

## УДАЛЕННАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ ДАННЫХ

*Д.В. Ненаженко, Г.И. Радченко*

Вычислительные мощности и аппаратные характеристики персональных вычислительных устройств не всегда позволяют обеспечить должный уровень производительности для обеспечения визуализации больших объемов данных, возникающих в результате решения различных задач с использованием суперкомпьютерных вычислительных систем. Для обеспечения прозрачного и удобного доступа к таким данным может применяться подход удаленной визуализации, при котором клиент используется исключительно для отображения видео-информации с одного или нескольких удаленных серверов визуализации. В данной работе рассматриваются виды удаленной визуализации, используемые технологии, для обеспечения взаимодействия между клиентскими приложениями и удаленными серверами, анализируются различные подходы к решению задачи удаленной визуализации.

*Ключевые слова:* удаленная визуализация, сервисы визуализации, удаленный рендеринг.

### Введение

Применение суперкомпьютерного моделирования для решения задач из различных секторов промышленности и экономики позволяет значительно повысить качество производимой продукции, уменьшить затраты на проектирование и разработку новых товаров и обеспечить новое качество услуг, предоставляемых пользователям. Такие задачи возникают во множестве сфер, включая машиностроение [7], моделирование биологических систем [8, 13], компьютерные игры [2] и др. Современные системы, обеспечивающие решение задач такого типа, обычно, представляют собой комплексы ПО, состоящие из нескольких взаимосвязанных программных систем, обменивающихся данными в процессе выполнения задачи. Результатом, обычно, является визуальное представление данных, интересующих пользователя. Однако данные, получаемые в результате решения таких задач, могут представлять собой файлы, размер которых может достигать от десятков гигабайт до нескольких терабайт.

Вычислительные мощности и аппаратные характеристики персональных вычислительных устройств не всегда позволяют обеспечить должный уровень производительности для обеспечения визуализации результатов таких задач. Также, большие объемы данных тяжело передавать по сети, от сервера клиенту и обратно. При этом, если для визуализации требуется не весь объем данных, а лишь некоторая их часть, значительно уменьшается эффективность использования доступных сетевых ресурсов. Таким образом, на сегодняшний день, проблема обработки и визуализации больших объемов данных является одной из важнейших проблем оперативного получения и использования информации. Под большими данными подразумеваются такие данные, обработка которых на стандартных устройствах конечного пользователя занимает недопустимое для работы время. Распространение мобильных устройств, рост объема результатов инженерных вычислений заострили проблему отсутствия единого универсального подхода к решению проблемы удаленной визуализации.

*Удаленная визуализация (remote visualization, remote rendering)* — это подход к визуализации, при котором клиент (устройство с относительно низкими вычислительными

возможностями) используется для отображения массивов данных, визуализированных на одном или нескольких удаленных серверах визуализации [15]. Удаленная визуализация данных может применяться в различных задачах математической обработки, как правило, это обработка трехмерной графики [6], статичных моделей, различных анимированных сцен, смоделированных заранее, визуализация в реальном времени (например, трехмерное сканирование) [4], обработка различного рода статистических данных и др.

Анализ существующих задач, решаемых на суперкомпьютерных вычислительных системах и методов удаленного доступа к суперкомпьютерным ресурсам показал, что удаленная визуализация является *актуальным* направлением исследований, так как высокое развитие суперкомпьютерных вычислений и совершенствование сетевых технологий позволяет пользователям отдавать предпочтения легким, маломощным портативным устройствам для доступа к удаленным вычислительным ресурсам.

Целью данной работы является анализ существующих протоколов, платформ и систем удаленной визуализации. Дальнейший текст статьи организован следующим образом. В первом разделе описан процесс удаленной визуализации и ее виды. Во втором разделе представлены протоколы управления, используемые при удаленной визуализации. В третьем разделе рассмотрены наиболее распространенные на сегодняшний день платформы удаленной визуализации. В заключении приводится краткий анализ результатов работы.

## 1. Удаленная визуализация

Удаленная визуализация данных (см. рис. 1) позволяет реализовать процесс визуализации на базе удаленных центров обработки данных, передавая конечному пользователю непосредственный результат визуализации в виде изображений либо видеоряда. При использовании удаленной визуализации, процесс обработки данных разделяется на различные по сложности этапы, которые могут быть реализованы как на сервере, так и на клиенте. В зависимости от того, как распределены эти этапы между клиентом и сервером, система удаленной визуализации может обеспечить балансировку нагрузки на вычислительные мощности клиентских и серверных систем, а также минимизацию сетевого трафика между ними.



