



НОВ БЪЛГАРСКИ УНИВЕРСИТЕТ

ДЕПАРТАМЕНТ „ДИЗАЙН“
ДОКТОРСКА ПРОГРАМА „ДИЗАЙН“

**СВЕТЛИНАТА – ОСНОВНО ИЗРАЗНО СРЕДСТВО
В КОМПЮТЪРНАТА ТРИИЗМЕРНА ВИЗУАЛИЗАЦИЯ
НА ЕКСТЕРИОРНИ И ИНТЕРИОРНИ ПРОСТРАНСТВА**

Явор Христов Жаблянов

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд
за придобиване на научна и образователна степен „доктор“
по 8.2. Изобразително изкуство (интериорен дизайн)

Научен ръководител: доц. Банко Банков

София, 2013

Актуалност и значимост на темата

Темата на настоящото изследване е изключително актуална, тъй като разглежда не само осветлението на интериорни и екстериорни пространства, а и неговото приложение в триизмерната компютърна графика. Все още няма единно мнение и еднозначен метод, по който да се прилага реалистично осветление в компютърната визуализация на триизмерни пространства и това се превръща в сериозно предизвикателство пред визуализаторите на архитектурни обекти, а също така и пред програмистите, разработващи подобен софтуер. Дисертационният труд ще помогне да се даде повече яснота по настоящия проблем, чрез задълбочено проучване на свойствата и поведението на светлината в реалността и чрез сравнителен анализ на най-разпространените към момента алгоритми за симулиране на неdirekно осветление в триизмерните компютърни програми за архитектурна визуализация. Границите на настоящото изследване не се свеждат само до чисто визуалната страна на осветлението, а също така обхващат и технологичния процес на компютърната симулация на реалността, което поставя интердисциплинарен проблем.

Компютърното проектиране като цяло и в частност триизмерната визуализация на архитектурни обекти привличат вниманието през последните години на все повече млади творци и дизайнери. Компютрите вече са част от нашето ежедневие. Тяхната роля и влияние става все по-значима във всички сфери на живота, а напредъка на технологиите в разглежданата област ги правят достъпни за все по-широк кръг от потребители. Именно това подтиква към дискутиране на теоретичните основи и определя актуалността на проблема, тъй като образованието в тази област изпитва нужда и от такъв тип познания.

Методология на изследването

В изследването са използвани разнообразни източници, както първични, така и вторични. Включена е предимно чужда литература, тъй като издадената на български език е твърде оскъдна, а по някои от

темите, засегнати в дисертацията, литература напълно липсва. Избягвано е използването на източници от Интернет, тъй като информацията там е много разхвърляна и се отнася предимно за много конкретни постановки на проблема.

При разработването на дисертацията е използван системен подход за решаване на проблемите. Приложени са общологически методи на проучване, анализ и синтез, сравнение и обобщение, дедукция и индукция. Застъпен е сравнителният анализ, както и историко-хронологичния метод.

Цел и задачи на изследването

Целта на настоящият дисертационен труд е да установи основната роля на светлината и осветлението в триизмерната компютърна визуализация на архитектурни обекти.

Основната изследователска теза е твърдението, че светлината е основно изразно средство за постигане на реалистични образи чрез компютърна триизмерна визуализация на интериорни и екстериорни пространства.

Обектът на изследване е светлината, като физичен феномен, сложната система за визуалното ѝ възприемане от човека и алгоритмите да симулиране на нейното поведение и характеристики в компютърните триизмерни програми. Обърнато е внимание предимно на изкуствената светлина, а естествената светлина е разгледана само в допълнение на основната теза.

Предмет на изследване са различните видове осветление на архитектурни пространства в реалността и в триизмерните графични програми за моделиране и визуализация, концепцията при избор на осветление, както и методите за композиране и манипулиране на осветителни тела.

За постигане на тази цел и доказване на тезата е необходимо да се решат няколко задачи:

- да се даде по-ясна формулировка на поведението и характеристиките на феномена светлина.
- да се осигури теоретична и методологична основа на понятието „осветление“ в триизмерните компютърни програми.
- да се анализират методите и системите за осветление на интериорни пространства.
- да се разяснят основните понятия и термини, с които си служи триизмерното компютърно проектиране, особено в частта, свързана с визуализирането на интериорни и екстериорни пространства.
- да се направи сравнителен анализ на двата най-разпространени алгоритъма за симулиране на недириктно осветление в компютърните програми за триизмерна визуализация на архитектурни обекти.

Обща характеристика на дисертационния труд

Дисертационният труд разглежда светлината като основно изразно средство за визуализация на екстериорни и интериорни пространства в триизмерната компютърна графика, тъй като тя има най-голям принос за изграждането на реалистични изображения на виртуални архитектурни образи, които се създават в триизмерния софтуер.

