

Ордена Ленина  
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ  
имени М.В. Келдыша  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

С.В. Андреев, Е.Ю. Денисов, Н.Е. Кирилов

**Синтез фотореалистичных трехмерных изображений в  
современных системах презентаций**

Москва

2005 г.

С.В. Андреев, Е.Ю. Денисов, Н.Е. Кирилов

## **Синтез фотореалистичных трехмерных изображений в современных системах презентаций**

**Аннотация.** В статье представлена технология, предназначенная для синтеза объемных изображений с использованием современных систем презентаций, которая позволяет производить физически аккуратное моделирование глобальной освещенности сцен и получать высококачественные изображения, в том числе изменяющиеся в режиме реального времени, без использования дополнительных дорогостоящих аппаратных решений. На базе этой технологии создан презентационный комплекс, назначение которого — демонстрация трехмерных презентаций с физически аккуратной картиной глобальной освещенности объектов. Рассматриваются аппаратные и программные решения, обеспечивающие точность и синхронность изображения при приемлемой (обеспечивающей непрерывность восприятия) частоте обновления кадров.

**Ключевые слова:** машинная (компьютерная) графика, синтез изображений, физически аккуратное моделирование освещенности, распределенные вычисления, объемное изображение.

Andreev S.V., Denisov E.Y., Kirilov N.E.

## **Synthesis of photorealistic 3D images using modern presentation systems**

**Abstract.** The paper describes a technology of 3D images synthesis on modern presentation systems which allows performing a physically accurate lighting simulation and high quality image rendering, including images which are changed in real time (animation), without usage of additional expensive hardware solutions. A presentation complex was developed on the base of this technology with the purpose of demonstration 3D presentations with physically accurate global objects illumination. The paper reviews hardware and software solutions which provide accuracy and synchronism of image display with refresh rate acceptable for continuous visual perception.

**Keywords:** computer graphics, image synthesis, physically accurate lighting simulation, distributed calculations, 3D image.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	4
2. Современные системы презентаций и задачи, возникающие при управлении презентационными комплексами.....	5
2.1. CyberStage.....	6
2.2. i-CONE.....	7
2.3. Responsive Workbench.....	8
2.4. Teleport.....	9
2.5. VEonPC.....	10
3. Terminal V.....	11
4. Методы решения для комплекса Terminal V.....	15
5. Практическое воплощение решения.....	20
5.1. Общая идея.....	21
5.2. Особенности решения.....	22
5.3. Реализация.....	22
5.4. Детали реализации.....	24
6. Заключение.....	25
Литература.....	27

## 1. Введение.

В современном мире огромную роль играют системы презентаций, используемые для доведения информации зрителю в графическом виде. Как говорится в известной пословице, лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать. Эта истина известна всем, и трудно представить себе научную конференцию, выставку, презентацию какого-либо товара без показа иллюстраций, графиков, рекламных роликов, демонстрирующих достоинства товара.

Особое место в таких системах занимают компьютерные системы генерации трехмерного представления иллюстрируемых объектов, работающие в режиме реального времени. Действительно, одно дело показать, например, новый автомобиль, записав его изображения с помощью видеокамеры. И совершенно другое — демонстрировать зрителю модель этого автомобиля, даже не воплощенного еще в реальном мире, с помощью таких компьютерных систем. Зритель не просто остается пассивным участником демонстрации, а вовлекается в процесс создания шоу. По желанию этого зрителя камера облетает вокруг несуществующего еще автомобиля (либо по заранее заданной траектории, либо интерактивно, подчиняясь командам, отдаваемым непосредственно зрителем с помощью мыши или любого другого координатного устройства). Появляется возможность перекрасить автомобиль в мгновение ока в цвет, выбранный самим зрителем, возможность рассмотреть вновь окрашенный автомобиль в разное время суток, в пасмурную и ясную погоду, в различных вариантах окружающей среды (городские кварталы, загородное шоссе, горная дорога, лес), возможность зажечь фары, открыть двери, включить стеклоочистители (указанные действия могут сопровождаться соответствующими звуковыми эффектами).

Зритель вовлекается в созидательную игру, позволяющую ему походить по комнатам несуществующего в реальности здания, расставить там мебель по своему вкусу, подобрать обои, паркет, разместить лампы освещения. То, что обычно доступно лишь профессиональному дизайнеру на экране монитора его компьютера, при проведении презентации превращает зрителя в участника коллективного творчества, и объект презентации — в плод коллективного творения. И это, в конечном счете, определяет успех презентации.

## **2. Современные системы презентаций и задачи, возникающие при управлении презентационными комплексами.**

Что является основной задачей, возникающей при генерации изображений программами трехмерного моделирования в реальном времени для презентационного оборудования? Это, конечно, необходимость генерации реалистичного изображения с высоким разрешением и качеством в режиме реального времени.

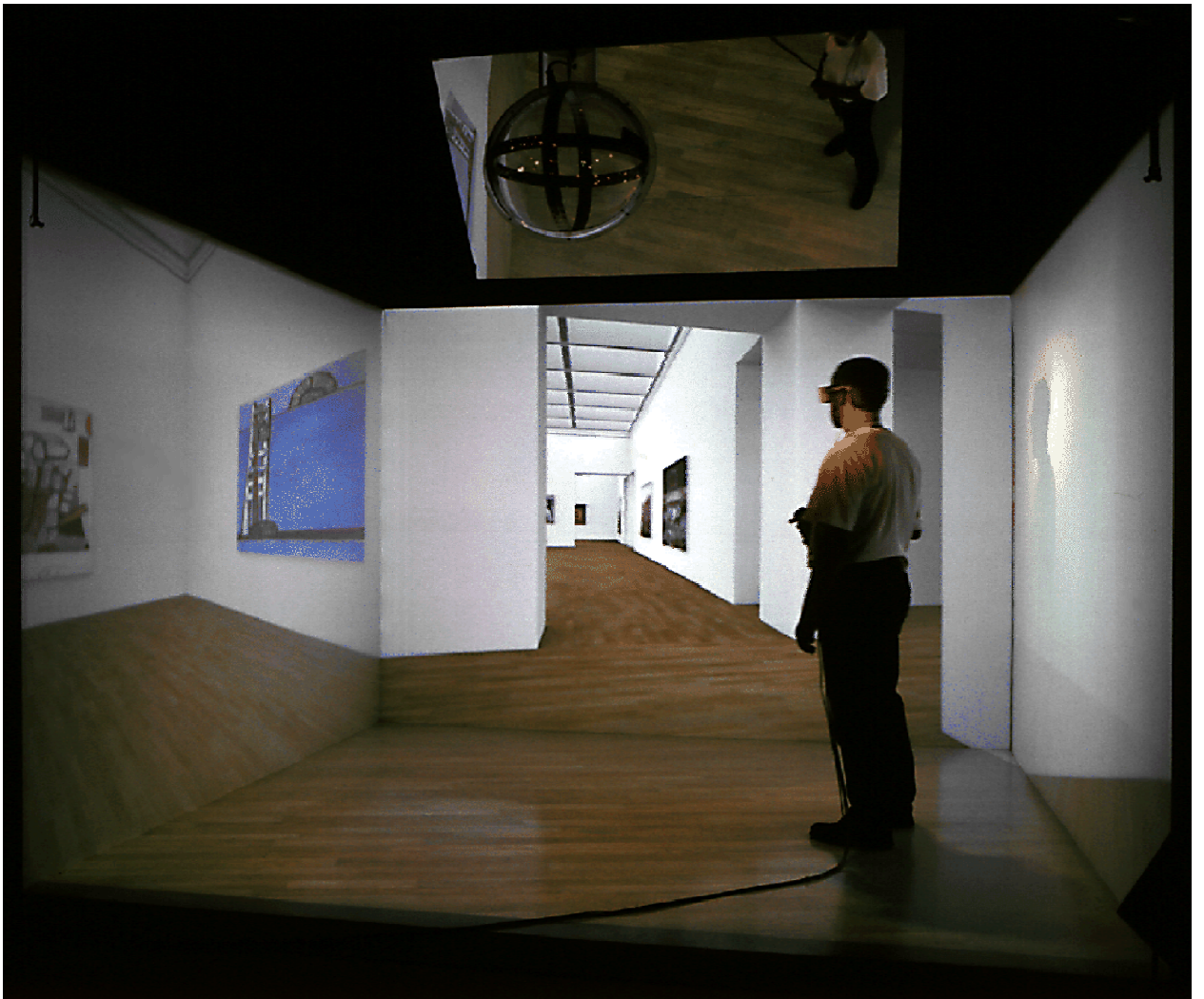
Все презентационные системы характеризуются, прежде всего, большим экраном (и даже несколькими экранами). Таким образом, типичного разрешения монитора чаще всего не хватает для генерации кадра, выводимого на экран презентационного комплекса, и приходится использовать несколько мониторов, каждый из которых отображает только часть общего кадра. Как следствие, такие комплексы обычно управляются не одним компьютером, мощности которого, как правило, не хватает для генерации кадров высокого разрешения, а системой компьютеров, связанных локальной сетью, где каждый из компьютеров участвует в расчете только той области результирующего кадра, за которую он отвечает.

