

Актуальные информационные технологии: визуализация информации, виртуальное окружение, неогеография, осязаемые изображения

С.В. Клименко

Московский физико-технический институт (государственный университет);
Институт физико-технической информатики (Протвино)

Аннотация

Постоянно растущая сложность физических явлений, изучаемых в научных и инженерных дисциплинах, требует разработки новых подходов и мощной техники для обработки и анализа сложных данных. Научная визуализация - Scientific Visualization - развивает методы и средства понимания решаемых проблем за счёт привлечения способности человека видеть и понимать изображения. В настоящее время научная визуализация считается вполне завершённой научной дисциплиной и наиболее перспективными являются направления визуализации информации и визуальная аналитика. Предназначение систем виртуального окружения заключается в том, чтобы обеспечить отдельных пользователей, или группы учёных, инженеров, дизайнеров виртуальным рабочим пространством, в котором они могут наблюдать, исследовать и создавать в реальном времени необходимые им виртуальные данные, модели и сцены.

Ключевые слова: научная визуализация, системы визуализации и виртуального окружения, визуализация информации, неогеография, осязаемые изображения

1. ВВЕДЕНИЕ

«Визуализация - это способ, позволяющий одновременно совершенствовать концентрацию сознания и развивать в человеке соучастие»

(А.Н.Райков. Лепесток опоры)

По мнению одного из выдающихся ученых в области информационных технологий - Фредерика Брукса - в настоящее время системы визуализации и виртуального окружения (ВО) переместились из научных лабораторий в сферу практических приложений, где её используют в своей повседневной работе инженеры, ученые, медики, военные - не обязательно специалисты по машинной графике.

Текущий момент характеризуется катастрофическим ростом информации, которое необходимо обрабатывать для поддержания прогресса в развитии современной цивилизации. Объем данных растет быстрее, чем производительность компьютеров, которая, следуя закону Мура, удваивается каждые полтора года. Но ведь данные, помимо порождения компьютерами, извлекаются непосредственно из самой природы с помощью всевозможных детекторов и сенсоров, быстрдействие которых также следует экспоненциальному росту.

Важнейшей вехой на пути преодоления «кризиса данных» стал отчет Национального научного фонда США «Визуализация в научных вычислениях» (1987-г.), подчеркнувший важность интерактивной визуализации больших массивов данных и обративший внимание научной общественности на знаменитый афоризм Хемминга: «Целью вычислений являются не числа, а

понимание (постижение, проникновение в суть, интуиция, insight)». В результате было сформировано новое научное направление «Научная визуализация», развивающее методы и средства понимания решаемых проблем за счёт привлечения к анализу данных способности человека видеть и понимать изображения.

Современные вычислительные системы позволяют моделировать сложные явления природы и решать задачи, недоступные прямой экспериментальной проверке. Суперкомпьютеры (наиболее мощные на текущий момент машины) и кластерные вычислительные системы позволяют достаточно полно и точно моделировать различные экзотические эксперименты и экстремальные ситуации, рожденные богатым воображением исследователей. Однако, огромные объёмы данных, получаемые при моделировании сложных явлений, невозможно проанализировать, не прибегая к предварительному исследованию с помощью активного взаимодействия человека с компьютером, в основе которого лежит синтез компьютером графического изображения и его анализ человеком, который опирается на свою мощную способность видеть и понимать визуальные изображения.

2. НАУЧНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Научная визуализация как дисциплина сформировалась только в конце 90-х прошлого столетия. Ещё в 1993 г. Фред Брукс в своём ключевом докладе на конференции Визуализация'93 отмечал, что научная визуализация ещё не является дисциплиной, хотя уже зарождается как таковая.

Научная визуализация как перспективная и развивающаяся дисциплина чётко обозначила этапы, демонстрирующие её рост. Появились новые, определённые требованиями реальных задач, алгоритмы, которые эффективно работают с данными различного разрешения. Разработаны методы объёмной визуализации, предназначенные для реконструкции и отрисовки объектов по данным объёмного послayersового сканирования с помощью медицинских детекторов. Быстро прогрессирующая визуализация потоков в вычислительной аэро- гидродинамике обеспечила решение актуальных задач в исследовании космоса и аэро-космической промышленности. Особенно впечатляющие результаты были достигнуты по обработке изображений и реконструкции объектов в различных областях дистанционного зондирования планет и других космических объектов.