Рис. 1. Удаленная визуализация данных

Для использования систем удаленной визуализации, обычно, от клиентской машины не требуется наличия больших вычислительных мощностей. Однако необходимо высоко-

скоростное сетевое соединение для доступа клиента к ресурсам сервера удаленной визуализации. Сервер, в свою очередь, обеспечивает решение поставленных вычислительных задач, пре-рендеринг и рендеринг готового изображения.

*Рендеринг (rendering, визуализация)* — в компьютерной графике, процесс преобразования цифровых моделей в визуализируемое представление — изображение [3].

*Пре-рендеринг* — это предварительные операции по подготовке виртуальной сцены, обеспечивающие оптимизацию дальнейшего процесса рендеринга [3]. Различные системы удаленной визуализации могут выполнять различные действия с виртуальной сценой в ходе этапа пре-рендеринга. Например, при пре-рендеринге может происходить подготовка карты теней, предварительная отрисовка предыдущих либо следующих кадров, подготовка текстур модели.

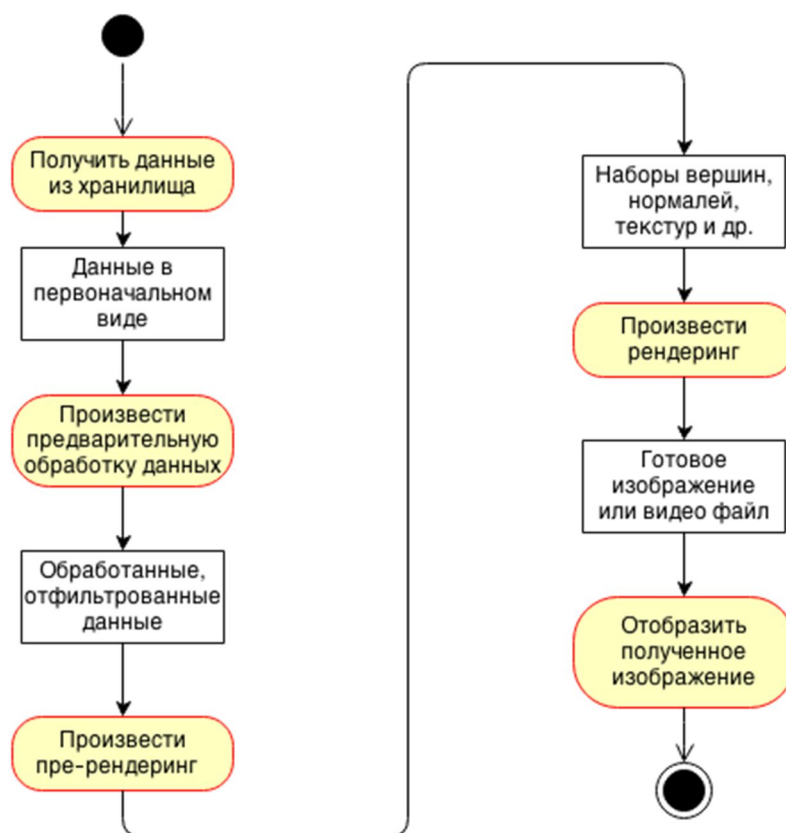


Рис. 2. Процесс удаленной визуализации

На рис. 2 изображен процесс обработки данных в системах удаленной визуализации. Действия в потоке могут быть реализованы различными способами и выполняться как на серверной части, так и на клиентской, в зависимости от реализации.

Начальные данные из хранилища извлекаются в необработанном виде. Такие «сырые» данные могут содержать в себе много лишней информации, не требующей визуализации, поэтому производится предварительная обработка этих данных, включающая очистку от лишней информации, агрегацию и преобразование данных к необходимому для визуализации виду. Обработанные данные необходимо преобразовать в визуализируемый набор, представляющий собой вершины, нормали, текстуры и др., после чего произвести пре-рендеринг. После того как данные возможно визуализировать происхо-

дит рендеринг данных в готовое изображение или видео файл. Конечный результат отображается у пользователя.