Кроме того, современные презентационные комплексы, особенно крупномасштабные, обладают возможностью показа трехмерных стерео изображений, где каждый кадр генерируется отдельно для левого и правого глаза (зрители используют специальные стерео очки для просмотра стерео кадров на большом экране). Таким образом, требования к вычислительным возможностям системы компьютеров, управляющей презентацией, возрастают в два раза. И отдельно стоящий компьютер просто не в состоянии справиться с такой задачей в одиночку. Рассмотрим некоторые существующие презентационные комплексы [1]:

### **2.1. *CyberStage***

CyberStage [2] (рис. 1) — это проекционная система размера комнаты (3м x 3м x 2.4м), которая включает:

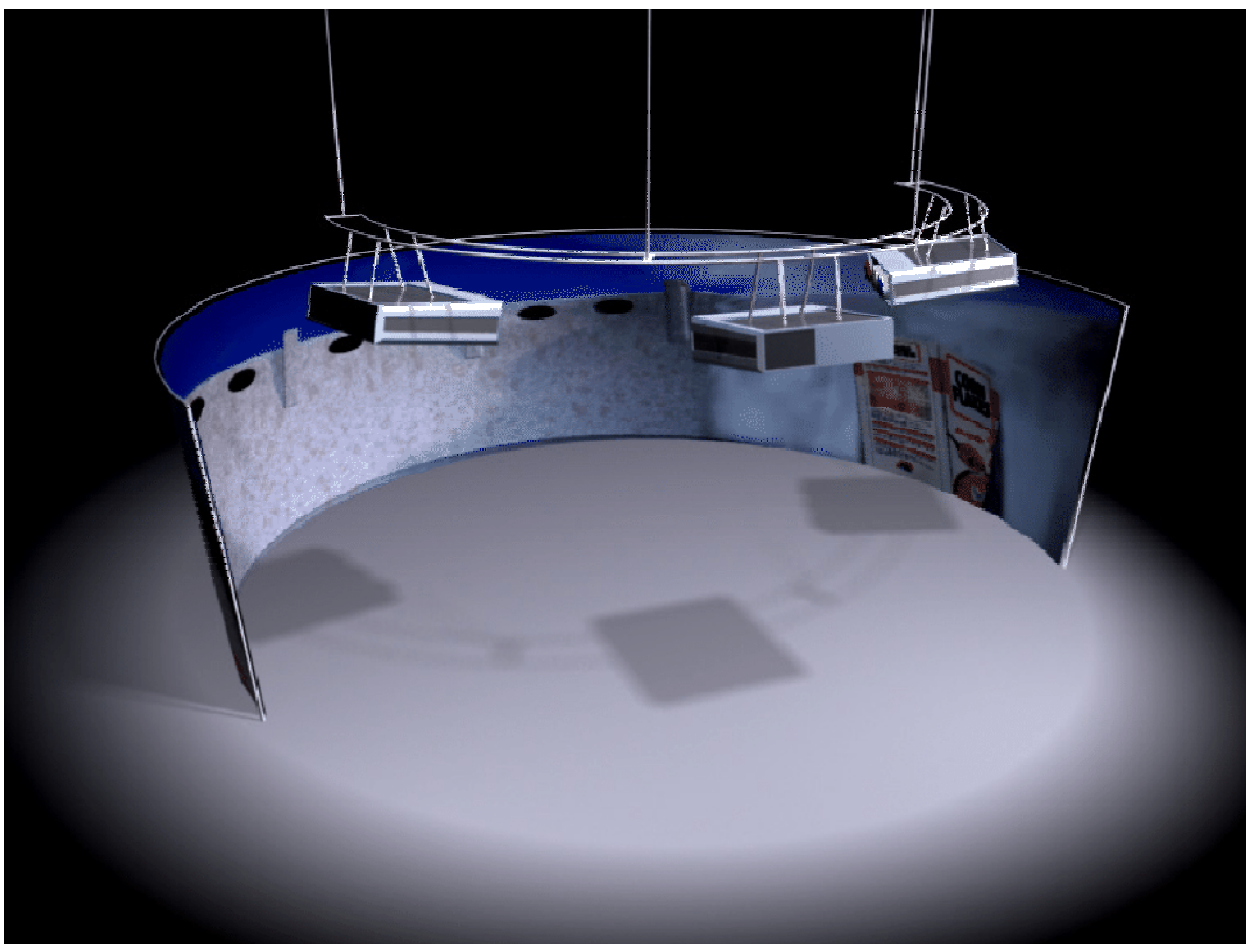
- четырёхстороннюю CRT-проекцию активных стереоизображений со стерео-очками (Crystal Eyes), используемыми для объёмного восприятия;
- восьмиканальную пространственную проекцию звука, дополненную излучателями вибрации, встроенными в пол;
- датчики Polhemus Fastrak, контролирующие положение и ориентацию глаз пользователя и различных устройств взаимодействия (указка, джойстик и т.п.);
- суперкомпьютер SGI Onyx 2 с четырьмя графическими подсистемами Infinite Reality 2 и двенадцатью процессорами MIPS R12000, производящими четыре изображения 1280 x 1024 пикселей с частотой 120 Гц. Каждая подсистема в пиковом режиме генерирует 11 млн. треугольников в секунду.



*Рис. 1. Система CyberStage*

## **2.2. i-CONE**

i-CONE [3] — это проекционная система полного погружения, использующая прямую бесшовную проекцию активных стереоизображений на широкоугольный (230°) искривлённый экран (рис. 2).