В настоящее время научная визуализация считается вполне завершённой научной дисциплиной и наиболее перспективными являются направления визуализации информации и визуальная аналитика. Вот почему на предстоящей конференции Vis2013 (13-18 октября, Атланта, США) приоритеты расставлены в порядке:

Visual Analytics Science and Technology, IEEE Information Visualization, and IEEE Scientific Visualization.



Визуализация информации, по идее, зародилась достаточно давно, но технологическую поддержку она получила на многочисленных воркшопах, которые регулярно проводились на конференциях IEEE_CS Visualization.

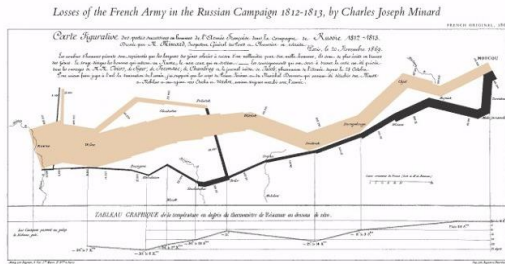


Рис. 1. Визуализация потерь армии Наполеона в войне 1812-1813 гг. (image courtesy by Charles Minard, 1869).

Следует отметить, что Слово ВИЗУАЛИЗАЦИЯ - производное существительное от глагола - visualize - to form a mental image; picture in the mind (Webster's Dictionary).

Известный профессор психобиологии Калифорнийского технологического института (в Пасадине) Роджер Сперри доказал, что два человеческих полушария мозга ответственны за обработку различной информации:

ЛЕВОЕ - вербальная, логическая,

ПРАВОЕ - визуальная, интуитивная.

В 1981 году Роджеру Сперри была присуждена Нобелевская премия по физиологии «за открытия, касающиеся функциональной специализации полушарий головного мозга».

Примерно 100 лет назад американские исследователи обнаружили: стереоскопическое представление при обучении усиливает пространственное воображение и понимание трёхмерных объектов и сцен и может стимулировать проявление у школьников и студентов *интуиции (insight)*, которая служит основой «догадок» при решении задач и которая редко возникает при традиционных методах обучения.



Рис. 2. Топологический зоопарк в виртуальном окружении.

Особенно эффективно работает визуализация в математике, точнее, в геометрии и топологии. Свои первые работы мы посвятили наглядному представлению двух моделей проективной плоскости в трехмерном пространстве, где показана непрерывная деформацию между ними, используя технику морфинга, и проводится анимация решения известной топологической проблемы о склеивании краёв диска и ленты Мёбиуса, которая, говоря словами Дж.Франсиса, была воротами в топологию для ряда поколений студентов [1].



Рис.3. Системы визуализации и ВО в образовании: виртуальный планетарий

3. ОТ ВИЗУАЛИЗАЦИИ К ВО

В процессе развития визуализации как научной дисциплины и технологии анализа данных было осознано, что человек лучше всего понимает и проникает в суть исследуемого явления, когда он может «погрузиться в мир исследуемого явления», то есть в пространство модели, и когда его «погружение» усиливается возможностью непосредственно манипулировать данными в пространстве модели. Так сформировалась технология ВО, определяемая как «интерактивная графика в реальном времени с трехмерными моделями, когда комбинируется специализированная технология отображения, погружающая пользователя в мир модели, с прямым манипулированием объектами в пространстве модели».

Следующей важной вехой в осознании важности развития систем анализа больших массивов данных, визуализации и ВО явилось стратегическое решение администрации Президента Клинтона о прекращении испытаний ядерного оружия. По этому решению от 25 сентября 1995 г. Министерству энергетики США, ответственному за разработку и производство ядерного оружия, предписывалось разработать систему компьютерного моделирования полномасштабных испытаний и по мере готовности такой системы полностью отказаться от ядерных испытаний. За этим решением последовал запуск Министерством энергетики инициативы, получившей название ASCI - Accelerated Strategic Computing Initiative. Важное место в этой программе отведено научной визуализации и ВО.