В табл. 1 представлены варианты размещения различных этапов удаленной визуализации на серверной или клиентской стороне.

Подход «чистой удаленной визуализации» обеспечивает выполнение всех расчетов и обработку изображения на серверной части системы удаленной визуализации, с последующей передачей изображения клиенту. На клиенте никакой обработки результата не производится, обеспечивается только отображение результата с сервера.

Таблица 1

Виды удаленной визуализации

Операция	Чистая удаленная визуализация	Смешанная удаленная визуализация	Обработка данных на сервере	Хранение данных на сервере
Отображение	клиент	клиент	клиент	клиент
Рендеринг	сервер	клиент	клиент	клиент
Пре-рендеринг	сервер	сервер	клиент	клиент
Обработка данных	сервер	сервер	сервер	клиент
Хранилище данных	сервер	сервер	сервер	сервер

К достоинствам данного подхода можно отнести:

- низкие требования к производительности клиентского устройства;
- возможность гибкого применения алгоритмов сжатия полученных изображений/видео потока, включая алгоритмы с потерей данных;
- возможность использования браузера в качестве клиентского ПО;
- редко требует установки дополнительного программного обеспечения.

С другой стороны, основным недостатком такого подхода являются высокие требования к качеству Интернет-соединения для передачи видеопотока. Интерактивное взаимодействие с удаленной системой, реализуемое посредством постоянной передачи видеопотока (особенно в высоком разрешении) требует малых значений времени ожидания пакетов, высокой скорости обмена и высокой надежности связи между клиентской и серверной машиной.

*Смешанная удаленная визуализация* реализуется в том случае если от сервера клиенту передается набор данных подготовленных к рендерингу (примитивы, нормали, текстуры и др.), а на клиентской машине происходит финальный рендеринг данных и их отображение. Так же, на клиентской машине может производиться наложение удаленного изображения на объекты, доступные только на локальной машине (например, в рамках приложений дополненной реальности).

При таком подходе к удаленной визуализации, требования к качеству сетевого соединения не такие жесткие как при чистой удаленной визуализации. Также, появляется возможность совместной визуализации удаленных и локальных данных.

К недостаткам такого подхода можно отнести необходимость иметь на клиентской машине отдельный графический процессор, отвечающий за рендеринг данных. Также, для работы такой системы скорее всего потребуется установка и настройка дополнительного ПО.

Еще одним подходом является *серверная обработка данных*. При таком подходе на сервере происходит только хранение «сырых» данных и их обработка (очистка от лишней информации, агрегация и преобразование данных к необходимому для визуализации виду).

Основным достоинством такого подхода к удаленной визуализации является то, что серверной части не требуется наличие графического процессора, за счет этого можно увеличить производительность CPU или использовать GPU как сопроцессор.

Из недостатков стоит отметить дополнительные ограничения на клиентскую часть системы, так как необходимость иметь мощный графический процессор, а также специализированное ПО для визуализации данных, может означать дополнительные расходы. Еще одним недостатком данного подхода является то, что объем передаваемых по сети данных может сильно колебаться, для этого необходимо высокоскоростное сетевое оборудование.

В случае, когда сервер выступает только в роли хранилища данных, а вся обработка ведется на клиенте, используется подход, предполагающий *серверное хранение данных*. Такой подход часто не относят к удаленной визуализации, так как вся обработка и визуализация происходит на клиентской машине.

Основным достоинством является простота реализации серверной части. Также такой подход не требует больших мощностей от сервера, достаточно иметь высокоскоростной доступ к носителям информации. Такой подход удобен в случаях, когда время обращения к локальному хранилищу клиентской машины значительно превосходит время обращения к удаленному хранилищу.

Однако надо отметить, что подход обладает следующими недостатками:

- необходимость предустановленного на клиентской машине дополнительного программного обеспечения;
- необходимость высокопроизводительного оборудования на клиентской стороне;
- необходимость наличия высокоскоростного интернет соединения, для передачи больших объемов «сырых» данных.