*Рис. 2. Система i-Cone.*

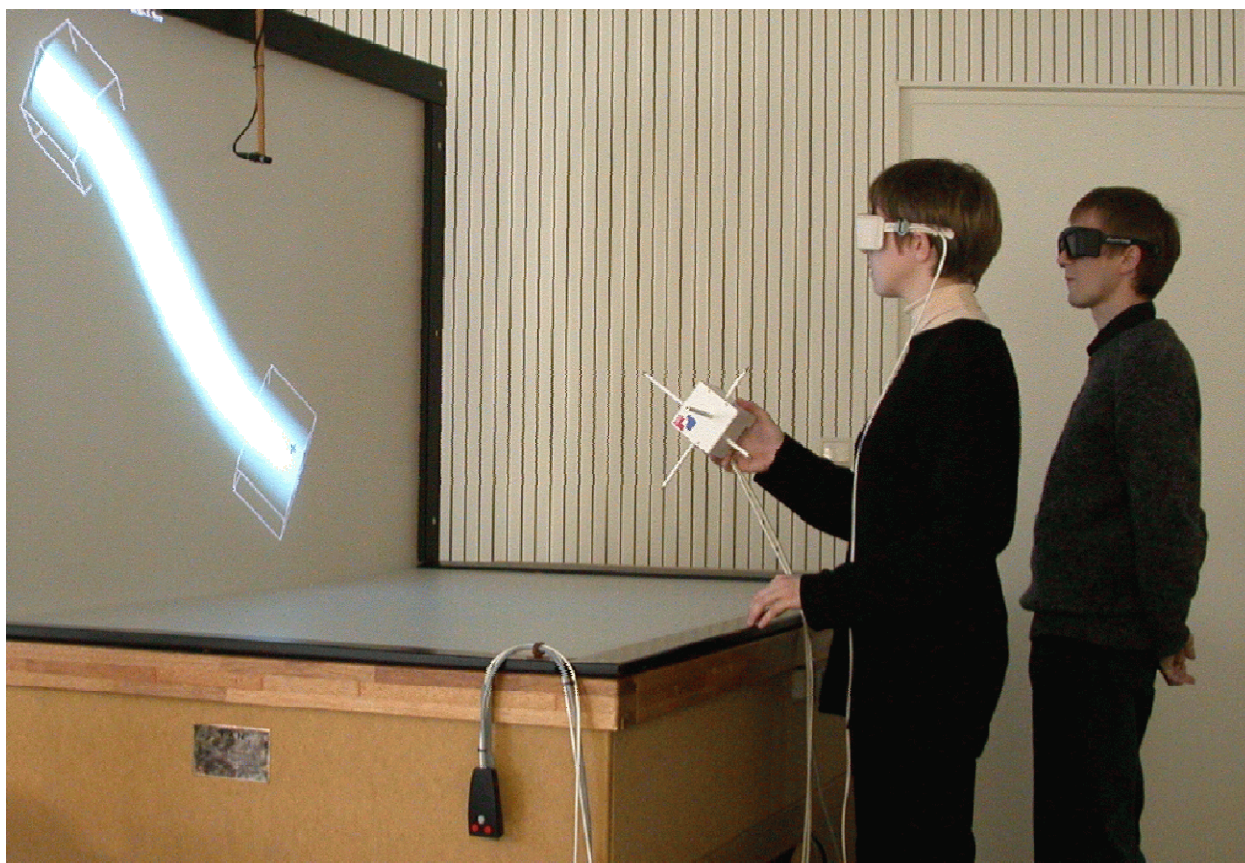
Высота экрана 2.8м, радиус кривизны нижнего края 2.9м, верхнего — 3.3м. Полный размер полученного изображения 5760x1320 пикселей. Другие характеристики оборудования i-CONE аналогичны CyberStage.

### ***2.3. Responsive Workbench***

Responsive Workbench [2] — это двух-экранная активная стерео-проекционная система. Для компактификации установки используется система больших зеркал высокого качества. В качестве основного графического вычислителя в этой системе может использоваться суперкомпьютер SGI Onyx с двумя графическими подсистемами Infinite Reality, производящий два изображения 1280x1024 пикселей с частотой 96 Гц. Электромагнитный датчик фирмы Polhemus, у которого измеряются все 6 степеней свободы, т.е. положение и ориентация, прикреплен к стерео-



очкам. Это позволяет системе вычислить перспективно правильное изображение для любого положения пользователя. Пользователи взаимодействуют напрямую с 3-мерными виртуальными объектами, находящимися в поле зрения, используя устройства ввода, у которых аналогичным образом измеряются положение и ориентация. Традиционные области применения Responsive Workbench — медицинская, инженерная, архитектурная визуализация (рис. 3).



*Рис. 3. Система Responsive Workbench.*

#### **2.4. Teleport**

Teleport [3] — это более простая мобильная проекционная система выставочного типа, использующая:

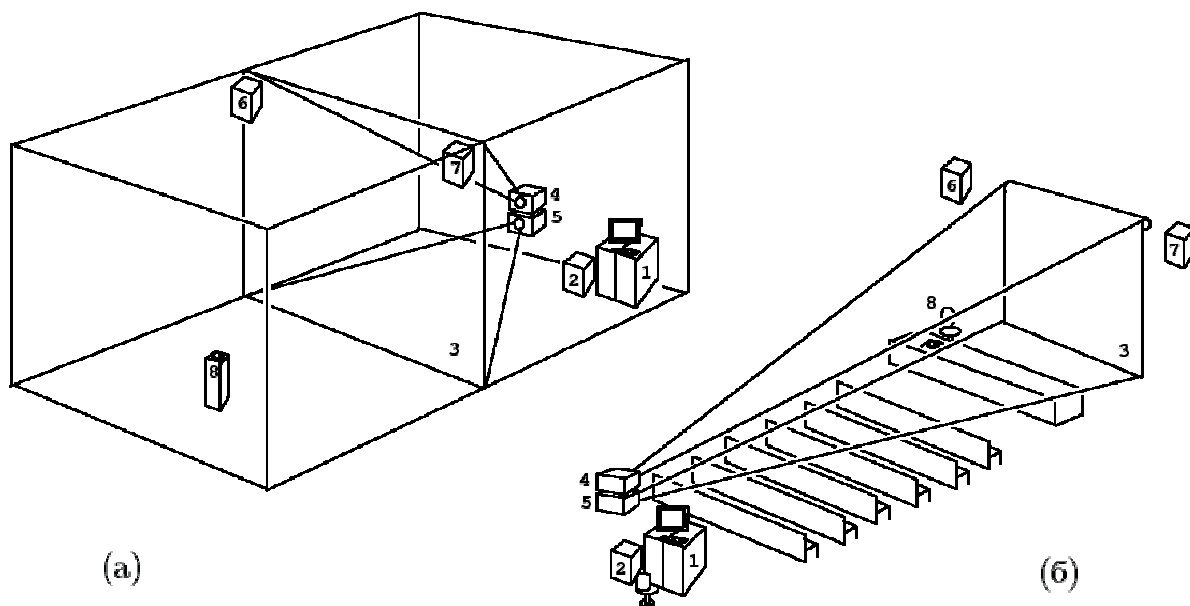
- одностороннюю обратную проекцию активного или пассивного стереоизображения;
- компьютер SGI Octane или Onyx, графическая подсистема MXI или Infinite Reality, производящие два изображения 1024x768 пикселей с частотой 96 Гц;
- вспомогательный компьютер SGI O2 для синтеза звукового сопровождения;

В качестве альтернативы к SGI компьютерам может быть использован более доступный Linux PC кластер.