Создание действующих систем ВО рассматривается как комплексная проблема, поэтапное решение которой будет

оказывать самое серьезное воздействие на науку, промышленность, образование и социальную сферу. По своей сложности и долгосрочным последствиям она сопоставима с ядерной и космической проблемами.

По оценке профессора Брукса в настоящее время в мире действует более тысячи полномасштабных установок ВО, которые реально приносят ощутимую пользу в своих областях применения. Наиболее серьезные результаты получены на авиационных и автомобильных тренажерах, в системах подготовки экипажей торговых судов и военных кораблей, в задачах проектирования автомобилей, при тренировках космонавтов работе в условиях невесомости, при исследованиях и разработке нанотехнологий, при лечении артефактов у ветеранов войны во Вьетнаме и др.

Первая идея виртуальной реальности принадлежит основателю компьютерной графики Ивану Сазерленду [2], который в 1965 году на одной из своих лекций говорил: - «Не думайте об этом, как об экране монитора, думайте об этом как об окне, окне, через которое каждый может заглянуть в виртуальный мир. Основной задачей компьютерной графики является создание виртуального мира, реально выглядящего, реально звучащего, мира, в котором перемещения и реакции на воздействия происходят в реальном времени, мира, который ощущается реальным.» Эта идея Сазерленда тогда несбыточной мечтой, но прошло немногим более 20 лет и задуманный виртуальный мир был реализован, благодаря фантастическим достижениям компьютерной графики.

Визуальное погружение достигается за счёт создания стерео-эффекта наблюдаемой искусственной сцены и визуальным экранированием реальной среды, в которой находится пользователь. Для добавления звукового впечатления обычно используется синтезированный звук, синхронизированный с видео-информацией. Ещё больше усиливает впечатление от погружения в якобы реальный мир тактильная информация, создаваемая датчиками и устройствами силовой обратной связи, имитирующими сопротивление среды или предметов, с которыми взаимодействует пользователь. Следует отметить, что получение «реалистической» ВО требует кооперации многих исследовательских и промышленных лабораторий. Например, получение реалистичной текстуры многих природных материалов (медь, мрамор, гранит и т.п.) не поддаётся моделированию - для генерации этих текстур приходится измерять отражательные характеристики таких материалов экспериментальными методами физической оптики [3]. Нынешний быстрый рост технологии ВО был обеспечен научными, коммерческими и развлекательными применениями.

В настоящее время в мире существует более тысячи крупномасштабных установок ВО, которые используются в самых различных областях науки и техники для решения задач как фундаментальных научных дисциплин (астрономия, математика, физика, химия), так и в узко специализированных прикладных направлениях: аэрогидродинамика (визуализация динамики течения потоков), океанология и геофизика (инженерия землетрясений), металлообработка (авто- и авиа-индустрия), сопротивление материалов (моделирование упругих объектов), анализ столкновений и разрушений (моделирование аварий и катастроф), биомедицинская инженерия (протезирование и диагностика), и др.

Основным требованием, предъявляемым к программному обеспечению таких систем является высокая скорость графической обработки, интерактивная визуализация сложных сцен, эффективная синхронизация параллельно исполняемых процессов. Системы для разработки приложений в ВО [4-7] обеспечивают разработчика высокоуровневым интерфейсом для представления сложных геометрических моделей в виде графа сцены и обработки этого графа. Разработчик освобождён от рутинных операций взаимодействия с низкоуровневой графикой и системными программными интерфейсами и может сконцентрироваться на разработке собственно приложения.

Современные установки Barco [16]



Рис. 4. Панорамная система виртуального проектирования Schell на базе установки Barco.

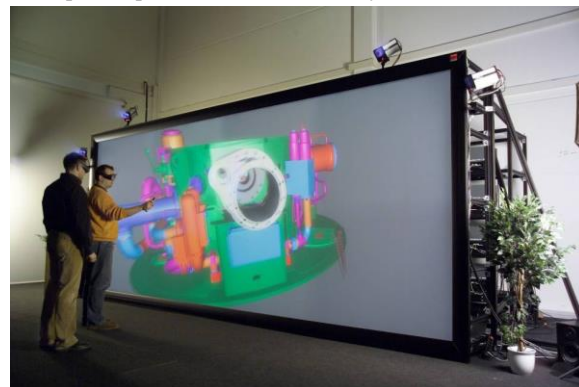


Рис. 5. Работа с виртуальным прототипом изделия на мозаичной системе высокого разрешения Barco MegaWall.

