

А.А. Лукьяница, кандидат физико-математических наук

Трехмерная виртуальная реальность в электронных тренажерах военного назначения

В статье рассматривается возможность применения в военных тренажерах автостереоскопических устройств для отображения трехмерных изображений. Рассмотрены устройства двух типов – стереодисплей и проекционная система, позволяющие создавать трехмерную виртуальную реальность в достаточно широкой области без применения обучаемым каких-либо дополнительных устройств (стереоочков и пр.).

В настоящее время не вызывает сомнений, что применение электронных тренажеров для подготовки военных специалистов различного уровня позволяет не только ускорить процесс обучения и повышения воинского мастерства, но также существенно сэкономить материальные ресурсы [1, 2]. Вместе с тем, задачи подготовки военных специалистов предъявляют все более высокие требования к реалистичности отображения боевой обстановки в ходе формирования у обучаемого навыков управления конкретным образцом вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) либо решения им задач управления подчиненными силами и средствами.

До недавнего времени в тренажерах в качестве источника отображения окружающей реальности использовались обычные дисплеи или экраны проекционных систем, которые позволяли воспроизводить лишь плоское изображение, не дающее ощущения реальности происходящего в процессе обучения и не позволяющее обучаемому в полной мере интегрироваться в процесс тренировки. В настоящее время существует ряд устройств (как дисплеев, так и проекционных систем), позволяющих отображать трехмерную информацию. Эти устройства, как правило, требуют наличия специальных очков (поляризационных или затворного типа), что сдерживает их применение во многих тренажерах. Если обучаемому кроме экрана нужно переносить взгляд на другое оборудование, стереоочки в этом случае играют отрицательную роль, поскольку искажают

восприятие отдельных элементов тренажерного комплекса, создают определенное неудобство обучаемому и, в конечном итоге, могут способствовать закреплению тех навыков, которые не в полной мере будут соответствовать требуемым. Выходом из создавшегося положения может служить использование так называемых автостереоскопических устройств, в которых не требуются стереоочки. На рынке существует несколько типов таких дисплеев, основанных либо на использовании щелевой маски, либо микролинзового раstra. Этим устройствам присущи два основных недостатка: очень узкая зона, в которой наблюдается стереоэффект, и снижение реального разрешения стереодисплея в два раза по сравнению с исходными изображениями (за счет того, что на каждый глаз наблюдателя проецируется половина пикселей исходного изображения). С проекционными стереосистемами ситуация еще более печальная: они полностью отсутствуют на современном рынке.

В настоящей работе рассматривается возможность применения в тренажерах автостереоскопических систем нового типа: дисплей, состоящий из двух жидкокристаллических панелей, а также проекционная система, основанная на применении ретрорефлекторного экрана. Эти устройства позволяют наблюдать трехмерную сцену в достаточно широкой зоне, и не требуют использования специальных очков либо иных дополнительных (не связанных непосредственно с изучаемым образцом ВВСТ) приспособлений.

3D дисплей

Дисплей состоит из двух жидкокристаллических (LCD) панелей, между которыми помещена маска-диффузор. Панели подключены к компьютеру. На них выводятся специальные изображения, рассчитанные с помощью ис-

кусственной нейросети таким образом, что в заданной области перед дисплеем формируется световое поле, которое исходило бы от трехмерного объекта, находящегося за экраном. Схема устройства этой системы приведена на рисунке 1.