## 2.5. *VEonPC*

VEonPC [4] — это менее дорогостоящая, но также весьма эффективная мобильная система виртуального окружения, состоящая из

- проекционной системы, включающей два LCD или DLP проектора, снабжённых поляризационными фильтрами, специальный экран, обладающий наименьшими деполяризующими свойствами, прямую проекцию изображения, поляризационные очки;
- две графические станции HP X4000 с графическими подсистемами ATI FireGL4, или Pentium4 с GeForce4 Ti4600, производящими два изображения 1024x768 пикселей с частотой 85 Гц (что в данной конфигурации отвечает скорости обновления изображения 85 кадров в секунду для каждого глаза);
- вспомогательный вычислитель, используемый для синтеза звуковых эффектов, выполняющий также роль файл-сервера и маршрутизатора.



*Рис. 4. Принципиальные схемы мобильных систем виртуального окружения: (а) обратная проекция, (б) прямая проекция. Цифрами на рисунке обозначены: (1) основной графический вычислитель (SGI-компьютер или Linux-PC кластер); (2) вспомогательный вычислитель для синтеза звуковых эффектов; (3) экран из специального материала, обладающего минимальными деполяризующими свойствами; (4,5) проекторы, снабжённые поляризационными фильтрами; (6,7) аудиосистема (динамики); (8) устройства ввода и управления (мышь, джойстик, трекбол).*

Для создания иллюзии присутствия в виртуальном пространстве системы виртуального окружения используют различные интерфейсы и метафоры взаимодействия. С помощью этих интерфейсов осуществляется передвижение внутри виртуальных пространств и манипулирование виртуальными объектами.

### 3. Terminal V

Одним из примеров презентационной системы является также комплекс Terminal V (рис. 5, 6), находящийся в Австрии и описанный на сайте [5]. Он представляет собой демонстрационный зал со зрительными местами, обращенными к трем соединенным экранам, стоящим под углом в 120 градусов — фронтальному, левому и правому (рис. 7, 8).

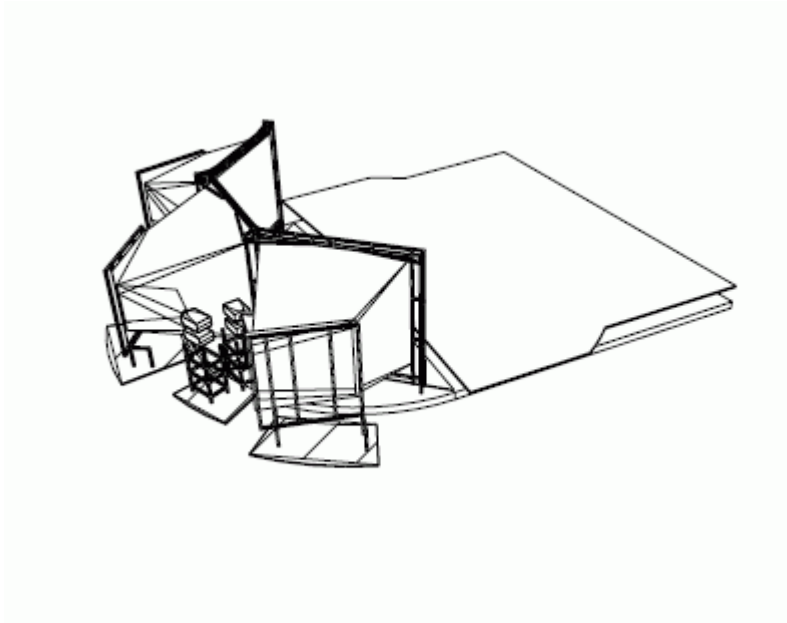


*Рис. 5. Вид Terminal V*

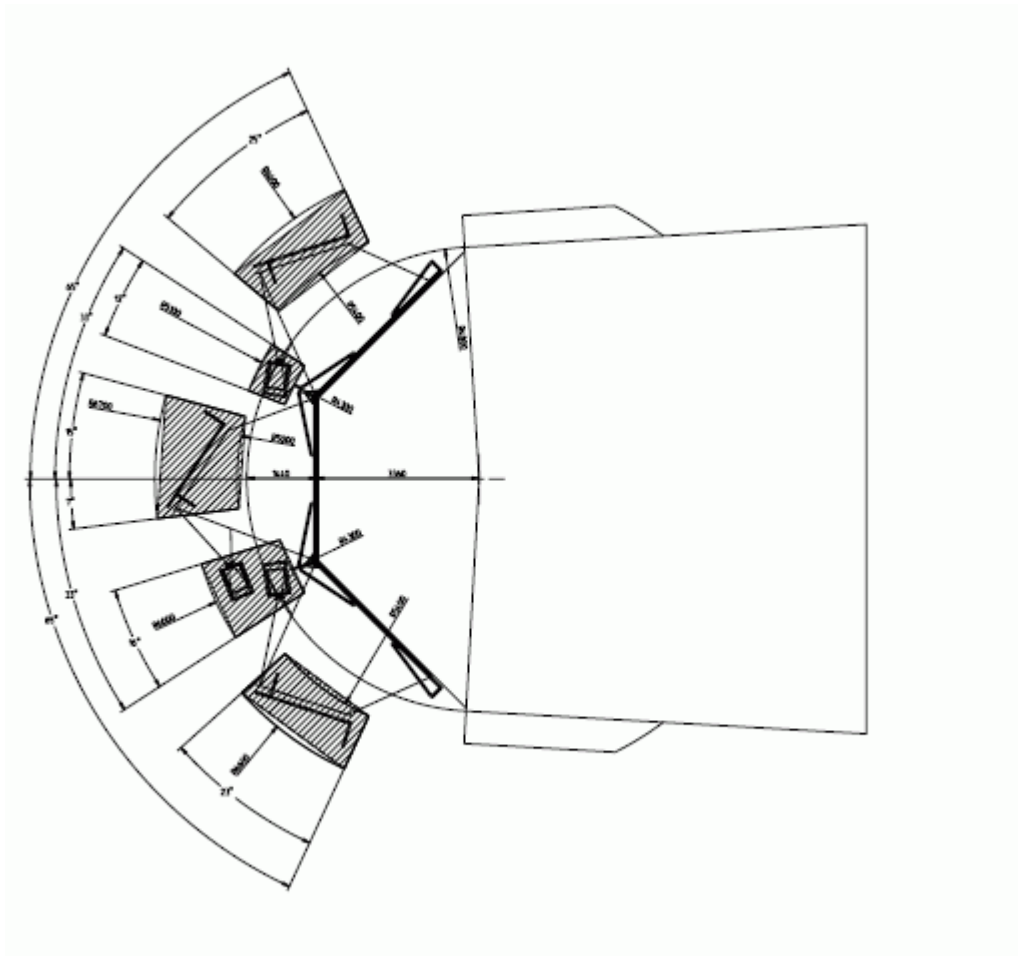


*Рис. 6. Зрительный зал Terminal V*

Этот комплекс управляется системой из семи компьютеров, объединенных в локальную сеть. Два из них управляют выводом стереокадра на фронтальный экран: первый компьютер выводит правый канал стереокадра фронтального экрана, второй — левый канал стереокадра фронтального экрана. Соответственно, два следующих компьютера выводят стереокадр на левый экран, и еще два — на правый. Все эти шесть серверных компьютеров, выводящие изображения на экраны комплекса, управляются основным мастер-компьютером, подключенным к обычному монитору (место оператора презентационного комплекса).