4. ОПЫТ СЕРЬЕЗНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Визуализация индуцированного ВО.

В последние годы все более востребованными становятся возможности систем ВО, позволяющие воспроизводить в виртуальной среде объекты (их структуру, вид, поведение и взаимодействие), которые в режиме реального времени могут копировать поведение своих реальных прототипов, находящихся и функционирующих в реальной среде. Эти возможности можно кратко охарактеризовать метафорой «видеть невидимое», - точнее, получить изображение объектов наблюдения без использования средств прямого оптического наблюдения.

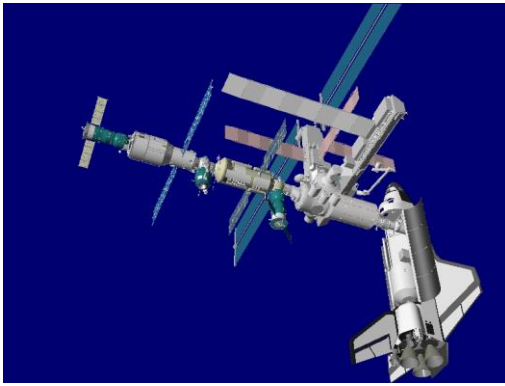


Рис.6. Виртуальная сцена: МКС с пристыкованным к ней Space Shuttle («Атлантис») и космическими кораблями («Союз» и «Прогресс»).

В первой половине прошлого века такая возможность появилась, благодаря открытию телевидения, причём сам термин «телевидение» как раз и отражает возможность «видения на расстоянии».

Имея сходство с системой телевидения, система ВО, в которой воспроизводятся реальные события, происходящие с реальными объектами, предоставляет гораздо более мощные возможности по сравнению с телевизионными системами, прежде всего заключающиеся в принципиальном отсутствии ограничений на свободу передвижения наблюдателя внутри виртуального пространства. Такие системы ВО имеют ярко выраженные функциональные особенности - реальные объекты фактически управляют своими «виртуальными двойниками». В работах В.О.Афанасьева с коллегами была реализована технология, в которой поведение виртуальных объектов индуцируется поведением реальных объектов. Поэтому созданную визуальную среду назвали Индуцированным Виртуальным Окружением (ИВО) [8].

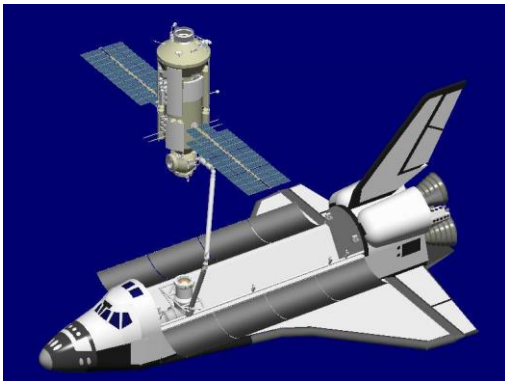


Рис.7. Виртуальная сцена: моменты стыковки модуля ФГБ при помощи манипулятора "Canada Arm" к стыковочному узлу корабля Space Shuttle

Виртуальные сцены в разных ракурсах показывают наиболее ответственные моменты некоторых орбитальных операций. Следует заметить, что в реальности увидеть развитие событий в том виде, как показано на рисунках, было бы невозможно, так как в космосе невозможно было бы нужным образом (и в таком количестве) разместить телекамеры.

База исследований Кафедры.

Программно-аппаратной базой проектов, связанных с восприятием 3D пространства, служит созданный на

Кафедре действующий прототип комплекса «тренажер-симулятор - система визуального погружения тренирующегося в виртуальную сцену трассы» на основе активной платформы тренажера-симулятора и системы ВО [9].



Рис.8. Интерьер Лаборатории информационных технологий в спорте.

