

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института автоматики
и электротехники СО РАН
академик РАН



А.М. Шалагин
“ ” 2014 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

о диссертации Савельева Владимира Валентиновича «Методы формирования и оценки качества автостереоскопических изображений», представляемой на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

(выписка из протокола семинара «Информационные технологии» от _____ 2014 г.)

Присутствовали:

д.т.н.	Потатуркин О.И. (председатель семинара)
д.т.н.	Лихачев А.В. (секретарь семинара)
академик	Шалагин А.М.
д.т.н.	Золотухин Ю.Н.
д.т.н.	Нежевенко Е.С.
д.т.н.	Соболев В.С.
д.т.н.	Твердохлеб П.Е.
д.т.н.	Пальчикова И.Г.
д.т.н.	Долговесов Б.С.
к.т.н.	Пен Е.Ф.

и другие сотрудники Института (всего 18 чел.)

Слушали: Доклад Савельева В.В. по материалам диссертации «Методы формирования и оценки качества автостереоскопических изображений», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Рецензентом работы выступил д.т.н. Соболев В.С.

В обсуждении работы приняли участие академик Шалагин А.М., д.т.н. Золотухин Ю.Н., д.т.н. Потатуркин О.И., д.т.н. Нежевенко Е.С., д.т.н. Соболев В.С., к.т.н. Пен Е.Ф.

Высказанные замечания касались содержательной части доклада, где недостаточное внимание уделено введению в вейвлет-анализ, а также графическому представлению результатов работы предложенных алгоритмов; кроме того были высказаны замечания по поводу недостаточно ясной (четкой) формулировки научно-практической задачи.

Рецензент отметил, что необходимо уделить дополнительное внимание подробному описанию метода формирования объёмных изображений и четко сформулировать основные защищаемые положения, и в тоже время назвал работу пионерской; ак. А.М. Шалагин указал на явное преобладание текста над графическим материалом, что заметно снижает качество доклада; О.И. Потатуркин обратил дополнительное внимание на принцип формирования многоакурсных изображений, а также порекомендовал акцентировать внимание на научной составляющей работы и наиболее значимых результатах, полученных в ходе ее выполнения; Е.С. Нежевенко отметил некоторые терминологические неточности; Е.Ф. Пен подтвердил значительный личный вклад автора; Б.С. Долговесов отметил недостаточное количество фотографий воспроизведенных изображений; И.Г. Пальчикова обратила внимание на возможность использования объёмного дисплея для тренировки.

Научный консультант д.т.н. Твердохлеб П.Е. отметил существенный личный вклад Савельева В.В. в получение изложенных в диссертационной работе результатов, самостоятельность и инициативу при постановке и решении научных задач, его высокую квалификацию, но в то же время указал на недостаточную точность определений.

Постановили:

Принять следующее заключение по диссертации Савельева В.В. «Методы формирования и оценки качества автостереоскопических изображений»:

1. Современные оптические методы формирования изображений позволяют воспроизводить объёмные сцены при помощи трёхмерных дисплеев.

Аппаратура и методы отображения трёхмерной информации постоянно совершенствуются. Современная тенденция развития направлена на максимальное приближение к естественному восприятию. Компромиссным решением сегодняшнего дня могут служить стереоскопические методы. В настоящее время на рынок вышли компании Samsung, LG, Sony, Sharp, Philips и др., что способствует ещё более широкому использованию трёхмерных дисплеев в промышленности и в общественных коммуникациях. Однако

необходимость использования специальных очков представляет неудобство для широкого пользователя. Поэтому в диссертации рассматриваются объёмные и многокурсовые автостереоскопические изображения, предоставляющие визуальное восприятие без очков.

Улучшение отдельных параметров дисплеев, оказывающих влияние на визуальное качество, описывается в работах других авторов, в том числе использование слежения за положением наблюдателя и вопросы согласования факторов восприятия; эффект муара рассмотрен известными авторами И. Амидрором и К. Паторским. При этом слежение сопряжено с дополнительной математической обработкой, зависимость между аккомодацией и конвергенцией оказалась более слабой, чем это принято считать; некоторые аспекты методов формирования усовершенствованы; и в отдельных ситуациях снижен эффект муара, однако единый практический подход к минимизации этого эффекта отсутствует.

Актуальность темы исследования обусловлена следующими факторами: 1) недостаточным предоставлением факторов естественного зрительного восприятия в практических устройствах, 2) качеством изображения трёхмерных дисплеев, часто более низким, чем у современных двумерных дисплеев, 3) влиянием паразитных (нежелательных) эффектов, 4) необходимостью свободного перемещения наблюдателя. В связи с этим актуальным представляется проведение комплексного исследования факторов, оказывающих основное влияние на качество, в том путём математического моделирования. Актуальность задачи формирования трёхмерных изображений и оценки их визуального качества подтверждается также значительным интересом, проявленным со стороны ведущих мировых компаний - производителей трёхмерных дисплеев.