*Рис. 7. Техническая схема трех экранов Terminal V*



*Рис. 8. Техническая схема трех экранов Terminal V (вид сверху)*

Таким образом, система предназначена для показа протяженных панорамных стереокадров, где каждый результирующий стереокадр состоит из трех частей (левый, правый и фронтальный экран соответственно) и управляемого оператором с помощью компьютера с обычным монитором (рис. 9).



*Рис. 9. Проведение стерео презентации в зале Terminal V*

Какие же специфические проблемы встают при разработке программного обеспечения для системы Terminal V? Это, во-первых, разделение стереокадра на три составляющие и во-вторых, синхронизация вывода изображения. В то время, как решение первой проблемы достаточно очевидно в данном случае, рассмотрим специфику второй подробнее.

Известно, что при генерации кадра системами, работающими в режиме реального времени, используется так называемая система с двойной буферизацией, когда расчет и отображение каждого последующего кадра

происходит в так называемом «заднем буфере» (back buffer), невидимом на экране. Таким образом, зритель не наблюдает промежуточных состояний неоконченного расчета и отображения кадра (которые могут занимать достаточно продолжительное время). И только когда кадр полностью рассчитан, происходит практически мгновенный обмен буферов (swap buffers) и содержимое заднего буфера мгновенно выдается на экран. Тем временем система начинает расчет следующего кадра, и так далее.

В случае расчета частей одного и того же кадра несколькими компьютерами (семи в случае Terminal V) возникает проблема синхронизации процесса обмена буферов. Время расчета части кадра напрямую зависит от сложности участка сцены, попавшего в эту часть. Естественно, какому-то из компьютеров достанется более сложный для расчетов участок, и таким образом этот компьютер потратит на расчет своего участка большее время, чем другие. В общем случае все компьютеры закончат расчет своих участков кадра в разное время. И если не производить контроль обмена буферов для всей системы, мы получим хаотически рассогласованную картину смены кадров правого, фронтального и левого экранов, причем несогласованность возрастает, учитывая наличие стерео каналов (правый/левый на каждый экран).

#### **4. Методы решения для комплекса Terminal V.**

Как отмечается в [1], основным требованием, предъявляемым к программному обеспечению подобных систем, является высокая скорость графической обработки, интерактивная визуализация сложных сцен, а также эффективная синхронизация параллельно исполняемых процессов. К сожалению, каждая из систем, описанных выше, обладает совершенно различными особенностями. Каждый комплекс управляется достаточно

уникальным и индивидуальным аппаратным обеспечением. Таким образом, решения, выработанные для одних систем (например, для VeonPC), как правило, не могут быть использованы при решении проблемы управления другими системами (например, комплексом Terminal V). Уникальностью Terminal V является управление системой с помощью семи отдельных компьютеров, объединенных в локальную сеть. Тем не менее, некоторые решения могут найти применение при разработке программного обеспечения для новых систем презентации, построенных аналогично Terminal V.

Какие же существуют пути решения возникающей проблемы генерации результирующего стереокадра в комплексе Terminal V? Их, фактически, два: это аппаратный и программный.

***Аппаратное решение.*** Компанией nVidia разработано семейство видеокарт Quadro G-Sync [6].

NVIDIA Quadro G-Sync является дополнительной видеокартой, которая предоставляет функциональность Framelock/Genlock, синхронизацию вывода изображения из буфера кадров с частотой обновления, обеспечивая высокие уровни реалистичности, визуализации и совместных возможностей.

*Frame lock* синхронизирует каналы отображения из многочисленных рабочих станций, а также создает один большой виртуальный дисплей, который управляется многосистемным кластером для возможности масштабирования производительности.

*Genlock* синхронизирует графический выход с внешним источником, обычно это необходимо для фильмов и телевещательных приложений.

Синхронизация кадра видеокарт NVIDIA Quadro FX 4400G и Quadro FX 3000G позволяет синхронизировать вывод кадров на нескольких мониторах, а также синхронизировать одну или несколько систем с общим источником синхронизации (рис. 10).



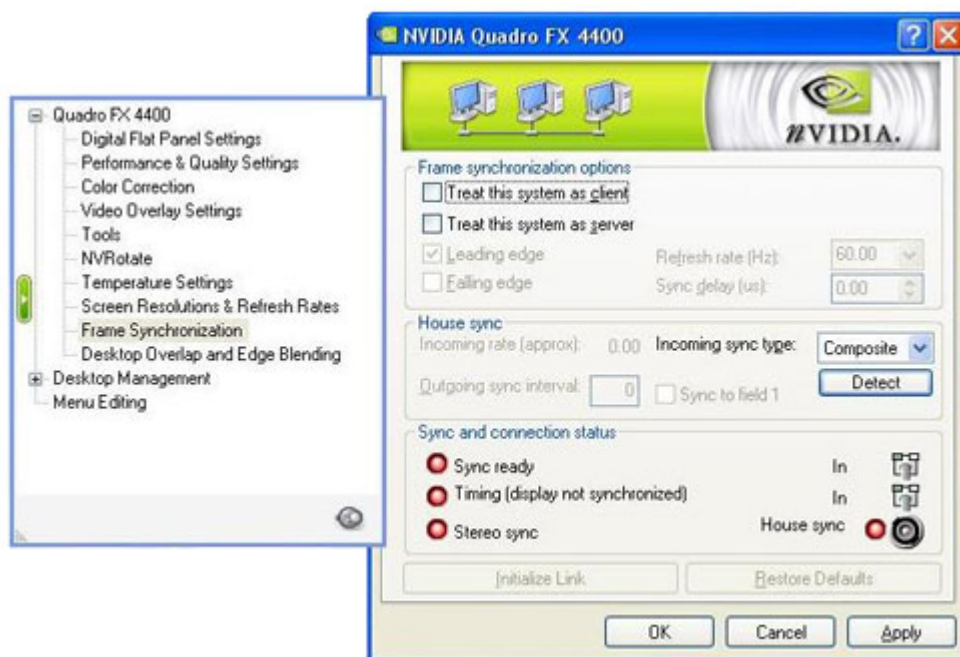


Рис. 10. Панель Управления Кадровой Синхронизации

Синхронизация отображения используется для синхронизации обмена данными буферов различных окон приложений. При этом необходимо, чтобы дисплеи были синхронизированы с точностью до кадра. С помощью синхронизации отображения приложения, работающие на нескольких системах, могут синхронизировать обмен данными буферов между системами. Для синхронизации отображения функция frame lock должна быть включена для графических систем и свопинг буферов должен осуществляться одновременно. Отсутствие синхронизации отображения вызывает блочное представление телепередачи, что снижает общее качество изображения. Решение NVIDIA позволяет пользователю или приложению назначать одну из систем главной, а остальные системы, соответственно, подчиненными.

