

УДК 004.514.64

50. ДИЗАЙН И ФОРМИРОВАНИЕ ВИЗУАЛЬНОГО КОНТЕНТА ДЛЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ПИРАМИДКИ

Зыкун Р. Д., студент гр.573902

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники¹
г. Минск, Республика Беларусь

Остапенко И. В. – старший преподаватель

Аннотация. В данной статье исследуются особенности проектирования и оптимизации визуального контента для систем псевдоголографического отображения типа «голографическая пирамида». Рассматривается физический принцип формирования изображения, основанный на эффекте «Призрака Пеппера», и выявляются ключевые детерминанты искажений: трапецеидальная деформация, хроматические аберрации и потеря контрастности при внешнем освещении. Предложен алгоритм предварительного искажения исходных медиаданных и систематизированы рекомендации по выбору цветовых схем и динамических параметров анимации. Результаты работы позволяют сформулировать методологическую базу для повышения реалистичности визуализации и минимизации артефактов восприятия в веб-ориентированных презентационных системах.

Ключевые слова. голографическая пирамида, веб-графика, визуальный контент, 3D-моделирование, искажение перспективы, оптические иллюзии, цифровой дизайн, анимация, дополненная реальность, методология проектирования.

Введение. Современный этап развития систем визуализации информации характеризуется устойчивой тенденцией перехода от классических плоскостных интерфейсов, оперирующих двумерным представлением данных, к технологиям, целенаправленно создающим иллюзию пространственного присутствия цифровых объектов в физической среде обитания человека. Данный тренд обусловлен как эволюцией вычислительных средств, позволяющих обрабатывать сложные трехмерные сцены в реальном времени, так и глобальным изменением концепции взаимодействия между пользователем и информационной средой, где приоритетными становятся естественность восприятия, интуитивность интерфейса и высокая степень интерактивности. Одним из наиболее эффективных, эстетически привлекательных и технологически доступных решений в области дополненной реальности являются четырехгранные голографические пирамиды. В практике проектирования мультимедийных инсталляций данные устройства нередко обозначаются термином «голографическая пирамидка» — в силу их компактных габаритов и специфической геометрии конструкции.

Данные устройства, базирующиеся на фундаментальных оптических принципах отражения и частичного преломления светового потока, позволяют интегрировать синтетический контент в физическое пространство, обеспечивая при этом принципиально важное свойство — возможность многопользовательского обзора без необходимости применения индивидуальных гарнитур или специализированных очков дополненной реальности. Это открывает широкие перспективы для использования подобных систем в музейной деятельности, образовательном процессе, ритейле и при проведении высокотехнологичных выставочных мероприятий. Однако, несмотря на достигнутую аппаратную зрелость технологии, процесс проектирования, дизайна и адаптации визуального контента для подобных систем сталкивается с рядом специфических проблем, требующих глубокого научного и инженерного осмысления.

Эти проблемы локализованы на стыке прикладной оптики, когнитивной психологии восприятия и современных методов компьютерной графики. К числу наиболее существенных препятствий для достижения убедительного визуального результата относятся геометрические аберрации, вносимые наклонными отражающими поверхностями, а также специфика цветопередачи в условиях вариативности внешней освещенности. Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью формализации и унификации подходов к дизайну графического контента, которые учитывали бы физику полупрозрачных сред и ограничения веб-ориентированного рендеринга. **Объект исследования** — процесс формирования псевдоголографического образа, **предмет** — методы цифровой коррекции и оптимизации графики для компенсации искажений.

Теоретические основы и анализ проблемы формирования изображения. Физический принцип функционирования голографической пирамиды базируется на явлении частичного зеркального отражения, исторически известном как эффект «Призрака Пеппера». Данный оптический эффект, впервые нашедший применение в театральных постановках XIX века, в современном исполнении получил качественно новое воплощение благодаря использованию высокотехнологичных диэлектрических материалов и жидкокристаллических дисплеев с высокими показателями яркости и контрастности. Основным структурным элементом системы является полупрозрачный диэлектрик (стекло или акриловый полимер), установленный под строго определенным углом (традиционно 45°) к плоскости источника изображения. Формируемое в результате отражения изображение является виртуальным, локализованным во внутреннем объеме пирамидальной конструкции. Это создает у наблюдателя устойчивую иллюзию парящего в пространстве объекта, обладающего глубиной и объемом.