Основной задачей построения системы удаленной визуализации является нахождение баланса между вычислительными мощностями клиентского оборудования и пропускной способностью сети. На сегодняшний день развитие высокоскоростных соединений, а так же развитие суперкомпьютерных вычислений позволяет максимально эффективно использовать подходы чистой и смешанной удаленной визуализации. Подходы, ориентированные исключительно на хранение и обработку данных на сервере часто относят к методам удаленной визуализации, подразумевая что в этом случае, фактическая задача визуализации решается на клиентском устройстве.

## 2. Протоколы удаленного управления

Для интерактивного взаимодействия клиента и сервера удаленной визуализации необходимы специальные *протоколы управления*. Они обеспечивают передачу команд удаленного управления от клиента удаленному графическому интерфейсу, а также передачу готового изображения на клиентскую машину.

Одним из первых и широко распространенных протоколов удаленного управления является протокол RFB [12] (Remote Framebuffer Protocol), базирующийся на протоколе TCP. RFB появился в 1998 г. при создании тонкого клиента в рамках проекта Videotile, после чего нашел применение с появлением технологии VNC в 2002 г. [12]. RFB работает на уровне кадрового буфера, а значит его можно применять для графических оконных систем, например X Window System, Windows, Quartz Compositor.

В начале своего развития, RFB был относительно простым протоколом, основанным на графических примитивах, таких как «положить прямоугольник пиксельных данных на заданную координатами позицию». При этом, сервер посылает небольшие прямоугольники изображения клиенту при изменении их содержимого. Такая подход потребляет значительный трафик, так как прямоугольные участки изображения передаются клиенту без сжатия. В более новых версиях протокола RFB было реализовано несколько методов кодирования передаваемых прямоугольников, обеспечивающих снижение нагрузки на канал. Самый простой метод кодирования, поддерживаемый всеми клиентами и серверами — «raw encoding» (сырое кодирование), при котором пиксели передаются в порядке слева-направо, сверху-вниз, и после передачи первоначального состояния экрана передаются только изменившиеся пиксели. Этот метод работает очень хорошо при незначительных изменениях изображения на экране (движения указателя мыши по рабочему столу, набор текста под курсором), но загрузка канала становится очень высокой при одновременном изменении большого количества пикселей, например, при просмотре видео в полноэкранный режим. За время своего развития протокол оброс различными дополнительными функциями и опциями, такими как передача файлов, сжатие, безопасность. В качестве примера можно рассмотреть Remote Rendering Protocol [1], включающий в себя размеры экрана, параметры освещения, глубина цвета и др. Также протокол RRP включает в себя возможность работы с multi-touch устройствами, что необходимо для работы с мобильными устройствами, такими как планшетные компьютеры и смартфоны.

Еще одним известным представителем протоколов удаленного управления является RemoteFX [11] (RDP 7.1). Данный протокол является разработкой компании Microsoft и основан на ранее разработанном ими же протоколом RDP. RDP более ранних версий подразумевал частичный рендеринг изображения на машине клиента, то есть часть информации передавалась удаленно, а часть отрисовывалась на графических процессорах клиента. Чаще всего, данный протокол использовался для обеспечения доступа к удаленным серверам. С появлением Windows 8, заявленной для работы с портативными устройствами, такими как планшеты, Microsoft пересмотрели на этот счет некоторые моменты, и в новой версии протокола на клиентское устройство передается только изображение. Данный протокол позволяет эффективно взаимодействовать с протоколами передачи видео и аудио.

ICA [10] — это закрытый протокол для сервера приложений, разработанного компанией Citrix Systems. Протокол был разработан с учетом соединений с низкой пропускной

способностью, что сделало его более надежным. Протокол ICA позволяет передавать представление текстовых экранов, представление графических экранов Windows-приложений, аудио/видео потоки, ввод с клавиатуры и мыши не зависимо от платформы (поддерживаются платформы Windows, Macintosh, Linux, и другие OS семейства UNIX). Развитием концепции ICA стал набор технологий под названием HDX (High Definition eXperience) [14], представленный компанией Citrix в 2013 г. и направленный на предоставление конечным пользователям возможности работы с удаленными вычислительными системами в режиме «высокой точности», не зависимо от того, с какого устройства или через какой тип соединения обеспечивается доступ. Данная технология обеспечивает бесшовный режим (когда с сервера передаются данные не о всём рабочем столе, а только о содержимом конкретного окна), который позволяет работать как на тонких клиентах (у пользователя появляется одно приложение без прочего окружения — меню пуск, рабочего стола), так и на «толстых» клиентах, позволяя интегрировать удалённые приложения в локальный рабочий стол (все приложения, кроме одного, работают локально, одно работает на сервере, но пользователь не замечает разницы между ними). HDX состоит из следующих ключевых компонентов:

- *HDX MediaStream* — обеспечивает доставку мультимедийного контента, включая видео, звук;
- HDX Broadcast — позволяет передавать мультимедийный контент практически в любых условиях, эффективно сжимает и кэширует данные;
- HDX Plug-n-Play — обеспечивает взаимодействие виртуальной ОС с различными plug-n-play устройствами;
- HDX RichGraphics — обеспечивает эффективную передачу трехмерной графики на клиентскую машину.

Проведенный анализ протоколов удаленного управления для реализации систем удаленной визуализации показывает, что в настоящее время существует целый ряд решений, направленных на обеспечение эффективного визуального взаимодействия с удаленными вычислительными системами. При этом, за последнее десятилетие появились протоколы, предоставляющие возможность работы не только с простейшими диалоговыми оконными приложениями, но и удаленного взаимодействия со сложными графическими интерфейсами.

### 3. Платформы и сервисы удаленной визуализации

*Платформа удаленной визуализации* — это промежуточное программное обеспечение, предоставляющее механизмы для визуализации данных на удаленных вычислительных системах. Платформы удаленной визуализации обеспечивают взаимосвязь между клиентскими приложениями и серверными, предоставляя доступ к графическим ускорителям и координируя взаимодействие команд от клиента серверу.

Платформы удаленной визуализации предоставляют средства для реализации систем удаленной визуализации включая пользовательский интерфейс для удаленной визуализации, сервисы управления сеансами визуализации (на базе виртуальных машин), интерфейсы для взаимодействия между визуализаторами и графическими ускорителями, протоколы удаленного управления.

На сегодняшний день существует множество реализаций различных подходов к удаленной визуализации. Одной из наиболее распространенных и широко известных платформ является *ParaViewWeb Framework* [5]. Проект данной платформы удаленной визуализации был начат в 2000 г. совместными усилиями компаний Kitware Inc. и Los Alamos National Laboratory. Позднее, компания Kitware на базе разрабатываемой платформы начала реализацию веб-ориентированной системы удаленной визуализации. Данная система была финансирована исследовательским отделом армии США, и в 2002 г. проект перешел в промышленную эксплуатацию. Данный проект является открытым, и любой разработчик может привнести свой вклад в развитие данного проекта. Система не зависит от аппаратной платформы и может взаимодействовать с различными облачными сервисами.