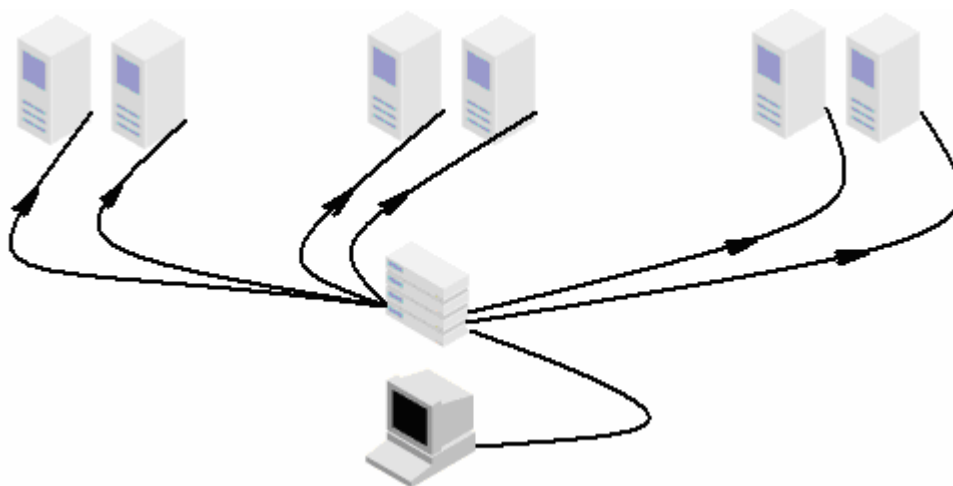
Передача сигнала для синхронизации отображения осуществляется в NVIDIA Quadro FX, поэтому задержка минимальна. Это гарантирует, что все используемые графические карты синхронизируются к одной и той же скорости передачи данных, и что пиксели выводятся одновременно.

Таким образом, используя возможности G-Sync, проблема синхронизации обмена буферов может быть успешно решена.

Однако есть довольно существенный недостаток такого решения. Это высокая стоимость продуктов линии G-Sync. Например, стоимость только одной видеокарты G-Sync достигает в среднем 4—5 тысяч долларов. При условии, что в данной системе нам необходимы семь видеокарт, стоимость такого решения увеличивается на десятки тысяч долларов. Это также ограничивает применимость данного подхода к более дешевым системам презентации, построенным на аналогичном принципе (расчет кадра несколькими компьютерами, объединенными в локальную сеть).

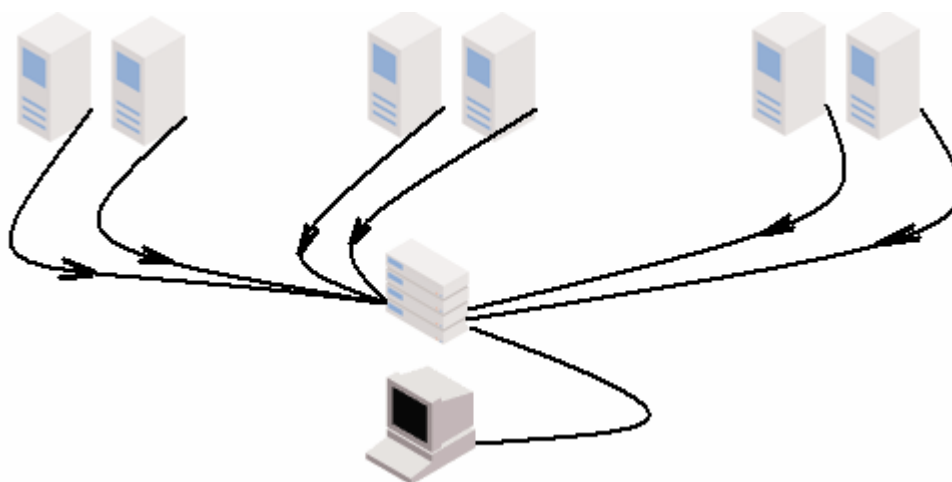
Поэтому хотелось бы иметь и другое решение данной проблемы.

**Программное решение.** Можно решить эту проблему программным путем. Принцип решения довольно прост: мастер-компьютер информирует каждый из серверных компьютеров, какую часть кадра предстоит рассчитать каждому из них (рис. 11).



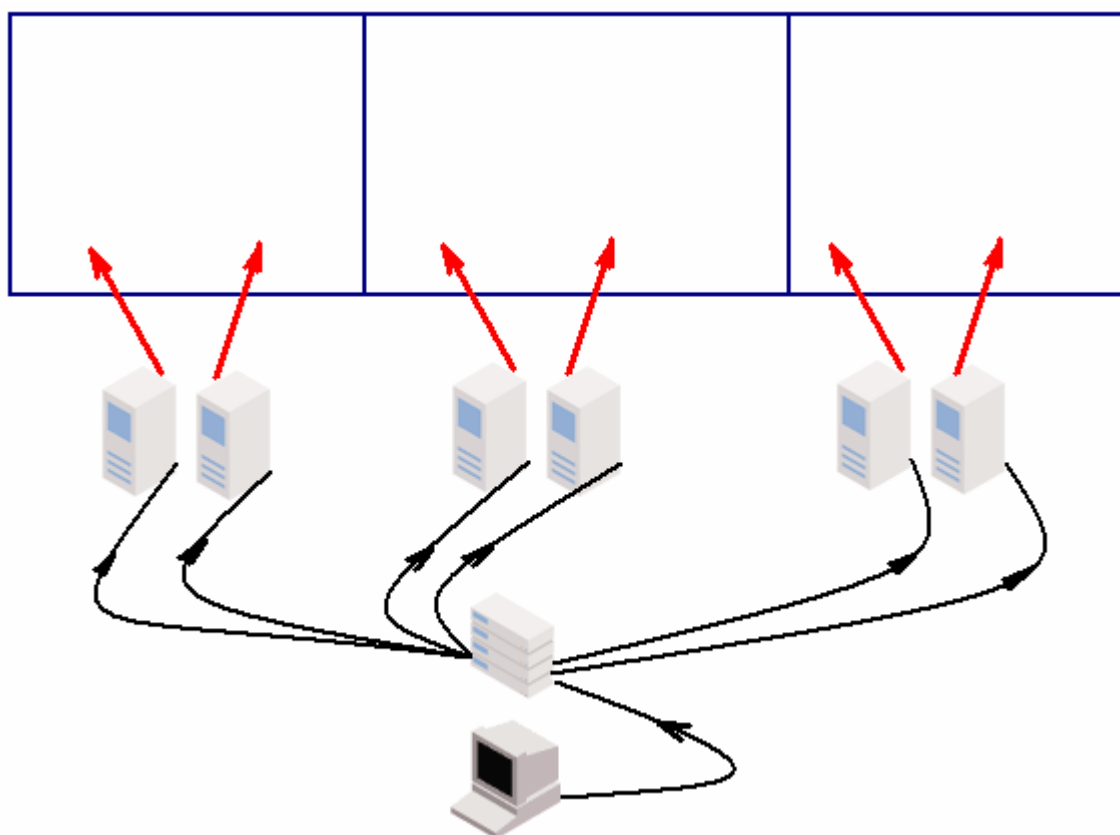
*Рис. 11. Мастер-компьютер выдает серверам задание на расчет части результирующего стереокадра.*

Каждый из серверных компьютеров вычисляет свою часть результирующего стереокадра и посылает сообщение на мастер-компьютер, не производя более никаких действий, а только ожидая ответной команды (рис. 12).