Возможности визуализации с точки зрения использования в научных исследованиях вышли за обычные рамки создания визуальных образов различных физических явлений. В работах В.П.Алешина с коллегами разработаны методы и алгоритмы визуализации для решения задач мониторинга космических аппаратов (КА). Актуальность задачи мониторинга возрастает в связи с активным использованием космического пространства в различных прикладных целях (системы глобального позиционирования, космические телекоммуникации, исследование ресурсов, экологический контроль и т.д.). Непосредственным способом мониторинга является отображение соответствующих аварийных ситуаций, нерегистрируемых с помощью прямых видеонаблюдений, а генерируемых на основе идеологии ИВО по косвенным измерениям [10].

Для оценки сложности решаемых задач необходимо сравнить рисунки 9 и 10.



Рис.9. Реальные изображения КА UARS.

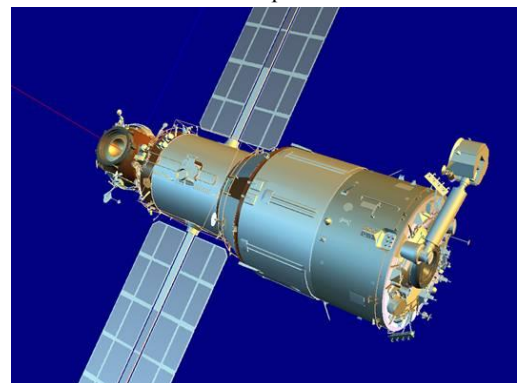


Рис.10. Реальные изображения КА UARS.

5. НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

Поддержка принятия решений.

Предлагается реализовать ПТК ситуационного центра и системы класса 4i - Интегрированная Интерактивная Интеллектуальная Информационно-аналитическая система (ИАС4i), в основу которой положена интеграция методов и подходов ситуационной осведомленности, Неогеографии, ВО, серьезных игр, Грид, семантической Паутины, интеллектуальных информационных технологий и хранилищ данных [11].

ИАС4i обеспечивает развитые возможности анализа динамики развития ситуации на основе геопространственной и релевантной семантической информации, поставляемой распределенными сетями сенсоров и вычисляемых карт рисков. ПТК-ВО обеспечивает «погружение» аналитиков и ЛПР в обстановку ситуации и интуитивный интерфейс для доступа к информации. Интерактивные возможности ИАС4i обеспечивают вызов любой информации для любого объекта и «точки на карте».

Обеспечение ситуационной осведомленности.

ИАС4i имеет 2 «окна» (1) ситуационный центр на основе системы ВО для ЛПР и экспертов; (2) Интернет-портал для обеспечения публичной осведомленности граждан.

Предлагаемый интеграционный подход обеспечивает решение актуальных задач, связанных с совершенствованием методов принятия управленческих решений в текущей жизни и в случаях ЧС на основе риск-информированного подхода, облегчением доступа к большому объему смежной информации, возможностью исследования множественных альтернативных сценариев, вовлечением большего числа участников в процесс принятия решений, обеспечением эффективной коммуникации между СКЦ, населением, отрядами оперативного реагирования и/или аварийно-спасательными формированиями.

Ярким примером ситуационного центра является Decision Theater (театр принятия решений), Университет штата Аризона (<http://dt.asu.edu/>).



Рис.11. Демонстрация возможностей Decision Theater.

Неогеография.

Работы Института по визуальной аналитике были инициированы Е.Н.Еремченко, руководителем группы «Неогеография». *Неогеография* - новое поколение средств и методов работы с геопространственной информацией - основана на очень простых принципах, взяв за основу первичную информацию: - использованием географических систем координат, а не

картографических; - применением растрового, а не векторного представления географической информации в качестве исходного; -- использованием открытых гипертекстовых форматов представления геоданных [12].

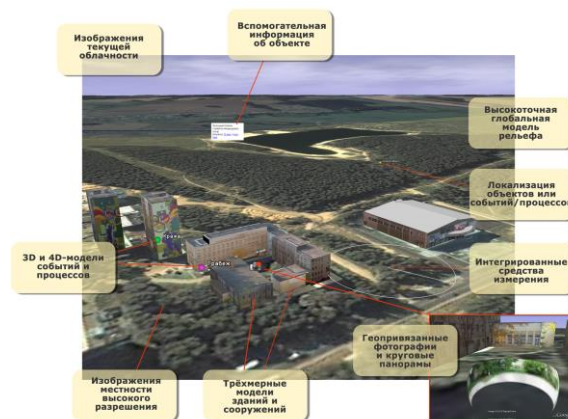


Рис.12. Визуальная аналитика с геоинтергейсом (Группа «Неогеография», Протвино).

