил объединить ресурсы партнеров для предоставления широкому кругу пользователей коллекций, хранящихся в музейных, архивных и библиотечных фондах.

Ключевые слова: *фотограмметрия, 3D-моделирование, интерактивная мультипликация, веб-дизайн, полигональное моделирование*

ВВЕДЕНИЕ

Одним из способов представления междисциплинарных коллекций в определенной среде электронной библиотеки является формирование виртуальной выставки. Виртуальная выставка – это мультимедийный информационный ресурс, демонстрирующий пользователям разнородную информацию (цифровые копии печатной продукции, архивных документов, музейных предметов и т. п.), объединенную по заданным признакам. Наряду с представлением материалов различных типов в процессе формирования цифровых естественнонаучных коллекций возникает необходимость в мультимедийных объектах, в частности, цифровых 3D-моделях музейных предметов и объектах виртуальной реальности [1]. Формируемые виртуальные выставки могут быть представлены не только в интернете, но и стать частью или даже основным элементом реальной музейной экспозиции.

В последние годы широко используются методы визуализации, основанные на фотограмметрических снимках, полученных в заданном диапазоне длин волн электромагнитного излучения, и дальнейших построениях трехмерных структур из последовательностей двумерных изображений, которые могут быть объединены с локальными сигналами движения. Этот метод называется Structure from motion (SfM) [2–4]. В биологическом зрительном восприятии SfM представляет собой «аппарат», посредством которого люди (и другие живые существа) могут восстанавливать трехмерную структуру из проецируемого на сетчатке глаза 2D-поля движения движущегося объекта или сцены. Этот метод применяется в области компьютерного моделирования, связанного с моделированием зрительного восприятия. Однако существуют такие граничные условия, при которых этот метод «не работает», например, при наличии стеклянных и отражающих поверхностей.

Для создания трехмерных моделей и элементов виртуальной выставки применяются разные программные и технологические решения, в частности, технологии лазерного и оптического 3D-сканирования, компьютерного моделирования, фотограмметрии, анимации 3600 и др. [5].

1. ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО И ОПТИЧЕСКОГО 3D СКАНИРОВАНИЯ

Технологии лазерного и оптического 3D-сканирования позволяют создать цифровую копию предмета, например, музейного, с помощью 3D-сканера [6].

Оптические 3D-сканеры используют технологию структурированного света (рис. 1). На сканируемый объект направляется проекция световой сетки. Анализ деформации световых линий сетки и позволяет вычислить форму поверхности сканируемого объекта [7].

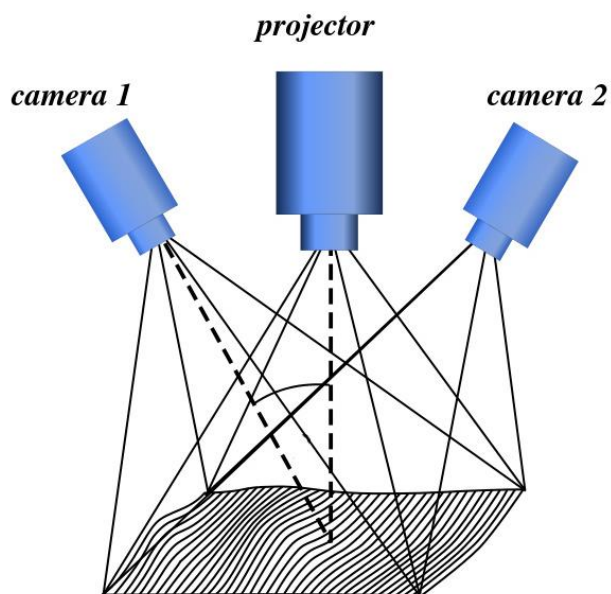


Рис. 1. Схема работы оптического 3D-сканера

Оптические 3D-сканеры используются для быстрой оцифровки различных мелких и средних предметов, так как одновременно могут оцифровать множество точек или все «поле зрения» сканера. А использование в качестве источника света специальных ламп белого или синего цвета позволяет выполнять оцифровку геометрии и захват текстуры при низком освещении. В нашем проекте мы использовали ручные оптические сканеры фирм Artec и Creaform. Были получены 3D-модели музейных предметов различной природы: гипсовых скульптур, посуды (в том числе стеклянной), музейных предметов растительного и животного вида.