*Рис. 12. Серверы рапортуют об окончании расчета каждой части стереокадра.*

Как только мастер-компьютер получит сигнал, что все части кадра рассчитаны, он выдает команду всем серверам об обмене буферов. И результирующий стереокадр появляется без рассогласования на всех трех экранах (рис. 13).



*Рис. 13. Мастер-компьютер выдает серверам команду о показе стереокадра на соответствующие части экрана.*

Весь обмен информацией (данные, синхронизация) происходит через локальную сеть по стандартным протоколам обмена.

Такой подход удешевляет систему, позволяя отказаться от дорогостоящего дополнительного оборудования класса high-end, и соответственно, увеличивает области применения данного решения. Даже относительно дешевые видеокарты, используемые любителями компьютерных игр, вполне применимы при данном подходе. Однако описанный подход накладывает определенные требования на подсистему обмена сообщениями. В частности, ее характеристики (в том числе пропускная способность) должны быть достаточными, чтобы обеспечить максимальную синхронность передачи команды обмена буферов от мастер-компьютера к серверным компьютерам. Иначе отображение различных частей кадра может произойти не одновременно, что будет сразу же замечено наблюдателями.

## **5. Практическое воплощение решения.**

В большинстве современных систем презентаций пользователю предоставляется интерфейс достаточно высокого уровня, позволяющий ему работать со сложными сценами, не задумываясь о деталях взаимодействия с графикой нижнего уровня и системными программными интерфейсами. Разработчик отгорожен от деталей взаимодействия с низкоуровневой графикой и системными программными интерфейсами и может сконцентрироваться на разработке собственно приложения. Одной из таких высокоэффективных сред разработки является Аванго [7], используемый в комплексе VEonPC [4].

Широко распространено также использование IRIS Performer [8] и IRIS Inventor [9], особенно в комплексах под управлением компьютеров SGI. Все эти высокоуровневые средства разработки являются надстройками над

OpenGL [10], что позволяет эффективно использовать возможности аппаратного ускорения встроенных видеосистем.

Однако в нашем случае в качестве такой основы был взят разработанный в отделе машинной графики ИПМ программный комплекс FLY [11], позволяющий отображать сцены со сложной геометрией, оптически сложными материалами и разнообразными источниками освещения, включая дневной свет. Комплекс FLY поддерживает не только специфические для OpenGL атрибуты материалов сцены, необходимые для интерактивного показа в режиме реального времени (используя аппаратное ускорение), но также и оснащен модулем трассировки лучей для генерации фотореалистичных изображений.

Имеющийся в этом комплексе модуль распределенных вычислений был расширен подсистемой визуализации и подсистемой синхронизации отображения.

### **5.1. *Общая идея***

Общая идея визуализации состоит в следующем: одна и та же сцена (набор объектов со своими характеристиками поверхностей, набор источников освещения и т.д.) обрабатывается и визуализируется каждым из серверных компьютеров независимо. Разница между ними состоит в том, что каждый сервер-компьютер использует для визуализации свое положение камеры (передаваемое мастер-компьютером), соответствующее положению рассчитываемого участка на общем большом экране. Стереозображение является частным случаем многоэкранной визуализации и реализуется так же — два сервер-компьютера рассчитывают два изображения, каждый свое, соответствующие левому и правому глазам. Для этого мастер-компьютер передает серверам положение камер, слегка смещенных друг относительно друга — раздвинутых на расстояние стереобазы. В процессе показа система презентации автоматически синхронизирует показы левого и правого кадров со специальным устройством в очках, обеспечивающим попеременное

закрывание левого и правого глаза. Таким образом, левый глаз всегда видит только левые кадры, а правый — правые.

## **5.2. Особенности решения**

- Поскольку в общем случае сервера могут быть оснащены различными видеокартами (что весьма возможно в случае low-end систем), необходим механизм адаптации мастер-компьютера к возможным различиям видеосистем серверных компьютеров (разрешение, частота, глубина цвета и т.д.) для обеспечения работоспособности системы в целом.
- Мастер-компьютер должен обеспечить отображение полного набора элементов управления, позволяющих оператору производить манипуляции как с объектами сцены, так и с камерой, что необходимо для интерактивности процесса презентации. Серверы, напротив, должны показывать только результирующее изображение без элементов управления, которые в этом случае являются лишними.
- Необходимо обеспечить самовосстановление системы визуализации после сбоев сети и/или серверов без необходимости полного ее перезапуска.

## **5.3. Реализация**

После загрузки сцены мастер-компьютер передает каждому серверу эту сцену со всеми атрибутами (текстуры, свойства поверхностей, источники освещения и т.д.), так что каждый сервер имеет полную копию сцены и способен ее обсматривать независимо от других. Также передача сцены новому серверу происходит после изменения списка серверов (в случае добавления сервера).

Затем для визуализации каждого кадра выполняются три основных этапа:

1. Мастер-компьютер передает каждому серверу новые параметры камеры — ее координаты, координаты точки назначения (куда фактически направлена камера), угол поля зрения. Эти новые параметры могут быть либо рассчитаны мастер-компьютером как результат воздействия оператора на координатное устройство ввода, или вычислены автоматически как результат движения камеры по заранее заданной траектории.
2. Каждый сервер рассчитывает следующий кадр, соответствующий индивидуальным параметрам камеры, в «заднем буфере» и по окончании расчета информирует мастера о готовности кадра.
3. Мастер по получении сигнала готовности от всех серверов выдает им всем синхронную команду на отображение готового кадра.

При тестировании выяснилось, что при использовании стандартного для Windows протокола обмена RPC, используемого в 100-мегабитной сети TCP/IP, слишком велики задержки в передаче команд и данных, обусловленные стандартом и особенностями протокола TCP/IP. Так, максимальная скорость для двух серверов (то есть при использовании только стерео режима) составила 10 кадров в секунду, что недопустимо мало для обеспечения гладкого воспроизведения. Кроме того, эта скорость падает еще больше с увеличением числа серверов. Проблему можно было бы решить, перейдя на более скоростную версию протокола TCP/IP (1 гигабайт в секунду), однако был выбран другой путь: организация обмена командами для высокоскоростной синхронизации серверов на основе протокола UDP, используемого в той же 100-мегабитной сети TCP/IP. Недостатками UDP по сравнению с TCP/IP (отсутствие подтверждения приема данных, т.е.

возможная потеря пакетов) можно пренебречь при условии работы в локальной сети, где потери пакетов минимальны.

#### 5.4. Детали реализации

Задание серверов, участвующих в процессе визуализации, происходит следующим образом. На первом этапе выбираются сервера, участвующие в совместной визуализации (рис. 14). Программа проверяет, способен ли указанный сервер участвовать в визуализации (т.е. что на нем установлен и активирован соответствующий программный модуль), и в случае положительного результата, указанный сервер добавляется в список.