2. Диссертационная работа выполнена в лаборатории 1-3 Института автоматизации и электрометрии СО РАН в соответствии с планом исследовательских работ при выполнении НИР в 1996 - 2003 гг.: «Исследование методов построения многопоточковых 3-D интегрально-оптических структур с перестраиваемыми оптическими связями (стандартные шины, коммуникационные сети, интегральные схемы, однородные вычислительные структуры)», № гос. рег. 01.9.60 013069; «Физико-технические основы 2-D и 3-D лазерных технологий (новые материалы и элементы для лазерных технологий, сверхразрешение, технологии оптической памяти, синтеза объёмных моделей и изображений, микро- и наноструктурирования материалов), развитие на их основе базовых лазерных технологий производства новых элементов, приборов и систем двойного применения», № гос. рег. 01.9.60 013066; а также при написании монографии «3D лазерные информационные технологии» под ред. проф. П.Е. Твердохлеба – Новосибирск, 2003 г.

3. Основные научные результаты, полученные Савельевым В.В.:

В процессе проведения исследований получены новые научные результаты:

◇ Решена задача формирования трёхмерных изображений в реальном времени новым методом на основе последовательного послойного сканирования объёма при помощи высокоскоростной комбинированной акустооптической и электромеханической системы отклонения лазерного пучка с параллельным перемещением экрана в объёме $10 \times 10 \times 5$ см³. На основе реализованных численных алгоритмов разработан комплекс компьютерных программ для вычислительного эксперимента с использованием объёмных изображений волюметрического типа. Экспериментально доказана возможность отображения в трёхмерном пространстве объёмных сцен сложностью до нескольких тысяч рёбер на кадр при частоте регенерации 25 Гц.

◇ На основе выявленных автором структурных элементов предложены образцы вокселей (трёхмерных пикселей), создающих прямое соответствие между пространством предметов и плоскостью изображения многоакурсных дисплеев и представляющих собой структуру, распределённую по нескольким ячейкам многоакурсного изображения. Разработанные методы формирования и обработки многоакурсных изображений предложены автором впервые. Реализованные эффективные алгоритмы формирования и обработки многоакурсных изображений практически применимы в системах реального времени. Оценка визуального качества подтверждена в численном эксперименте при количестве точечных источников света до 60. Экспериментально продемонстрированы синтез и анализ векторных объектов, содержащих до 150 вокселей, в области общим объёмом более 10 тысяч вокселей. В вычислительных экспериментах по анализу ошибка определения дискретной дальности наблюдалась не более чем в 3% случаев.

◇ На базе предложенной теории минимизации эффекта муара разработан комплекс программ имитационного моделирования. Моделирование и минимизация выполняются с использованием спектральных траекторий в комплексной плоскости, что предложено и реализовано автором впервые. Построена система компьютерного моделирования и выполнено математическое моделирование эффекта муара с количеством решеток до 4, что позволяет создавать высококачественные дисплеи, свободные от эффекта муара. Проведено комплексное исследование эффекта муара. Минимизация эффекта муара выполнена по 4 параметрам в диапазоне расстояний от 1 до 2 м и углов от 0 до 90°. Разработанные математические методы компьютерного моделирования и минимизации подтверждены экспериментально (соответствие экспериментальных и теоретических данных в пределах 3 - 5%). Предложен новый принцип построения системы трёхмерного отображения на основе эффекта муара.

4. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы математическими доказательствами, убедительными результатами экспериментальных численных исследований, сравнением различных подходов к формированию и обработке изображений, тщательным анализом результатов вычислительных экспериментов. Полученные результаты составляют научную основу для усовершенствования существующих и создания новых эффективных методов формирования и обработки 3D изображений реального времени, а также для развития систем компьютерного моделирования. Подтверждённая экспериментально возможность формирования объёмных изображений волнометрического типа указывает один из путей построения 3D дисплеев с экранами небольших размеров, которые в последнее время пользуются увеличивающимся спросом. Теория минимизации эффекта муара и система компьютерного моделирования открывают новые возможности для стабильного улучшения визуального качества различных дисплеев, причём не только трёхмерных. Результаты комплексного исследования эффекта муара могут быть использованы для создания 3D изображений нового типа, основанных на эффекте муара – физическом принципе, ранее не использованном в системах отображения трёхмерной информации.

5. Основные результаты работы были представлены на 12 международных конференциях:

на конференциях Международного общества оптики и фотоники (International society for optics and photonics, SPIE) в 1997 – 2009 гг. (Москва в 1997, 98 гг., США в 2000, 2003, 2009 и 2014 гг.),

на Международных совещаниях по информационным изображениям (International meeting on information display, IMID) в 2009 – 13 гг. в Корее и

на Международных семинарах по изображениям (International Display Workshop, IDW) в 2011 – 12 гг. в Японии.