Изследването започва с изясняване на понятието светлина. Разглеждат се нейната структура и произход, нейните основни параметри и поведение, както и физиологията на възприемането ѝ от човека. Първата част на дисертационния труд има за цел да разясни и подчертае важността на теоретичния аспект на светлината, като не се задълбочава в строго физични понятия, а представя разбираемо параметрите на светлината и нейната природата. Тук се разглеждат базови принципи, които ще послужат за отправна точка в по-нататъшното изследване на осветлението като основен фактор при триизмерната компютърна визуализация. Анализират се психологичният и творчески аспект на светлината – влиянието върху емоционалното състояние, диктуване на действията и поведението на човека, както и творческите

търсения на художниците във времето. Подчертава се взаимовръзката между светлина, цвят и материал. Разглеждат се и фундаменталните принципи на осветление на обекти и пространства. След извеждането на основната информация се преминава към същинската част на дисертационния труд, а именно композиране на светлината конкретно в екстериорни и интериорни архитектурни пространства, и най-вече симулирането ѝ в триизмерната компютърна графика. Разглеждат се видовете светлинни източници и методите за разполагането им в различните виртуални триизмерни пространства, които имат конкретни специфики. Прави се задълбочено изследване на промяната в концепцията при избор на осветление на архитектурни пространства в течение на времето, както и на произхода развитието на изкуствените източници на светлина. Изследва се също и влиянието на светлината върху цветовете и материалите на триизмерните обекти. По-специално място се отделя на начините за симулиране на реалистично осветление в триизмерните компютърни програми и особено на съвременните алгоритми за изчисление на недиректно осветление при визуализация, както и на последващата тонална обработка на графични изображения със специализиран софтуер.

Текстът е подкрепен с десетки чертежи, илюстрации, фотографии и триизмерни компютърни визуализации, които дават добра визуална представа на читателя по изследваната материя.

Изследването не претендира за изчерпателност, тъй като същността на темата силно зависи от технологичните промени и търпи сериозно развитие във времето. Въпреки това дисертацията поставя начало на по-цялостно и детайлно проучване, което може да бъде разширено и да обхване повече алгоритми за визуализация, не само в частта, свързана с осветлението на триизмерни сцени.

Структура на дисертационния труд

Дисертационният труд е структуриран в пет глави, следващи логична последователност, въведение, заключение, речник на основните термини, справка за приносите и приложимост на резултатите, списък

с публикациите по темата на дисертационния труд и библиография. В текста са включени множество фигури (чертежи, графики и илюстрации), подкрепящи теоретичното изследване.

Авторът е щатен преподавател по компютърно проектиране в Департамент “Дизайн” в Нов български университет.

Съдържание на дисертационния труд

Въведение

Терминологичен апарат – основни изрази и понятия

Глава I. Природа на светлината

- 1. Какво е светлина**
- 2. Структура на светлината**
- 3. Светлинни явления**
- 4. Параметри на светлината**
 - 4.1. Интензитет на светлината
 - 4.2. Цветова температура
 - 4.3. Визуален контраст
- 5. Поведение на светлината**
 - 5.1. Закон на Вин
 - 5.2. Закон за отражението и пречупването на светлината
 - 5.2. Закон за обратната пропорционалност
- 6. Формиране на сенките**
 - 6.1. Типове сенки в компютърната графика
 - 6.2. Характеристики на сянката в компютърната графика

Глава II. Физиология на визуалното възприятие

- 1. Структура на окото**
- 2. Механизъм на виждането**
- 3. Обработка на зрителния сигнал**

- 3.1 Пътища на светлината в окото
- 3.2. Вестибуларен апарат
- 3.3. Усещане за движение
- 3.4. Въздушна перспектива
- 4. Пресъздаване на действителността**
 - 4.1 Възприемане на яркост
 - 4.2 Възприемане на цвят
- 5. Цветове и материали (Материализиране на светлината)**
 - 5.1. Теория и история на цветовете
 - 5.2. Характеристики на цвета
 - 5.3. Цветови модели
 - 5.4. Отражение и пречупване на материала
 - 5.4. Пропускливост и поглъщаща способност на материала
- 6. Психологичен аспект на светлината**

Глава III. Видове осветление

- 1. Естествени източници на светлина**
- 2. Изкуствени източници на светлина**
- 3. Нестандартни източници на светлина**

Глава IV. Техники на осветление в архитектурата

- 1. Концепция при избора на осветление**
- 2. Композиране на осветление**
- 3. Приложно осветление**
 - 3.1. Осветление на жилищен интериор
 - 3.2. Осветление на обществен интериор
 - 3.2.1 Осветление на хотели и хотелски комплекси
 - 3.2.2 Осветление на офиси и работни пространства
 - 3.2.3 Осветление на музеи, галерии и изложбени площи