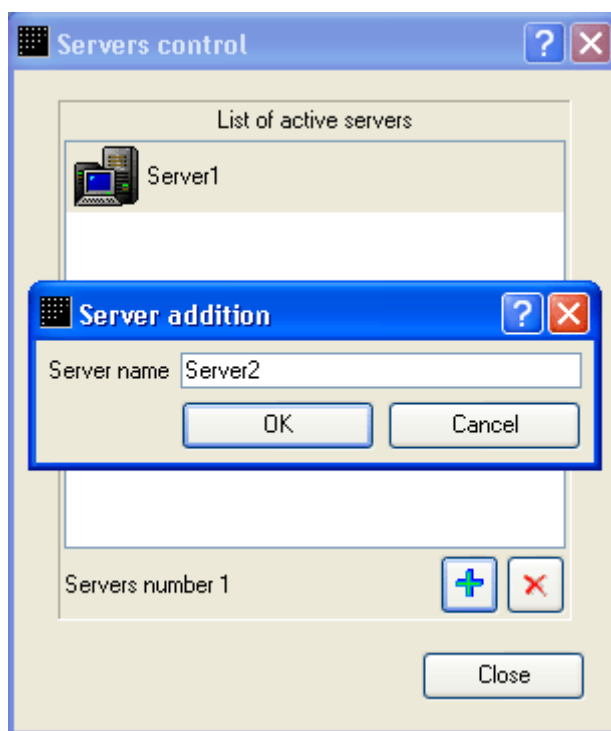
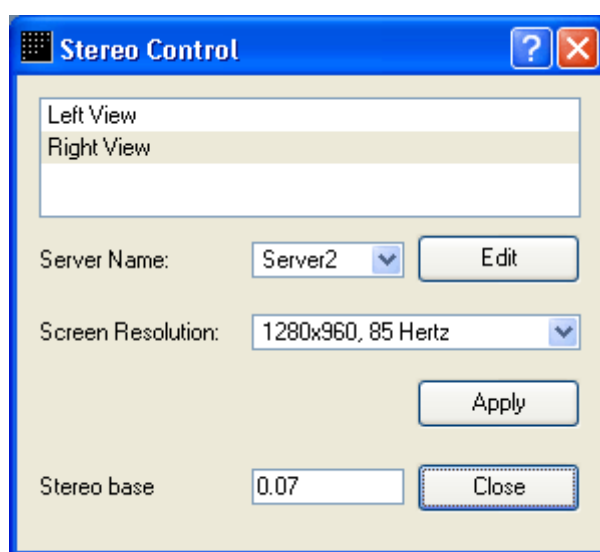


Рис. 14. Панель задания серверов

На втором этапе выбираются параметры стереоизображения (рис. 15). Пользователь (оператор) указывает соответствие серверов каналам (т.е. какой



сервер будет производить расчет кадра для левого глаза, а какой — для правого). Задается разрешение и частота обновления экрана для каждого сервера (предварительно мастер-компьютер запрашивает серверы обо всех возможных разрешениях и частотах, и указанные параметры выбираются пользователем из списка, что позволяет исключить проблемы, связанные с указанием заведомо не поддерживаемого разрешения). Здесь же указывается величина стереобазы, иначе говоря, расстояние между виртуальными «глазами», в качестве которых выступают камеры.



*Рис. 15. Панель задания параметров стереоизображения*

После завершения процесса настройки серверов все изменения в сцене, производимые на мастер-компьютере, синхронно рассчитываются и отображаются на экранах, связанных с серверными компьютерами.

## **6. Заключение**

Основная цель данной работы была сформулирована исходя из специфики использования презентационного комплекса Terminal V: осуществить демонстрацию на комплексе трехмерных изображений,

смоделированных с физически аккуратной картиной глобальной освещенности объектов, без использования дополнительных дорогостоящих аппаратных средств.

Для достижения этой цели было разработано и воплощено программное решение, позволяющее осуществить требуемую демонстрацию на оборудовании, штатно входящем в комплект презентационного комплекса.

Система была успешно опробована на оборудовании комплекса Terminal V. На рис. 16-17 показаны примеры демонстраций физически аккуратных изображений виртуальных сцен.



*Рис. 16. Стереοизображение компьютерной модели автомобиля, «встроенной» в реальный природный ландшафт. В качестве источника освещения используется изображение сцены с большим динамическим диапазоном[12].*



*Рис. 17. Стереοизображение архитектурной сцены.*

Версия статьи с цветными иллюстрациями размещена по адресу  
[http://www.keldysh.ru/pages/cgraph/publications/cgd\\_publ.htm](http://www.keldysh.ru/pages/cgraph/publications/cgd_publ.htm)

Работа была частично поддержана компанией INTEGRA Inc. (Япония).

## Литература

- [1] НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ по теме НИР 4.10 - 46  
*«Разработка и создание системы виртуального окружения на кластере персональных компьютеров для задач атомной науки и техники»*. МФТИ, Москва — Долгопрудный, 20 декабря 2004. (рук. Бугаев А.С., отв. исп. Клименко С.В.)  
<http://www.sim-mipt.ru/content/972/repAtom04.html>
- [2] Eckel G., Gobel M., Hasenbrink F., Heiden W., Lechner U., Tramberend H., Wesche G., Wind J. Benches and Caves. In: Bullinger H.J., Riedel O. (eds.) Proc. 1st Int. Immersive Projection Technology Workshop. Springer-Verlag, London, 1997.
- [3] <http://www.imk.fraunhofer.de>
- [4] Труды 1-ой Международной Конференции По Системам Виртуального Окружения На Кластерах Персональных Компьютеров. VE on PC 2001. Протвино, 22-25 сентября 2001 г., Институт Физико-Технической Информатики, 2001.
- [5] <http://www.terminalv.at>
- [6] [http://www.nvidia.ru/products/QuadroFX/qfx\\_g\\_sync.shtml](http://www.nvidia.ru/products/QuadroFX/qfx_g_sync.shtml)
- [7] H. Tramberend, Avocado: A Distributed Virtual Reality Framework, Proc. of the IEEE Virtual Reality, 1999.

- [8] J.Rohlf and J.Helman. IRIS Performer: A High Performance Multiprocessing Toolkit for Real Time 3D Graphic. In A. Glassner, editor, Proceedings of SIGGRAPH '94, pp. 381-395.
- [9] Strauss, P. S. IRIS Inventor, A 3D Graphics Toolkit. In Proceedings of the 8th Annual Conference on Object-Oriented Programming Systems, Languages and Applications (Washington, DC, USA, Sept.26 Oct.–1 1993), A. Paepcke, Ed., ACM Press, pp. 192–200.
- [10] Neider, J., Davis, T., and Woo, M. OpenGL Programming Guide. Addison-Wesley, Reading MA, 1993.
- [11] Ignatenko A., Barladian B., Dmitriev K., Ershov S., Galaktionov V., Valiev I., Voloboy A. A Real-Time 3D Rendering System with BRDF Materials and Natural Lighting. Proc. GraphiCon-2004 -14-th International Conference on Computer Graphics and Vision, Moscow, 2004, pp.159-162.
- [12] А.Г. Волобой, В.А. Галактионов, Э.А. Копылов, Л.З. Шапиро Моделирование естественного дневного освещения, задаваемого изображением с большим динамическим диапазоном. - Препринт ИПМ им.М.В.Келдыша РАН, № 111, Москва, 2005.