Неогеография на деле показала действенность одного из принципов автоматизации (компьютеризации) человеческой деятельности, сформулированный В.М.Глушковым, о необходимости преобразования технологии этой деятельности к условиям и возможностям автоматизации. *Неогеография* своей необычайной привлекательностью обязана возможностям виртуальных путешествий.

Осязаемые изображения.

Минимально инвазивная хирургия стала «золотым стандартом» для ортопедических операций на коленных суставах, которые делаются через небольшие разрезы типа «замочной скважины». Такие операции требуют от хирургов развития пространственного восприятия, чтобы понять трёхмерность хирургических сцен, а также научиться управлять артроскопическим инструментом. Обучение артроскопической хирургии с помощью виртуального тренажера является весьма актуальным, так как в реальной операции хирурги видят только двумерное изображение на плоском мониторе и вынуждены интуитивно управлять сложным инструментом в реально трёхмерной сцене. Конечно, в реальной операции хирург «ощущает» прикосновение инструмента к тканям пациента, поэтому для виртуального тренажера очень важно создать систему, в которой тренирующийся «видит» прикосновение инструмента к виртуальной ткани и «ощущает» через тактильную обратную связь это прикосновение. Такие изображения будем называть «осязаемыми».

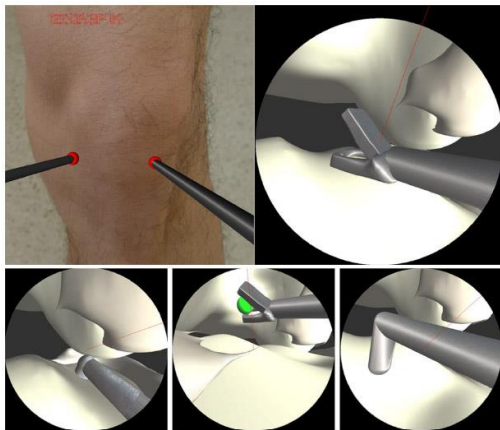


Рис.13. Виртуальный артроскоп и триангуляция в виртуальном пространстве.

В работах А.И.Сурина с коллегами [13-15] предложен принципиально новый подход к виртуальному моделированию минимально инвазивных операций с использованием тактильных устройств и осязаемых изображений - отказаться от трёхмерного моделирования операционного поля и использовать вместо этого реальные изображения и видео получаемые с помощью эндоскопических камер и микроскопов. На рисунках 13 и 14 фрагменты реальной и виртуальной «артроскопической операции».



Рис.14. Реальная операция и использование изображения операционного поля в виртуальном тренажере.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новейшие технологии человеко-машинного взаимодействия - визуализация и виртуальное окружение - обеспечивают повышение эффективности при проведении фундаментальных исследований, при решении сложных задач науки, образования и промышленности.

Перспективными направлениями исследований в данной предметной области являются визуализация информации, визуальная аналитика, новые человеко-машинные интерфейсы, основанные на тактильных устройствах и осязаемых изображениях.

Работы, послужившие основой доклада, были выполнены в рамках проектов, поддержанных грантами РФФИ 99-01-00451, 01-07-90327, 02-01-01139, 04-07-08026, 05-07-90344, 08-07-00468, 08-07-00469, 08-07-12037, 09-07-00401, 10-07-00513, 11-07-00514, 12-07-