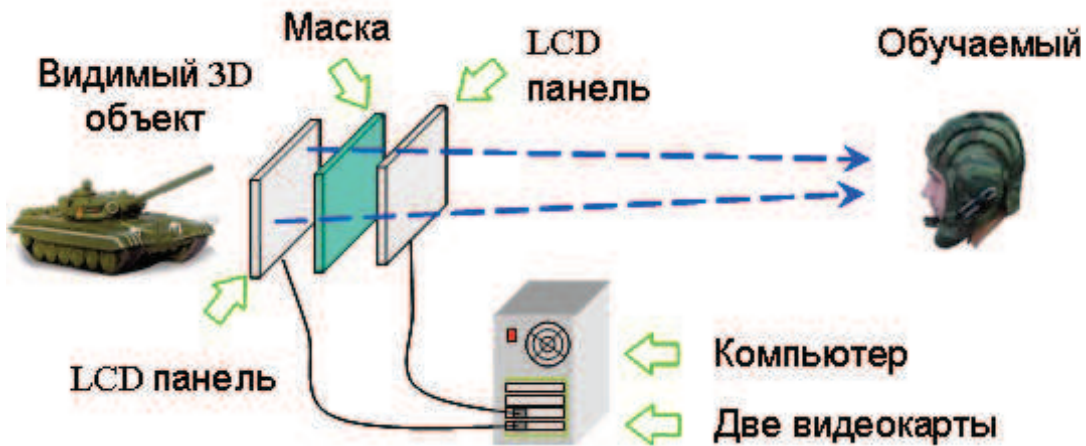


Рисунок 1 – Устройство стереосистемы, основанной на двух жидкокристаллических экранах

В качестве нейросети может использоваться либо специальная плата, либо ее программная реализация. На вход нейросети подаются, по крайней мере, два стереокадра (либо большее число ракурсов объекта), а с выхода снимаются изображения для переднего и заднего экранов. Изображение для каждого глаза

является суммой изображений на двух панелях и маски. А поскольку дисплеи смещены на нужное расстояние, картинки для левого и правого глаз отличаются. Процесс формирования объемного изображения на стереодисплее продемонстрирован на рисунке 2.

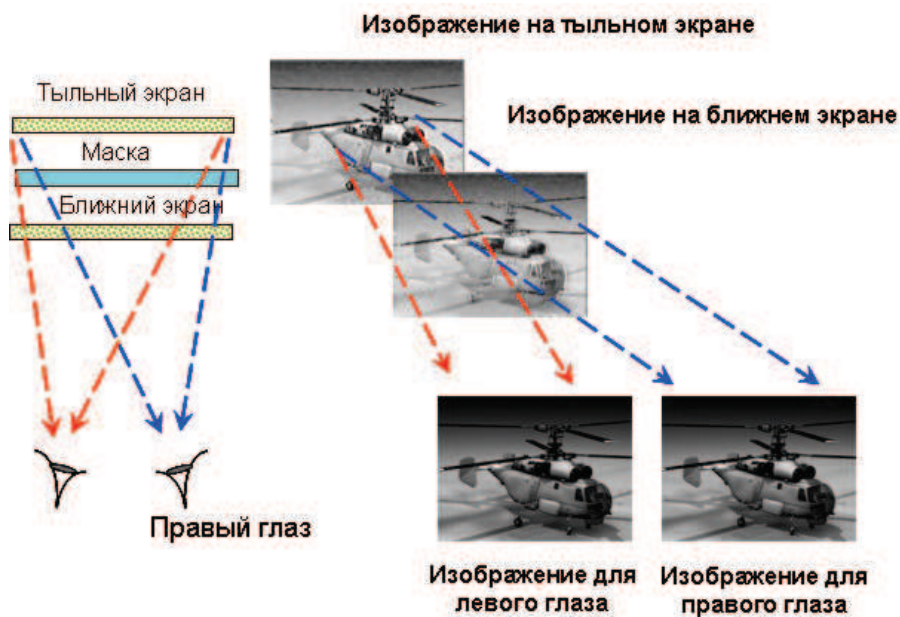


Рисунок 2 – Процесс формирования объемного изображения на стереодисплее

На приведенных выше иллюстрациях видно, что изображения, сформированные нейропроцессором для переднего и заднего экранов, отличаются как друг от друга, так и исходных изображений, которые должны попасть в левый и правый глаза. Маска является диффузором и нужна для подавления муара и небольшого размытия тыльного изображе-

ния, что позволяет увеличить зону, в которой видно объемное изображение. Задача, возложенная на нейросеть, – по заданной стереопаре при фиксированных параметрах дисплея и заданных размерах области, в которой нужно сформировать объемное изображение, найти изображения для переднего и заднего экранов, как это показано на рисунке 3.