На рис. 2 показана 3D-модель чучела змеи, находящегося в запасниках Государственного биологического музея им. К.А. Тимирязева. Это чучело было вы-

брано в качестве опытного образца для создания 3D-модели объекта, поверхность которого состоит из глянцевых светопоглощающих материалов [8]. На рис. 3 показана 3D-модель чучела утки, также находящегося в запасниках Государственного биологического музея им. К.А. Тимирязева. Оно было выбрано в качестве опытного образца для создания 3D-модели объекта, поверхность которого состоит из светопропускающих материалов (в данном случае – перьев).



Рис. 2. Чучело змеи



Рис. 3. Чучело утки

В целом мы получили качественные, законченные полигональные модели, которые можно использовать для формирования реалистичных интерактивных 3D-коллекций музейных экспонатов. Однако часть 3D-моделей музейных предметов имела много шумов и погрешностей, вызванных прозрачностью или блес-

ком материала. В частности, не очень реалистично выглядит перьевой и шерстяной покровы у чучел птиц и млекопитающих. Поэтому было принято решение провести дополнительное сканирование лазерным 3D-сканером.

Лазерные 3D-сканеры (рис. 4) обеспечивают наибольшую точность и детализацию при оцифровке объектов, они оборудованы специализированным лазером, который относят ко II классу. Лазер данного типа достаточно безопасен для человеческого зрения. Особенностью использования данного типа сканеров является применение специальных маркеров, которые крепятся в непосредственной близости от объекта или непосредственно на объекте сканирования. Это необходимо для точной пространственной привязки лазера и сканируемого объекта.

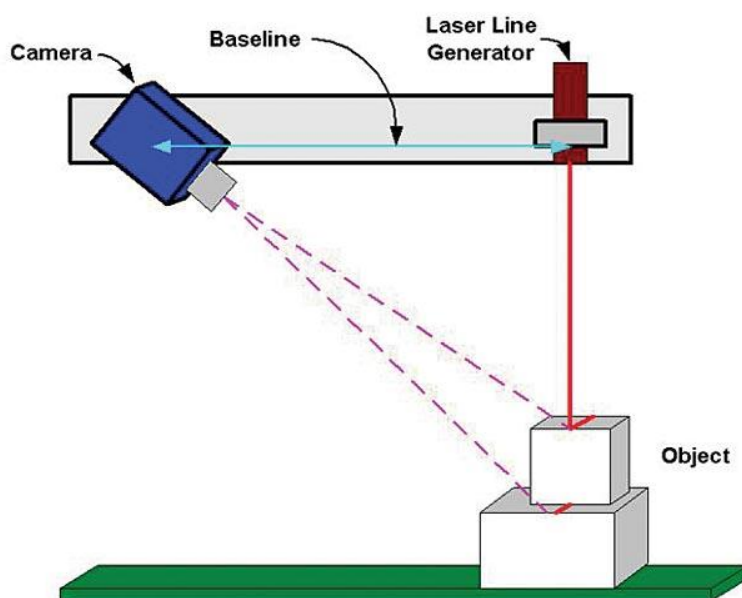


Рис. 4. Принцип работы лазерного сканера

В работе по формированию коллекций музейных объектов использовался лазерный 3D-сканер Creaform HandySCAN 700. Данный сканер оборудован 7 высокоточными лазерами и системой динамической привязки TRUaccuracy [9], что обеспечивает точность сканирования до 0,03 мм с разрешением 0,05 мм.

Основным недостатком сканера является его неспособность передавать цвет текстуры объекта, однако он обеспечивает вполне удовлетворительные результаты при решении задач по построению максимально детальной поверхности сканируемого объекта. Использование данного типа сканирующего устройства

обеспечило высокое качество 3D-моделей гипсовых антропологических реконструкций, выполненных М.М. Герасимовым (<http://acadlib.ru/index.php/pages>). Опыт 3D-оцифровки показал, что некоторые музейные предметы оказались слишком сложными для обработки существующими на сегодняшний день 3D-сканерами. Так, результаты сканирования шерстяного покрова чучела мыши-полёвки оказались неудовлетворительными, для их улучшения потребовалась бы обработка «проблемных зон» (светопоглощающей шерсти или светоотражающих глаз) специальным составом, что, возможно, нанесло бы ущерб сканируемым объектам. Одно из основных требований, предъявляемых к оцифровке музейных объектов – обеспечение максимальной сохранности объекта при сканировании, решение данной проблемы требует развития и применения технологий компьютерного моделирования и/или интерактивной анимации 360°.

2. ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Технологии компьютерного моделирования позволяют решать задачи по визуализации, например, безвозвратно утраченных или поврежденных музейных предметов, производить детализацию реконструируемых объектов, восстанавливать обстановку исторических помещений и т. д. В нашем проекте эта технология используется при редактировании полученных методом сканирования 3D-моделей, обладающих проблемными областями. В таких случаях оператору в программе 3D-моделирования приходится заново создавать отдельные элементы 3D-модели.



Рис. 5. Бюст австралопитека с «дефектом»



Рис. 6. Бюст австралопитека без «дефекта»

На рис. 5 показана цифровая копия бюста австралопитека, представляющего собой антропологическую реконструкцию, выполненную М.М. Герасимовым. Красная стрелка указывает на дефект объекта. На рис. 6 показан этот же объект, но после ручной цифровой «реставрации».

3. ТЕХНОЛОГИИ ФОТОГРАММЕТРИИ

Технология фотограмметрии [10, 11] позволяет построить высококачественную 3D-модель. Эта технология активно разрабатывается с 1970-х годов и изначально применялась для построения карт рельефа по аэрофотоснимкам. Фотограмметрия использует способы и приёмы различных дисциплин, в основном, заимствованных из оптики и проективной геометрии. В простейшем случае пространственные координаты точек объекта определяются путём измерений, выполняемых по двум или более фотографиям, снятым из разных положений. Основной задачей в этом случае является определение общих точек на двух соседних изображениях. После создания массива общих точек формируется набор прямых, проходящих через каждую общую точку и местоположение фотоаппарата (точки съёмки). Пересечение этих прямых и определяет расположение точки на поверхности исходного объекта в пространстве. Более сложные алгоритмы могут использовать другую, известную заранее информацию об объекте, например, симметрию элементов объекта, что в некоторых случаях позволяет реконструировать пространственные координаты точек объекта по ограниченному количеству фотоизображений.

4. ТЕХНОЛОГИЯ ИНТЕРАКТИВНОЙ АНИМАЦИИ 360°

Для создания виртуальной коллекции 3D-моделей с целью предоставления ее широкому кругу пользователей может быть применена технология интерактивной анимации [12]. Эта технология не предполагает построения полигональной 3D-модели, а основана на программной смене фиксированного набора кадров с помощью специализированных интерактивных программ отображения, имитирующих вращение объекта. Важно, что на основе такого же набора данных (отдельных кадров экспозиции) может быть построена и высококачественная 3D-модель с помощью методов фотограмметрии.

Для проведения таких работ применяется, в частности, комплекс 3D-оцифровки на основе поворотной платформы Resam T-50, управляющей программы 3D-Maker [13] и цифрового фотоаппарата Canon EOS600D, который позволяет выполнять в автоматическом режиме съемку музейных предметов высотой до 150 см и весом до 50 кг.

На рис. 7 представлена последовательность кадров, на основе программной смены которых создается отображение цифровой 3D-модели.



Рис. 7. Последовательность кадров, на основе программной смены которых создается отображение цифровой 3D-модели

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие методов формирования 3D-моделей в направлении получения реалистичного представления коллекций различных предметов открывает возможности для формирования 3D-коллекций музейных объектов высокого качества, как для обеспечения сохранности оригиналов, так и для расширения доступности высококачественных цифровых копий музейных экспонатов [14, 15].

Полученные результаты легли в основу технологии формирования коллекций 3D-моделей объектов из фондов Государственного биологического музея им. К.А. Тимирязева и формирования на их основе виртуальных выставок средствами электронной библиотеки «Научное наследие России» [8], в частности, виртуальной выставки, посвященной научной деятельности М.М. Герасимова и его антропологическим реконструкциям, доступной по адресу <http://acadlib.ru/>.

Работа выполнена в МСЦ РАН – филиале ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН в рамках государственного задания № 0065-2019-0014.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ляшков А.А., Панчук К.Л., Варепо Л.Г. Особенность отображения гиперповерхности четырехмерного пространства. // М.: Геометрия и графика, 2017.
2. Wróżyński R., Pyszny K., Sojka M., Przybyła C., Murat-Błazejewska S. Ground volume assessment using 'Structure from Motion' photogrammetry with a smartphone and a compact camera // Open Geosciences. 2017. V. 9. P. 281–294.
3. Scopigno R. Digital fabrication techniques for cultural heritage: a survey // Comput. Graph. Forum. 2017. V. 36. P. 6–21.
4. Garstki K. // Virtual representation: the production of 3D digital artifacts // J. Archaeol. Method Theory. 2017. V. 24. P. 726–750.
5. Gonizzi Barsanti S., Guidi G. 3D digitization of museum content within the 3D icons project // ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. 2013. P. 151–156.
6. Gonizzi Barsanti S., Guidi G. 3D digitization of museum content within the 3D icons project // ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. 2013. P. 151–156.
7. Прасолов В.В., Тихомиров В.Н. Геометрия. М.: МЦНМО, 2007.