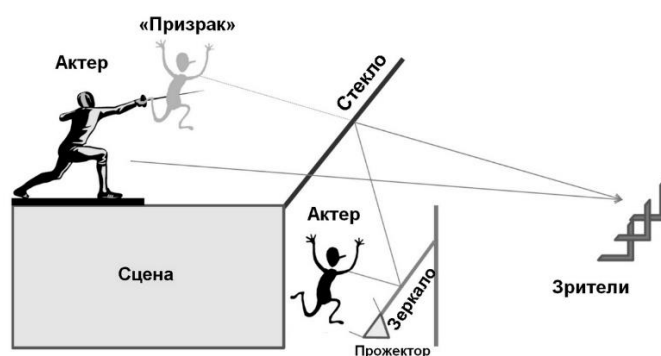


Рисунок 1 – Эффект призрака Пеппера

Однако в процессе распространения светового потока от источника излучения к органам зрения наблюдателя изображение претерпевает ряд неизбежных трансформаций. Ключевой проблемой, оказывающей наиболее деструктивное воздействие на реалистичность образа, является трапецидальное искажение. Суть данной аберрации заключается в том, что точки объекта, проецируемые на верхнюю часть наклонной грани, визуальнo воспринимаются более сжатыми по горизонтали по сравнению с точками, расположенными у основания. В результате возникает нежелательная деформация перспективы, при которой правильные геометрические формы (например, куб) воспринимаются как усеченные или скошенные структуры. Это не только разрушает эффект реалистичности, но и снижает когнитивное доверие пользователя к отображаемой информации. Данная проблема существенно усугубляется при динамическом смещении точки обзора, что делает необходимым поиск универсальных алгоритмических решений для предварительной компенсации формы.

Дополнительным критическим фактором, снижающим качество визуализации, является специфика светопропускания отражающих граней. В отличие от стандартных экранных интерфейсов, где черный цвет обеспечивается блокировкой светового потока, в голографической пирамиде черный цвет интерпретируется как зона абсолютной прозрачности. Данное обстоятельство радикально меняет подходы к графическому дизайну: любая погрешность в глубине черного в исходном медиафайле — будь то цифровой шум, артефакты сжатия или завышенная гамма — приводит к возникновению «серого облака» вокруг объекта. Этот эффект демаскирует иллюзию и визуальнo связывает виртуальный объект с плоскостью стекла. Кроме того, при использовании толстостенных материалов возникает эффект двойного отражения (ghosting), когда свет отражается как от внешней, так и от внутренней поверхностей грани, что приводит к потере резкости контуров. Эти факторы диктуют необходимость применения специализированной предрендеринговой обработки, адаптированной к специфике оптической среды.

Методология проектирования и алгоритмическая коррекция контента. Для достижения целостного и корректного визуального образа рекомендуется использование методологии, включающей этап геометрического предварительного программного искажения. Математическая модель коррекции базируется на трансформации координат исходной растровой сетки с использованием обратных аффинных преобразований. Для нивелирования наклона грани в 45° к изображению применяется обратная трапецидальная деформация, при которой верхняя кромка кадра расширяется на расчетный коэффициент k . Масштабирование данного коэффициента напрямую зависит от физических габаритов пирамиды и предполагаемой дистанции обзора. На основе анализа геометрии типовых конструкций установлено, что для настольных систем с высотой грани 150–300 мм оптимальное значение компенсации составляет от 12% до 15% от ширины кадра. Интеграция данного алгоритма на этапе финального композитинга позволяет восстановить корректные пропорции объекта для наблюдателя.

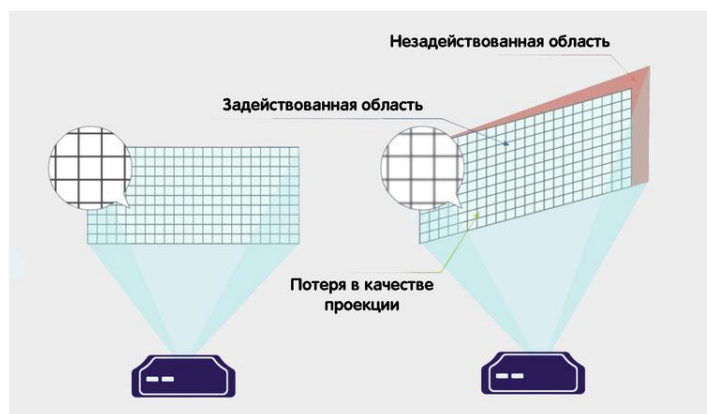


Рисунок 2 — Пример трапецидального искажения исходного контента при проецировании

Важным аспектом формирования качественного контента является работа с цветовыми характеристиками и световыми схемами синтезируемых сцен. Теоретический анализ механизмов зрительного восприятия показывает, что человеческий глаз значительно эффективнее идентифицирует объем виртуального объекта в пирамиде при использовании акцентированного контурного освещения (rim lighting). Данный прием позволяет визуально отделить объект от фона даже в условиях недостаточной контрастности отражающей поверхности. Важно отметить, что использование чисто белого цвета (#FFFFFF) является нежелательным ввиду избыточной световой эмиссии, которая порождает переотражения внутри пирамиды и приводит к «засветке» смежных граней. Оптимальным решением является использование палитры с пиковой яркостью в диапазоне 85–90% и приоритетным использованием насыщенных холодных оттенков (циан, глубокий синий), которые демонстрируют наибольшую стабильность в полупрозрачных средах. Для веб-ориентированных систем на базе WebGL и Three.js рекомендуется внедрение шейдеров, обеспечивающих автоматическое затенение граней, не направленных непосредственно на наблюдателя, что значительно усиливает эффект бинокулярного параллакса.