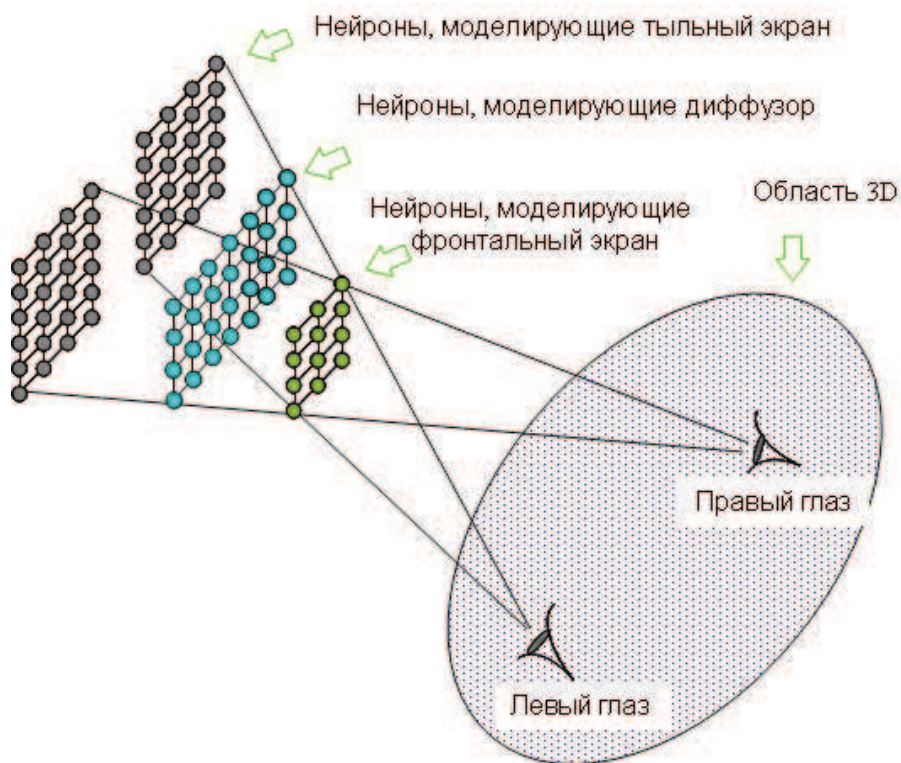


Рисунок 3 – Нейросеть, моделирующая стереодисплей

Нейросеть моделирует геометрические параметры дисплея, т.е. пространственное расположение пикселей переднего и заднего экранов и маски. В процессе настройки минимизируется функция ошибки нейросети, которая включает в себя как информацию об изображениях для левого и правого глаза, так и заданные пользователем параметры зоны объемного видения: ширину, удаленность от экрана дисплея, а также глубину объема. Как видно из приведенной выше картинке, каждый нейрон участвует в формировании нескольких фрагментов изображения. Изменение сигнала любым нейроном вызывает изменение сигналов всех остальных нейронов. Проведенные нами исследования [3] пока-

зали, что задача не имеет единственного решения. Для выделения оптимального состояния нейронов из всех возможных применяется метод регуляризации.

Архитектура предложенной нейросети представлена на рисунке 4.

Здесь скрытые слои, обозначенные буквами F , B и M , соответствуют передней (Front) панели, задней (Back) панели и маске (Mask). Динамика нейросети описывается следующими соотношениями:

$$X_j = T \left(\sum_i W_{ij} Inp_i \right) = \begin{pmatrix} F_j \\ M_j \\ B_j \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где X_j – выход скрытых слоев;

T – передаточная функция;
 W_{ij} – веса связей нейросети;
 Inp_i – интенсивность источника света, попадающего на i -й пиксель тыльного экрана;

F_j – уровень активации нейронов фронтального экрана;
 M_j – уровень активации нейронов маски;
 B_j – уровень активации нейронов тыльного экрана.