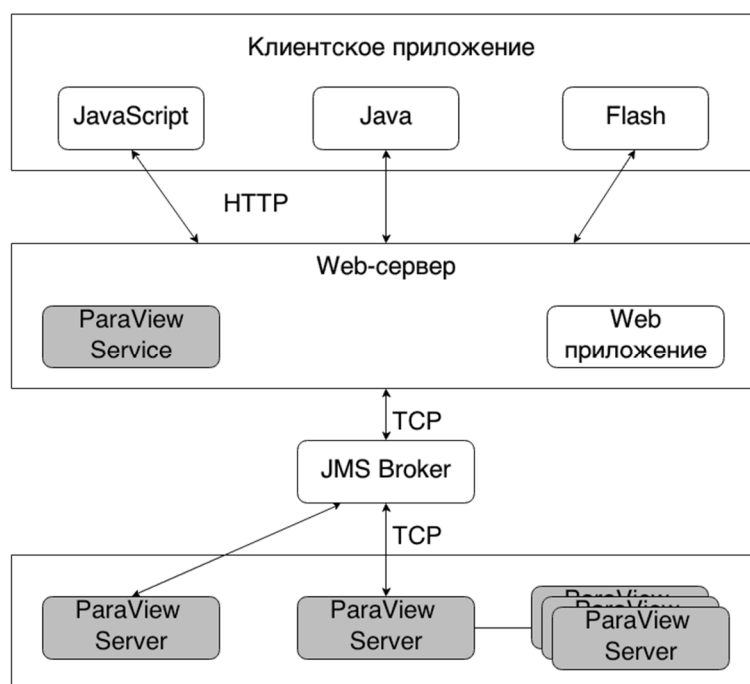


Рис. 3. Архитектура приложения на базе ParaViewWeb Framework

На рис. 3 представлен пример архитектуры приложения, обеспечивающего удаленную визуализацию на платформе ParaViewWeb Framework. Серым выделены компоненты, предоставленные платформой, белым — сторонние системы и системы, разработанные для конкретного пользователя. Для обеспечения взаимодействия клиента и сервера применяются стандартные компоненты, такие как JMS (Java Message Service), а также протоколы HTTP и TCP. В случае необходимости, можно использовать различные надстройки, например для обеспечения шифрования данных, сжатия данных без потерь и др. Для доступа к удаленной системе визуализации, на клиентской машине достаточно иметь web-браузер с поддержкой JavaScript или Flash.

На базе Paraview было создано множество систем удаленной визуализации и Paraview считается своеобразным эталоном среди подобных систем.

Платформа удаленной визуализации *NICE DCV* [9] — это инструмент для создания систем удаленной трехмерной и двумерной визуализации, основанных на предоставлении удаленного доступа к специально сгенерированным виртуальным машинам, обеспе-



чивающим удаленный запуск и работу с приложениями визуализации. Данная платформа базируется на механизме виртуальных машин, что обеспечивает хорошую масштабируемость. Системы, реализованные на базе NICE DCV не зависят от платформы, и могут работать со смешанными сессиями (Windows, Linux) на одном узле в рамках разных виртуальных машин.

Для работы с NICE DCV, пользователь должен инициализировать виртуальную машину визуализации, указав, какие наборы данных он желает визуализировать, а также какие пакеты визуализации ему необходимы. NICE DCV создает экземпляр соответствующей виртуальной машины и предоставляет пользователю удаленный графический доступ к ней. Таким образом, пользователю предоставляется полноценная виртуальная машина, в рамках которой он может получить полноценный доступ к интересующим его данным, располагающимся на удаленной вычислительной системе и проанализировать их, используя знакомые «настольные» приложения для визуализации и анализа данных.

Платформа NICE DCV предоставляет набор компонент, таких как DCV OpenGL Library, для обеспечения взаимодействия приложения удаленной визуализации и графического процессора, DCV Protocol, для связи между клиентским устройством и графическим ядром серверного приложения, и др. Также стоит отметить, что платформа NICE DCV предоставляет возможность реализовывать системы удаленной визуализации с использованием различных подходов (например, чистая или смешанная удаленная визуализация).

## Заключение

В представленной работе нами были проанализированы различные протоколы и платформы удаленной визуализации данных. Анализ протоколов удаленной визуализации показал, что одной из наиболее эффективных на сегодняшний день технологий удаленной визуализации является технология HDX, разработанный компанией Citrix. Он обеспечивает возможность эффективного использования ресурсов удаленных вычислительных машин в режиме «удаленного рабочего стола», независимо от платформы клиента и метода его соединения с сетью. Также, нами были рассмотрены наиболее распространенные на сегодняшний день платформы удаленной визуализации. В то время как ParaViewWeb Framework обеспечивает возможность внедрения методов удаленной визуализации в собственные приложения, коммерческая платформа NICE DCV предоставляет готовое решение, поддерживающее большую степень настройки под требования конечного пользователя. Таким образом, разработка системы предоставления готовых виртуальных машин, предварительно настроенных на решение задачи удаленной визуализации результатов пользовательских расчетов на основе существующих прикладных пакетов визуализации данных можно считать перспективным направлением исследований.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных научных исследований (грант № 14-07-00420) и Совета по грантам Президента Российской Федерации (номер проекта МК-7524.2015.9).*