8. Кириллов С.А., Соболевская И.Н., Сотников А.Н. Использование мультимедийных технологий при формировании виртуального естественнонаучного музейного пространства // Информационное обеспечение науки: новые технологии. М.: 2017. С. 201–207.

9. Wohlfeil J., Strackenbrock B., Kossyk I. Automated high resolution 3d reconstruction of cultural heritage using multi-scale sensor systems and semi-global matching. // International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2013. V. 40-4. P. 37–43.

10. Лобанов А.Н. Фотограмметрия. М.: «Недра», 1984.

11. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация (Practical optimization). М.: Мир, 1985.

12. Сотников А.Н., Соболевская И.Н., Кириллов С.А., Чередниченко И.Н. Технологии визуализации 3d web-коллекций // Научный сервис в сети Интернет: труды XX Всероссийской научной конференции (17–22 сентября 2018 г., г. Новороссийск). М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2018. С. 438–447.

13. Kratochvil J., Sadilek M., Musil V., Pagac M., Stancekova D. The effectiveness of strategies printing printer easy 3d maker // Advances in Science and Technology-research Jurnal, 2018. V. 12. P. 197–205.

14. Hernando A., Bobadilla J., Ortega F., Gutiérrez A. Method to interactive-lyvisualize and navigate related information // Expert Systems with Applications. 2018.

15. Schulz T., Juttler B. Envelope Computation by Approximate Implicitization // Industrial Geometry. 2010. 20 p.

DIGITAL 3D-OBJECTS VISUALIZATION IN FORMING VIRTUAL EXHIBITIONS

N. E. Kalenov, S. A. Kirillov, I. N. Sobolevskaya, A. N. Sotnikov

Joint Supercomputer Center of the Russian Academy of Sciences – Branch of Federal State Institution "Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences"

ansotnikov@jssc.ru, ins@jssc.ru, skirillov@jssc.ru, nkalenov@jssc.ru

Abstract

The paper presents approaches to solving the problem of creating realistic interactive 3D web-collections of museum exhibits. The presentation of 3D-models of objects based on oriented polygonal structures is considered. The method of creating a virtual collection of 3D-models using interactive animation technology is described. It is also shown how a full-fledged 3D-model is constructed on the basis of individual exposure frames using photogrammetry methods. The paper assesses the computational complexity of constructing realistic 3D-models. For the creation of 3D-models in order to provide them to a wide range of users via the Internet, the so-called interactive animation technology is used. The paper presents the differences between the representations of full-fledged 3D-models and 3D-models presented in the form of interactive multiplication. The technology of creating 3D-models of objects from the funds of the State Biological Museum named K.A Timiryazev and the formation on their basis of the digital library "Scientific Heritage of Russia" of a virtual exhibition dedicated to the scientific activities of M.M. Gerasimov and his anthropological reconstructions, and vividly demonstrating the possibility of integrating information resources by means of an electronic library. The format of virtual exhibitions allows you to combine the resources of partners to provide a wide range of users with collections stored in museum, archival and library collections.

Keywords: *photogrammetry, 3D-modeling, interactive animation, web-design, polygonal modeling.*

REFERENCES

1. Lyashkov A.A., Panchuk K.L., Varepo L.G. Osobennost' otobrazheniya giperpoverkhnosti chetyrekhmernogo prostranstva. M.: Geometriya i grafika, 2017. S. 3–10.
2. Wróżyński R., Pyszny K., Sojka M., Przybyła C., Murat-Błazejewska S. Ground volume assessment using 'Structure from Motion' photogrammetry with a smartphone and a compact camera // Open Geosciences. 2017. V. 9. P. 281–294.
3. Scopigno R. Digital fabrication techniques for cultural heritage: a survey // Comput. Graph. Forum. 2017. V. 36. P. 6–21.
4. Garstki K. // Virtual representation: the production of 3D digital artifacts // J. Archaeol. Method Theory. 2017. V. 24. P. 726–750.
5. Gonizzi Barsanti S., Guidi G. 3D digitization of museum content within the 3D icons project // ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. 2013. P. 151–156.
6. Gonizzi Barsanti S., Guidi G. 3D digitization of museum content within the 3D icons project // ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. 2013. P. 151–156.
7. Prasolov V.V., Tikhomirov V.N. Geometriya. M.: MTSNMO, 2007.
8. Kirillov S.A., Sobolevskaya I.N., Sotnikov A.N. Ispol'zovaniye mul'timediynykh tekhnologiy pri formirovanii virtual'nogo yestestvennonauchnogo muzeynogo prostranstva // Informatsionnoye obespecheniye nauki: novyye tekhnologii. M., 2017. S. 201–207.
9. Wohlfeil J., Strackenbrock B., Kossyk I. Automated high resolution 3d reconstruction of cultural heritage using multi-scale sensor systems and semi-global matching. // International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2013. V. 40-4. P. 37–43.
10. Lobanov A.N. Fotogrammetriya. M.: «Nedra», 1984.
11. Gill F., Myurrej U., Rajt M. Prakticheskaya optimizaciya (Practical optimization). M.: «Mir», 1985.