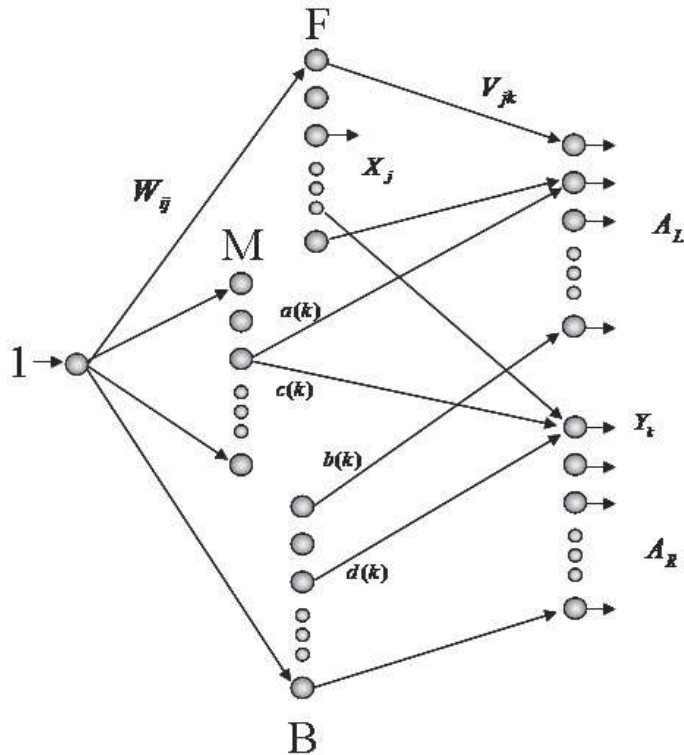


Рисунок 4 – Архитектура нейросети, моделирующей стереодисплей

Выход нейросети Y_k определяется по следующей формуле:

$$Y_k = T \left(\sum_j V_{jk} X_j \right), \quad (2)$$

где V_{jk} – веса связей нейросети между скрытым и выходным слоями.

В качестве передаточной использовалась следующая функция:

$$T(z) = \frac{255}{1 + \exp(-\alpha z)}, \quad (3)$$

где α – параметр, характеризующий кривизну характеристики передаточной функции нейронов.

Ошибка нейросети E определяется следующим соотношением:

$$E = \sum_k (Y_{L,k} - L_k)^2 + \sum_k (Y_{R,k} - R_k)^2 + \beta \left(\sum_k Y_{L,k}^2 + \sum_k Y_{R,k}^2 \right), \quad (4)$$

где L_k и R_k – пиксели изображений стереопары соответственно для левого и правого глаз;

$Y_{L,k}$ и $Y_{R,k}$ – выходные сигналы соответствующих нейронов;

β – параметр регуляризации, обеспечивающий гладкость получаемых изображений.

Для настройки нейросети был разработан ряд алгоритмов, являющихся различными модификациями метода градиентного спуска, минимизирующими функцию ошибки (4). В качестве вычислителя использовался либо процессор компьютера, к которому подключен стереодисплей, либо стандартный графический акселератор видеокарты. В последнем случае удалось добиться скорости обработки 30 полноэкранных изображений в секунду, что соответствует реальному времени.

На рисунке 5 изображен прототип 3D-дисплея.



Рисунок 5 – Прототип стереодисплея

Проекционная система

В основе этой системы лежит экран, изготовленный из ретрорефлекторного материала (для

таких материалов также используется название «катафот»), и нескольких проекторов, расположенных со стороны зрителей (рисунок 6).