00157, 12-07-00678, 12-07-00780, 12-07-12082, 13-07-00180, 13-07-00367, 13-07-00369, 13-07-00398.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] George K. Francis, Topological Picturebook, Springer-Verlag, 1987 (М.:Мир, 1991).
- [2] Sutherland, I.E.: The Ultimate Display, Proc. IFIP 65, 2, pp.~506--508, 582--583, 1965
- [3] Ф. Баяковский Ю.М., Галактионов В.А. Современные проблемы компьютерной (машинной) графики <http://spkurdyumov.narod.ru/GalaktionovVladimir.htm>
- [4] H.Tramberend, A Distributed Virtual Reality Framework, Proc. of the IEEE Virtual Reality, 1999, pp.14-21
- [5] Клименко С.В., Никитин И.Н., Никитина Л.Д. «Аванго: система разработки виртуальных окружений» - Москва-Протвино, 2006, Институт физико-технической информатики, ISBN 5-88835-017-6, 252С.
- [6] D.S.Staneker, A first step towards occlusion culling in OpenSG PLUS// in Proc. of the 1st OpenSG Symposium, 2002
- [7] D.Bartz et al, Jupiter: A Toolkit for Interactive Large Model Visualization// Proc. of Symposium on Parallel and Large Data Visualization and Graphics, pp.129-134, 2001
- [8] Афанасьев В.О., Байгозин Д.А., Батурин Ю.М., и др. Системы визуализации и виртуального окружения в задачах исследования космоса: настоящее и будущее // в книге «Космонавтика XXI века. Попытка прогноза развития до 2101» под редакцией академика РАН Б.Е.Чертока, М. Изд. "ПТСофт", 2010, - С.185-256
- [9] Vladimir Aleshin, Valery Afanasiev, Alexander Bobkov, Stanislav Klimenko, Vitaly Kuliev and Dmitry Novgorodtsev. Visual 3D Perception of Motion Environment and Visibility Factors in Virtual Space // Transactions on Computational Science XVI Lecture Notes in Computer Science, 2012, Volume 7380/2012, 17-33, DOI: 10.1007/978-3-642-32663-9\2, ISBN: 978-3-642-32662-2, pp.17-33
- [10] Vladimir Aleshin, Stanislav Klimenko, Dmitry Novgorodtsev. Space objects localization and recognition using an adaptive optical observation system // in The Proc. of the 19 International Conference GraphiCon-2009, Moscow, Russia, ISBN 978-5-317-02975-3, pp.311-313
- [11] В.П.Алешин, А.П.Афанасьев, В.О.Афанасьев, и др. Программно-технический комплекс ситуационного центра для мониторинга и управления терри-ториями и проектами модернизации // MEDIAS2010 Труды Международной научной конференции, 10-14 мая 2010 г., Лимассол, Республика Кипр, Изд.ИФТИ, С.149-230, ISBN 978-5-88835-030-0
- [12] Володченко А., Ерёмченко Е.Н., Клименко С.В. О новых междисциплинарных ориентирах «Неогеографии» // MEDIAS2012 Труды Международной научной конференции, 07-14 мая 2012 г., Лимассол, Республика Кипр, Изд.ИФТИ, С.254-257, ISBN 978-5-88835-023-2
- [13] Шахзад Расул, Суриин Алексей, Клименко Станислав. Тактильное взаимодействие на основе осязаемых изображений // SC-IAS4i-VRTerro2011 Труды

Международных научных конференций:
"Ситуационные центры и информационно-аналитические системы класса 4i", Изд.ИФТИ, Москва-Протвино, С.220-232, ISBN 978-5-88835-021-8

- [14] Pestrikov V., Sourin A., Towards Making Panoramic Images in Virtual Arthroscopy, In Proc 2013 Int Conf on Cyberworlds, IEEE Computer Society, Japan, 21-23 October, 2013 (in print).
- [15] Rasool S., Sourin A. Image-driven virtual simulation of arthroscopy, The Visual Computer, Springer, 29(5): 333-355, 2013.
- [16] Брусенцев П.А., Клименко С.В. Визуализация проектирования в виртуальном окружении // Клуб 3D. Инновационное проектирование. Изд. Литера, Нижний Новгород. С.37-48

Abstract

The ever increasing complexity of the physical phenomena studied in scientific and engineering disciplines, requires the development of new approaches and powerful technique for processing and analysis of complex data. Scientific visualization develops methods and tools for understanding the problems to be solved by bringing in a person's ability to see and understand the image. Currently, scientific visualization is quite complete scientific discipline and the most promising areas of information visualization and visual analytics. Purpose of virtual environment is to ensure that individual users or groups of scientists, engineers and designers of the virtual work space, where they can observe and examine real-time create the necessary virtual their data models, and scenes.

Keywords: *scientific visualization, visualization systems and virtual environment, information visualization, neo-geography, tangible images*

Author:

Станислав Владимирович Клименко, д.ф.-м.н., проф., научный руководитель кафедры МФТИ,
E-mail: Stanislav.Klimenko@gmail.com