Основные результаты опубликованы в следующих статьях в одном отечественном и в 14 иностранных журналах (из списка Science Citation Index Expanded), включенных в перечень рецензируемых журналов, в которых должны быть опубликованы научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

1. Савельев В.В., Твердохлеб П.Е., Трубецкой А.В., Щепёткин Ю.А. Формирование трёхмерных изображений с помощью каскадного высокоскоростного акустооптического дефлектора // Автометрия. – 1997. – № 2. – С. 11-14 (имеется перевод на англ. яз.:

- Optoelectronics, Instrumentation, and Data Processing. – 1997. – № 2, pp. 10-12).
2. Kim S.-S., Sohn K.-H., Saveljev V., Pen E. F., Son J.-Y., Chun J.-H. A full parallax three-dimensional imaging system based on a point light source array // *Japanese Journal of Applied Physics*. – 2001. – vol. 40, part 2. – pp. 4913-4915.
 3. Son J.-Y., Saveljev V., Choi Y.-J., Bahn J.-E., Kim S.-K., Choi H.-H. Parameters for designing autostereoscopic imaging systems based on lenticular, parallax barrier, and integral photography plates // *Optical Engineering*. – 2003. – vol. 42, No 11. – pp. 3326-3333.
 4. Son J.-Y., Saveljev V., Kim J.-S., Kim S.-S., Javidi B. Viewing Zones in Three-Dimensional Imaging Systems Based on Lenticular, Parallax-barrier, and Microlens-array Plates (journal cover) // *Applied Optics*. – 2004. – vol. 43, No 26. – pp. 4985-4992.
 5. Saveljev V., Son J.-Y., Javidi B., Kim K.-T., Kim S.-S., Kim D.-S. Moiré minimization condition in three-dimensional image displays // *Journal of Display Technology* – 2005. – v. 1, No 2. – pp. 347-353.
 6. Son J.-Y., Saveljev V., Kim S.-K., Javidi B. Pixel patterns for voxels in contact-type 3D imaging systems // *Japanese Journal of Applied Physics*. – 2006. – vol. 45, No 2A. – pp. 798-803.
 7. Saveljev V., Son J.-Y., Kim S.-H., Kim D.-S., Park M.-C., Song Y.-C. Image mixing in multiview three-dimensional imaging systems // *Journal of Display Technology*. – 2008. – vol. 4, No 3. – pp. 319-323.
 8. Saveljev V., Son J.-Y., Chun J.-H., Kwack K.-D., Cha K.-H. About a moiré-less condition for non-square grids // *Journal of Display Technology*. – 2008. – vol. 4, No 3. – pp. 332-339.
 9. Saveljev V., Shin S.-J. Layouts and cells in integral photography and point light source model // *Journal of the Optical Society of Korea*. – 2009. – vol. 13, No 1 – pp. 131-138.
 10. Saveljev V. Orientations and branches of moiré waves in three-dimensional displays // *Journal of the Korean Physical Society*. – 2010. – vol. 57, No 6. – pp. 1392-1396.
 11. Saveljev V., Kim S.-K. Simulation of moiré effect in 3D displays // *Journal of the Optical Society of Korea*. – 2010. – vol. 14, No 4. – pp. 310-315.
 12. Saveljev V. Characteristics of moiré spectra in autostereoscopic three-dimensional displays // *Journal of Display Technology*. – 2011. – vol. 7, No 5. – pp. 259-266.
 13. Saveljev V., Kim S.-K. Simulation and measurement of moiré patterns at finite distance // *Optics Express*. – 2012. – vol. 20, No 3. – pp. 2163-2177.
 14. Saveljev V., Kim S.-K. Theoretical estimation of moiré effect using spectral trajectories // *Optics Express*. – 2013. – vol. 21, No 2. – pp. 1693-1712.

15. Saveljev V., Kim S.-K. Reference Functions for Synthesis and Analysis of Multiview and Integral Images // Journal of the Optical Society of Korea. – 2013. – vol. 17, No 2. – pp. 148-161.

6. В диссертационной работе представлены результаты, полученные автором лично в период с 1995 по 2013 годы. Постановка задач осуществлялась совместно с научным консультантом, для задачи компьютерного моделирования эффекта муара задача поставлена С.-К. Кимом. Задача по важному эксперименту «туннель» сформулирована автором совместно с Е.Ф. Пенем. С научным консультантом обсуждались планы исследований и полученные результаты. Автором получены программные реализации предлагаемых в работе алгоритмов и методов.

При выполнении диссертационной работы В.В. Савельев проявил себя сложившимся научным работником, способным ставить и решать сложные задачи и проводить исследования на высоком научном уровне.


7. На основе вышеизложенного семинар постановил считать диссертационную работу В.В. Савельева «Методы формирования и оценки качества автостереоскопических изображений» удовлетворяющей требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, и рекомендовать к защите по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Председатель семинара
д.т.н.



О.И. Потатуркин

Секретарь семинара
д.т.н.



А.В. Лихачев