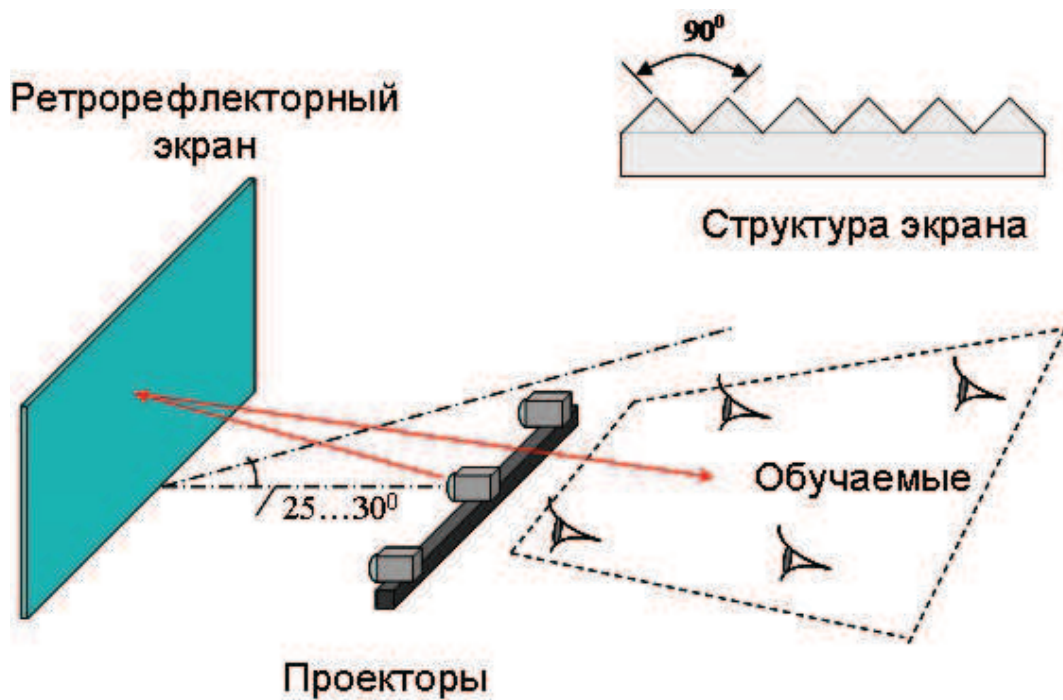


Рисунок 6 – Устройство проекционной системы (в правом верхнем углу – структура экрана, вид сверху)

Поскольку идеальный ретрорефлектор создать невозможно, всегда будет существовать рассеяние изображения в некоторый конус. Это свойство реального ретрорефлектора позволяет создать автостереоскопическую проекционную систему, поскольку каждый глаз будет видеть одновременно изображение ото всех проекторов с различной интенсивностью. На вход системы подается несколько стерео-

пар одной и той же сцены с разных ракурсов. Если этот набор стереопар преобразовать соответствующим образом, можно добиться появления объемного изображения на экране в широком диапазоне углов.

Для пояснения сути преобразования изображений рассмотрим систему, для простоты состоящую из двух проекторов P_L и P_R , изображенную на рисунке 7.