Анимационные сценарии в голографических системах также требуют специфического подхода, обусловленного четырехсторонним обзором. Композиция кадра представляет собой крестообразную структуру, в которой четыре независимые проекции (камеры) направлены на объект под углами 90° относительно друг друга. В таких условиях критическую значимость приобретает прецизионная синхронизация движения. Даже минимальные временные задержки или рассогласования кадров в одной из проекций приводят к визуальному разрыву целостности объекта при смене точки обзора пользователем. Методологически оправданным является использование замкнутых анимаций с плавными траекториями. Следует избегать резких перемещений по оси Z (вглубь пирамиды), так как ограниченный фокусный объем устройства не позволяет глазу быстро перефокусироваться, что при длительном наблюдении может спровоцировать зрительное утомление и головную боль. Кроме того, чрезмерная скорость вращения может вызвать эффект стробоскопического мерцания из-за дискретности частоты обновления кадров большинства современных дисплеев.

Рекомендации по эргономике и оптимизации восприятия. Помимо алгоритмических и дизайнерских аспектов, существенное влияние на успех визуализации оказывают эргономические параметры. На основе анализа оптических искажений можно сформулировать ряд прикладных рекомендаций. Для обеспечения читаемости текстовых элементов и мелких графических деталей необходимо не только применять пре-дисторшн, но и использовать шрифты с увеличенным межбуквенным интервалом и отсутствием тонких засечек, которые наиболее подвержены размытию.

Влияние факторов внешней освещенности также может быть эффективно компенсировано программным путем. Повышение насыщенности в средних тонах цветового диапазона позволяет поддерживать приемлемый уровень контрастности в офисных или выставочных помещениях с яркостью освещения до 400 люкс. Это позволяет значительно расширить сферу применения голографических пирамид, исключая необходимость в создании специальных темных зон или светоизолирующих помещений. Перспективным направлением является реализация данных алгоритмов непосредственно в браузерной среде с использованием аппаратного ускорения видеокарты, что делает процесс настройки контента гибким и масштабируемым под различные аппаратные конфигурации.

Заключение. В ходе проведенного исследования была обоснована и систематизирована методика адаптивного формирования визуального контента для систем типа «голографическая пирамида». Разработанный комплекс мер, включающий алгоритмическую компенсацию геометрических искажений и специфическую настройку цветосветовых параметров, позволяет эффективно избежать негативного влияния физических ограничений оптической схемы на базе эффекта «Призрака Пеппера». Достижение высокого качества псевдоголографического образа требует междисциплинарного подхода,

объединяющего знание физико-математических закономерностей оптики и психофизиологических особенностей человеческого зрения.

Практическая значимость работы заключается в создании прикладной базы для проектировщиков мультимедийных систем, дизайнеров и инженеров, работающих в сфере дополненной реальности и презентационного оборудования. Сформулированные рекомендации позволяют существенно повысить качество визуализации, снизить зрительную нагрузку на пользователя и расширить эксплуатационные возможности голографических инсталляций.

Список литературы

1. Роджерс, Д. Алгоритмические основы машинной графики / Д. Роджерс. – М. : Мир, 1989. – 512 с.
2. Иттен, И. Искусство цвета / И. Иттен ; пер. с нем. – М. : Д. Аронов, 2011. – 96 с.
3. Макарова, Н. В. Инженерная психология и эргономика в дизайне интерфейсов / Н. В. Макарова // Вестник визуальных технологий. – 2022. – № 4. – С. 15–22.
4. Bimber, O. Displaying Optical Illusions on Interactive Holographic Surfaces / O. Bimber, B. Fröhlich // IEEE Computer Graphics and Applications. – 2005. – Vol. 25, № 1. – P. 16–21.
5. Савельев, А. В. Оптические системы дополненной реальности / А. В. Савельев // Журнал технической физики. – 2019. – Т. 89, № 5. – С. 780–785.
6. Pepper's Ghost and the History of Reflection Illusions [Electronic resource] / Museum of Science. – Mode of access: <https://www.museum.org/peppers-ghost>. – Date of access: 10.02.2024.
7. Кузнецов, С. А. Веб-графика и 3D-моделирование в браузерных системах / С. А. Кузнецов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2021. – 320 с.
8. Sutherland, I. E. A head-mounted three dimensional display / I. E. Sutherland // Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I. – 1968. – P. 757–764.

UDC 004.514.64

DESIGN AND FORMATION OF VISUAL CONTENT FOR A HOLOGRAPHIC PYRAMID

Zykun R. D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics¹, Minsk, Republic of Belarus

Ostapenko I. V. – senior lecturer

Annotation. This article investigates the specific features of designing and optimizing visual content for pseudo-holographic display systems of the "holographic pyramid" type. The study examines the physical principle of image formation based on the "Pepper's Ghost" effect and identifies key determinants of distortion: trapezoidal deformation, chromatic aberrations, and loss of contrast under ambient lighting. The author proposes an algorithm for the pre-distortion of source media data and systematizes recommendations for selecting color schemes and dynamic animation parameters. The results of this work allow for the formulation of a methodological framework to enhance visualization realism and minimize perceptual artifacts in web-oriented presentation systems.

Keywords. holographic pyramid, web graphics, visual content, 3D modeling, perspective distortion, optical illusions, digital design, animation, augmented reality, design methodology.