## Литература

1. Aumüller, M. Remote Hybrid Rendering of Exascale Data for Immersive Virtual Environments // EASC — April 2013. URL: [http://www.easc2013.org.uk/sites/default/files/Pdfs/ParallelSession3a/Martin\\_Aumueller\\_-\\_Remote\\_Hybrid\\_Rendering\\_-\\_EASC\\_2013.pdf](http://www.easc2013.org.uk/sites/default/files/Pdfs/ParallelSession3a/Martin_Aumueller_-_Remote_Hybrid_Rendering_-_EASC_2013.pdf) (дата обращения 02.06.2014).
2. Boukerche, A. Remote rendering and streaming of progressive panoramas for mobile devices / A. Boukerche, R. Pazzi // Proceedings of the 14th annual ACM international conference on Multimedia. — USA: ACM. 2006. — P. 691–694.
3. Brooker, D. Essential CG Lighting Techniques with 3ds Max / D. Brooker // Focal Press: Elsevier Inc. — 2008. — P.398.
4. Chen, B.T. A 3D scanning system based on low-occlusion approach / B.T. Chen, W.S. Lou, C.C. Chen, H.C. Lin // Proceedings of Second International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling. — USA: IEEE, 1999. — P. 506–515.
5. Documentation ParaViewWeb. Kitware Inc. URL: <http://www.paraview.org/ParaView3/Doc/Nightly/www/js-doc/index.html> (дата обращения 20.05.2014).
6. Evans, A. 3D graphics on the web: A survey / A. Evans, M. Romeo, A. Bahrehamand // Computers & Graphics. — 2014. Vol. 41. — P. 43–61.
7. Hwang, K. Multiprocessor Supercomputers for Scientific/Engineering Applications / K. Hwang // Computer. — 1985. — Vol. 18, No. 6. — P. 57–73.
8. Kikinis, R. Computer-assisted interactive three-dimensional planning for neurosurgical procedures / R. Kikinis, P.L. Gleason, T.M. Moriarty // Neurosurgery. — 1996. — Vol. 38, No. 4. — P 640-651.
9. Official web-resource NICE software. Раздел посвященный DCV. URL: <http://www.nice-software.com/products/dcv> (дата обращения 13.06.2014)
10. Protocol specification ICA. ICA Functional specifications. URL: [http://publications.europa.eu/tenders/our/documents/ao\\_10017/cd\\_cordis/annexes/applications\\_doc/phasing\\_out/ica/lot2\\_fsd\\_ica\\_functional\\_specifications\\_v030.pdf](http://publications.europa.eu/tenders/our/documents/ao_10017/cd_cordis/annexes/applications_doc/phasing_out/ica/lot2_fsd_ica_functional_specifications_v030.pdf) (дата обращения 20.05.2014).
11. Protocol specification Microsoft RemoteFX. URL: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ff635423.aspx> (дата обращения 15.03.2014)
12. Richardson, T. The RFB Protocol / T. Richardson, K. Wood // ORL, Cambridge. — January 1998. URL: <http://www.realvnc.com/docs/rfbproto.pdf> (дата обращения 22.03.2014).
13. Tomandl, B. F. Local and Remote Visualization Techniques for Interactive Direct Volume Rendering in Neuroradiology / B. F. Tomandl, P. Hastreiter, C. Rezk-Salama // Radiographics. — 2001. — Vol. 21, No. 6. — P. 1561–1572.
14. White paper of Citrix HDX. URL: [https://www.citrix.ru/content/dam/citrix/en\\_us/documents/products-solutions/citrix-hdx-technologies.pdf](https://www.citrix.ru/content/dam/citrix/en_us/documents/products-solutions/citrix-hdx-technologies.pdf) (дата обращения 15.03.2014).
15. Zellmann, S. Image-Based Remote Real-Time Volume Rendering: Decoupling Rendering From View Point Updates / S. Zellmann, M. Aumüller, U. Lang // ASME 2012 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in En-

gineering Conference. — USA: American Society of Mechanical Engineers, 2012. — P. 1385–1394.

Ненаженко Дмитрий Владимирович, аспирант кафедры системного программирования, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск, Российская Федерация), nenazhenkodv@susu.ac.ru.

Радченко Глеб Игоревич, к.ф.-м.-н., доцент кафедры системного программирования, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск, Российская Федерация), gleb.radchenko@susu.ru.

*Поступила в редакцию 2 октября 2014 г.*

---

*Bulletin of the South Ural State University  
Series “Computational Mathematics and Software Engineering”  
2015, vol. 4, no. 1, pp. 21–32*

---

DOI: 10.14529/cmse150102

## REMOTE VISUALIZATION OF LARGE DATA SETS

*D. V. Nenazhenko*, South Ural State University (Chelyabinsk, Russian Federation)  
nenazhenkodv@susu.ac.ru,

*G. I. Radchenko*, South Ural State University (Chelyabinsk, Russian Federation)  
gleb.radchenko@susu.ru

Computing power and hardware specifications of personal computing devices often cannot provide adequate performance to ensure the visualization of large amounts of data. Such data sets can be provided as results of various supercomputing experiments. To ensure a transparent and user-friendly access to such data one can use remote visualization approach. Remote visualization concept determines that the client is used only to display information from one or more remote visualization servers. This paper discusses types of the remote visualization technology used to provide interaction between client applications and remote servers, different ways of solving the problem of the remote visualization.