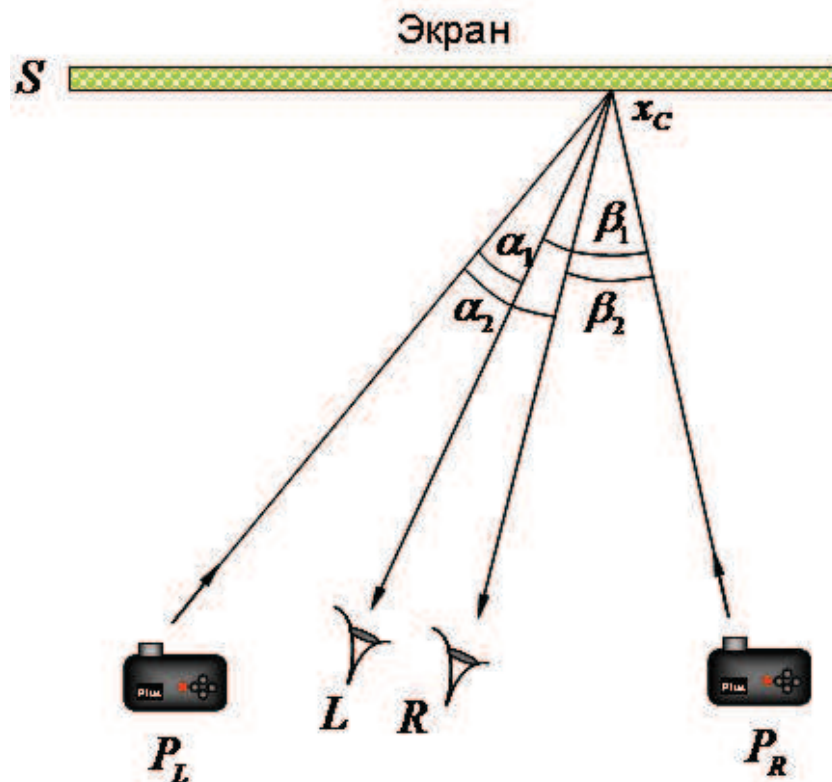


Рисунок 7 – Устройство автостереоскопической проекционной системы с ретрорефлекторным экраном. P_L и P_R – проекторы, L и R – левый и правый глаза наблюдателя

Изображения, видимые левым (I_L) и правым (I_R) глазами в произвольной точке x_c , определяются следующими формулами:

$$I_L = I_L^p K(\varphi_L - \psi_L) + I_R^p K(\varphi_L - \psi_R), \quad (5)$$

$$I_R = I_L^p K(\varphi_R - \psi_L) + I_R^p K(\varphi_R - \psi_R), \quad (6)$$

где I_L^p и I_R^p – интенсивности лучей проекторов P_L и P_R , направленных в точку x_c ;

K – функция рассеяния света ретрорефлекторным экраном;

φ_L и φ_R – углы между нормалью к экрану \vec{n} и лучами x_cL и x_cR (к левому и правому глазам);

ψ_L и ψ_R – углы между нормалью к экрану \vec{n} и лучами x_cP_L и x_cP_R (к проекторам).

Функция рассеяния света ретрорефлекторным экраном хорошо моделируется нормальным распределением:

$$K(\alpha) = P \cdot \exp\left(-\frac{\alpha^2}{\sigma^2}\right),$$

где P – величина поглощения света экраном, α – угол между источником света и наблюдателем;

σ – параметр, характеризующий рассеивающие свойства экрана.

Задача состоит в нахождении таких изображений I_L^p и I_R^p , выводимых на проекторы, чтобы левый и правый глаза видели заданные изображения D_L и D_R . Математически эта проблема может быть сформулирована в виде задачи минимизации следующего квадратичного функционала:

$$\min \Phi(I_L^p, I_R^p) = \sum_k \left[(D_{L,k} - I_{L,k})^2 + (D_{R,k} - I_{R,k})^2 \right], \quad (7)$$

где I_L и I_R определяются формулами (5), (6) с ограничениями

$$0 \leq I_L^p \leq 255, \quad 0 \leq I_R^p \leq 255, \quad (8)$$

а суммирование производится по всем пикселям изображений.

Ограничения обусловлены тем обстоятельством, что интенсивность пикселей должна находиться в диапазоне $[0, 255]$.

Задача (5)-(8) легко обобщается на случай n проекторов и m наблюдателей ($2m$ заданных изображений):

$$\min \Phi(I_1^p, \dots, I_n^p) = \sum_{i=1}^{2m} \sum_k (D_{i,k} - I_{i,k})^2, \quad (9)$$

где

$$I_i = \sum_{j=1}^n I_j^p K(\varphi_i - \psi_j), \quad i=1, \dots, 2m. \quad (10)$$

В приведенных формулах индекс i соответствует заданному изображению, индекс j –

проектору, а суммирование по k проводится по всем пикселям изображений.

На рисунке 8 изображен прототип проекционной системы. Для облегчения настройки (сведения проекторов и компенсации трапециевидных искажений) применялась специально разработанная программа, связь с которой осуществлялась за счет применения камеры.