12. *Sotnikov A.N., Sobolevskaya I.N., Kirillov S.A., Cherednichenko I.N.* Tekhnologii vizualizacii 3d web-kollekcij// Nauchnyj servis v seti Internet: trudy XX Vserossijskoj nauchnoj konferencii (17—22 sentyabrya 2018 g., g. Novorossiysk). M.: IPM im. M.V. Keldysha, 2018. S. 438—447.

13. *Kratochvil J., Sadilek M., Musil V., Pagac M., Stancekova D.* The effectiveness of strategies printing printer easy 3d maker// *Advances in Science and Technology-research Jurnal*, 2018. V. 12. P. 197–205.

14. *Hernando A., Bobadilla J., Ortega F., Gutiérrez A.* Method to interactively visualize and navigate related information // *Expert Systems with Applications*. 2018.

15. *Schulz T., Juttler B.* Envelope Computation by Approximate Implicitization// *Industrial Geometry*. 2010. 20 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



КАЛЕНОВ Николай Евгеньевич – главный научный сотрудник Межведомственного Суперкомпьютерного Центра РАН – филиала Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук», д. т. н., профессор. Сфера научных интересов – математическое обеспечение, программные средства и системы для распределенных вычислений; формирование баз данных для электронных библиотек; методы, средства и системы обработки данных большого объема.

Nikolay Evgenyevich KALENOV – Chief Researcher of Joint Super Computer Center of the Russian Academy of Sciences – Branch of Federal State Institution “Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences”. Research interests include mathematical software, software and systems for distributed computing; e-library database building; methods, tools and systems of large data processing.

email: nkalenov@jsc.ru

КИРИЛЛОВ Сергей Александрович – зав. сектором Межведомственного Суперкомпьютерного Центра РАН – филиала Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук».

KIRILLOV Sergey Alexandrovich – Head. sector of the Interdepartmental Supercomputer Center of the Russian Academy of Sciences – Branch of Federal State Institution “Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences”.

email: skirillov@jsc.ru



СОБОЛЕВСКАЯ Ирина Николаевна – старший научный сотрудник Межведомственного Суперкомпьютерного Центра РАН – филиала Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук», к. ф.-м. н. Сфера научных интересов – математическое обеспечение, программные средства и системы для распределенных вычислений; формирование баз данных для электронных библиотек; методы, средства и системы обработки данных большого объема; 3D-моделирование.

Irina Nikolaevna SOBOLEVSKAYA – senior scientist researcher of Joint SuperComputer Center of the Russian Academy of Sciences – Branch of Federal State Institution “Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences”. Research interests include mathematical software, software and systems for distributed computing; e-library database building; methods, tools and systems of large data processing; 3D modeling.

email: ins@jssc.ru



СОТНИКОВ Александр Николаевич – зам. директора по научной работе Межведомственного Суперкомпьютерного Центра РАН – филиала Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук», д. ф.-м. н., профессор. Сфера научных интересов – математическое обеспечение, программные средства и системы для распределенных вычислений; формирование баз данных для электронных библиотек; методы, средства и системы обработки данных большого объема; нейронные и семантические сети.

Aleksandr Nikolaevich SOTNIKOV – Deputy director for science of Joint SuperComputer Center of the Russian Academy of Sciences – Branch of Federal State Institution “Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences”. Research interests include mathematical software, software and systems for distributed computing; e-library database building; methods, tools and systems of large data processing; semantic and nerve nets.

email: ansotnikov@jssc.ru

Материал поступил в редакцию 16 ноября 2019 года