*Keywords: remote visualization, visualization services, remote rendering.*

## References

1. Aumüller, M. Remote Hybrid Rendering of Exascale Data for Immersive Virtual Environments // EASC — April 2013. URL: [http://www.easc2013.org.uk/sites/default/files/Pdfs/ParallelSession3a/Martin\\_Aumueller\\_-\\_Remote\\_Hybrid\\_Rendering\\_-\\_EASC\\_2013.pdf](http://www.easc2013.org.uk/sites/default/files/Pdfs/ParallelSession3a/Martin_Aumueller_-_Remote_Hybrid_Rendering_-_EASC_2013.pdf) (accessed 02.06.2014).
2. Boukerche A., Pazzi R. Remote rendering and streaming of progressive panoramas for mobile devices // Proceedings of the 14th annual ACM international conference on Multimedia. USA: ACM. 2006. P. 691–694.
3. Brooker, D. Essential CG Lighting Techniques with 3ds Max / D. Brooker // Focal Press: Elsevier Inc. — 2008. — P.398.

4. Chen B.T., Lou W.S., Chen C.C., Lin H.C. A 3D scanning system based on low-occlusion approach // Second International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling. USA: IEEE, 1999. P. 506–515.
5. Documentation ParaViewWeb. Kitware Inc. URL: <http://www.paraview.org/ParaView3/Doc/Nightly/www/js-doc/index.html> (accessed 20.05.2014)
6. Evans A., Romeo M., Bahrehmand A. 3D graphics on the web: A survey // Computers & Graphics. 2014. Vol. 41. P. 43–61.
7. Hwang K. Multiprocessor Supercomputers for Scientific/Engineering Applications. // Computer. 1985. Vol. 18, No. 6. — P. 57–73.
8. Kikinis R., Gleason P.L., Moriarty T.M. Computer-assisted interactive three-dimensional planning for neurosurgical procedures // Neurosurgery. 1996.
9. Official web-resource NICE software, DCV. URL: <http://www.nice-software.com/products/dcv> (accessed 13.06.2014).
10. Protocol specification ICA. ICA Functional specifications. URL: [http://publications.europa.eu/tenders/our/documents/ao\\_10017/cd\\_cordis/annexes/applications\\_doc/phasing\\_out/ica/lot2\\_fsd\\_ica\\_functional\\_specifications\\_v030.pdf](http://publications.europa.eu/tenders/our/documents/ao_10017/cd_cordis/annexes/applications_doc/phasing_out/ica/lot2_fsd_ica_functional_specifications_v030.pdf) (accessed 20.05.2014).
11. Protocol specification Microsoft RemoteFX. URL: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ff635423.aspx> (accessed 15.03.2014).
12. Richardson T. Wood K. The RFB Protocol // ORL, Cambridge. — January 1998. URL: <http://www.realvnc.com/docs/rfbproto.pdf> (accessed 22.03.2014).
13. Tomandl B.F., Hastreiter P., Rezk-Salama C. Local and Remote Visualization Techniques for Interactive Direct Volume Rendering in Neuroradiology // Radiographics. 2001. Vol. 21, No. 6. P. 1561–1572.
14. White paper of Citrix HDX. URL: [https://www.citrix.ru/content/dam/citrix/en\\_us/documents/products-solutions/citrix-hdx-technologies.pdf](https://www.citrix.ru/content/dam/citrix/en_us/documents/products-solutions/citrix-hdx-technologies.pdf) (accessed 15.03.2014).
15. Zellmann S., Aumuller M., Lang U. Image-Based Remote Real-Time Volume Rendering: Decoupling Rendering From View Point Updates // ASME 2012 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. USA: American Society of Mechanical Engineers. 2012. P. 1385–1394.

*Received October 2, 2014.*