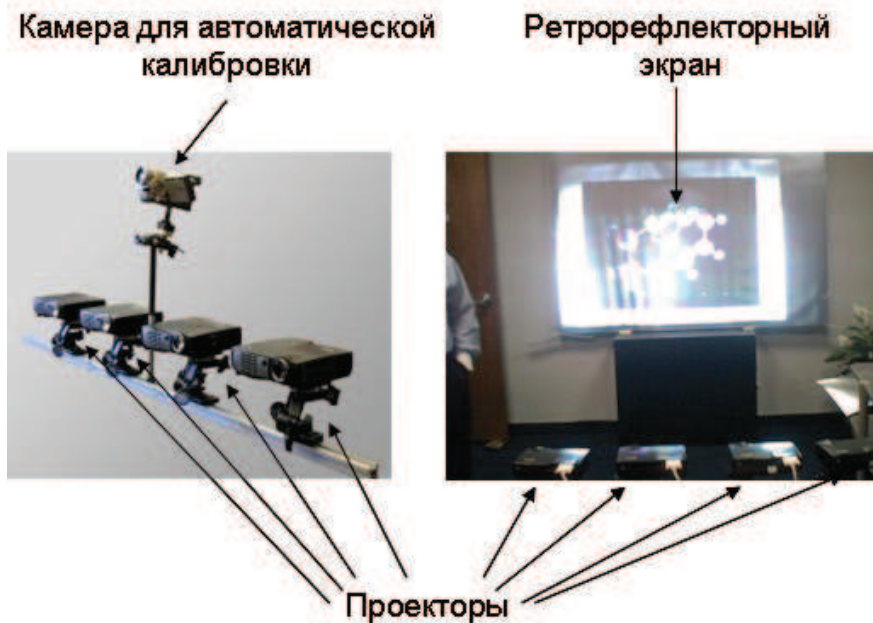


Рисунок 8 – Прототип проекционной системы

Для расчета изображений использовалась специальная нейросеть, минимизирующая функционал (9). Для ускорения расчетов использовался акселератор графической карты.

Таким образом, задача формирования 3D изображения в интересах функционирования электронного тренажера военного назначения может быть решена с помощью предложенных автостереоскопических устройств. Математический аппарат, примененный автором при решении данной задачи, подробнее рассмотрен в [4]. Применяемый в комплексе 3D-дисплей незначительно (не более, чем в 1,5 раза) превосходит по стоимости обычные LCD-мониторы, а компьютер требует лишь оснащения стандартной видеокартой с двумя видеовыходами. Данный программно-аппаратный комплекс запатентован в России и в США¹ и реализован в виде готового изделия.

1 Патент на изобретение: А.А.Лукияница, А.Н.Путилин.

За рамками данной статьи остались некоторые проблемы, связанные с настройкой 3D систем проекционного типа. Они связаны со сложностью точного сведения изображения от нескольких проекторов в одну и ту же область проекционного экрана. Разработанный автором математический аппарат для решения проблемы автоматического согласования такого оборудования будет рассмотрен автором в отдельной статье.

Способ воспроизведения изображения объекта. – Российское агентство по патентам и товарным знакам, RU 2158949 C1, 1999; А.А.Лукияница, А.Н.Путилин. Visualization of three dimensional images and multi aspect imaging. – United States Patent 6985290 B2, 2006; А.А.Лукияница, А.Н. Путилин. Three-dimensional image projection employing retro-reflective screens. – United States Patent 6843564 B2, 2005.

Список использованных источников

1. Диков С.А., Тимербулатов Т.Р., Лукьяница А.А. Компьютеры в тактической подготовке // Военный вестник. – 1989. – № 11.
2. Богдановский Н.В. Современное состояние боевой подготовки сухопутных войск и требования к ее обеспечению техническими средствами обучения // Военное обозрение. – <http://warfiles.ru/39011-sovremennoe-sostoyanie-boevoy-podgotovki-suhoputnyh-voysk-i-trebovaniya-k-ee-obespecheniyu-tehnicheskimi-sredstvami-obucheniya.html>.
3. Lukyanitsa A.A. Image synthesis for autostereoscopic systems // Computational Mathematics and Modeling. – 2012. – № 2 (23).
4. Лукьяница А.А. Математическое моделирование автостереоскопических устройств // Вопросы атомной науки и техники. Серия «Математическое моделирование физических процессов». – 2007. – № 1.