Глава V. Светлината в триизмерната компютърна графика

1. История на осветлението в компютърната графика
2. Фундаментални принципи на осветлението
3. Източници на светлина в софтуера за триизмерна визуализация
 - 3.1 Стандартни източници на светлина
 - 3.2 Фотометрични източници на светлина
4. Модели на осветяване в компютърната графика
 - 4.1 Директно осветление
 - 4.2 Глобално (недиректно) осветление
5. Алгоритми за изчисляване на недиректно осветление в компютърната графика
 - 5.1 Методи *Light Tracer* и *Radiosity*
 - 5.2 *Mental Ray*
 - 5.2.1 Директно осветление
 - 5.2.2 Недиректно осветление
 - 5.2.3 Глобално осветление (*Global Illumination*)
 - 5.2.4 Окончателно събиране (*Final Gather*)
 - 5.2.5 Атмосферна оклузия
 - 5.2.6 „Каустик“ ефект
 - 5.2.7 Изображения с висок динамичен диапазон
 - 5.2.8 Експозиционен контрол
 - 5.2.9 Транслуценция и собствено светене на материалите
 - 5.3 *V-Ray*
 - 5.3.1 „Груба сила“ (*Brute force*)
 - 5.3.2 Карта на излъчване (*Irradiance Map*)
 - 5.3.3 Фотонна карта
 - 5.3.4 Складирана светлина (*Light Cache*)

Заклучение и изводи

Библиография

Кратко изложение на дисертационния труд

Въведение

Във въведението е обоснована актуалността на избраната тема, нейната практическа и теоретична значимост. Формулирани са обектът, предметът и целта на изследването. Представени са задачите, които трябва да бъдат решени за постигането на целта.

Терминологичен апарат – основни изрази и понятия

В терминологичния апарат на дисертационния труд се разясняват основните понятия и термини, с които си служи триизмерното компютърното проектиране и в частност алгоритмите за симулиране на осветление и реалистично визуализиране. Извеждат се основно термини, които нямат аналог в българския език, тъй като са предназначени за ползване за конкретни цели в конкретен софтуер. Изследват се приликите и разликите в термините, употребявани в различните системи за непряко осветление, които се използват за привидно едно и също проявление. Обект на терминологичния апарат са също и понятията, които допълват основните термини, използвани в областта на дизайна, като тоналност, контраст, цвят, материал и структура.

Направеният преглед на понятията, изразите и термините дава възможност за по-ясно да бъдат изразени идеите на автора, като помага и за по-пълноценно изследване на поставените проблеми.

Глава I – Природата на светлината

Първата глава от дисертационния труд е теоретичната постановка на поставения проблем. Тук се разглежда светлината като физичен феномен с оглед на симулирането ѝ в компютърното проектиране. Пълното определение за светлина е доста сложно, като същността ѝ е била обект на множество задълбочени изследвания в течение на времето. В исторически план от Древна Гърция до наши дни е проследено възникването на

теориите за произхода и поведението на светлината, с цел изучаване на нейните свойства. Очевидно е, че за наличието на визуално възприятие е необходима светлина и тя е от съществено значение за начина, по който протича визуалният процес. Известно е, че още в древността гръцкият учен и философ Питагор създал първата теоретична обосновка за светлината – „*теорията за визуалните лъчи*”. Още по това време възникнали две версии за същността на светлината. Съревнованието между тях – лъчи или частици, продължило през вековете и достигнало своята кулминация в корпускулярната теория на Исак Нютон и вълновата теория на Кристиан Хюйгенс, потвърдена чак през XIX век.

След маркиране на първия период на възникване на теориите за светлината подробно се разглеждат откритията на други велики учени, като Томас Йънг, Джеймс Максвел, Хайнрих Херц и, разбира се Алберт Айнщайн, които доразвиват първоначалните теории за същността и поведението на светлината. Именно техните открития подкрепят съвременната теория на квантовата механика, която разглежда светлината като вълна или като частица, в зависимост от обстоятелствата.

В тази глава се разглеждат и различни светлинни явления, като отражение, пречупване, дифракция, интерференция, дисперсия и др., потвърждаващи дуалистичния характер на светлината. Особено внимание се отделя на параметрите на светлината, които имат основно значение за визуалното възприемане на околната среда от човека – интензитет, цетова температура, контраст. Разпознаването на обектите, които ни заобикалят се базира на нашия опит и на паметта ни за това как те реагират на светлината – техният цвят, отражение, поглъщане или пропускане на светлинните лъчи. Можем да определим конкретен материал само по тези външни признаци. За постигане на максимален реализъм при компютърно визуализиране на триизмерна виртуална среда е необходимо да се познават светлинните явления, особено при определяне на материалите на обектите. Взаимодействието на светлината с обкръжаващата ни среда е много сложен феномен. Описаните по-горе светлинни явления могат да се проявяват едновременно или поотделно в зависимост от различните среди и материали. Въпреки това тези явления

могат да бъдат изчислявани, тяхното поведение е предвидимо, тъй като е подчинено на законите на физиката.

Тук са разгледани и основните закони, формулиращи поведението на светлината и това е подкрепено с ясни конкретни примери. Обърнато е внимание и на формирането на сянката – пряко следствие от осветяването на обектите и са разгледани нейните параметри.

Въз основа на направения исторически анализ и на анализиранията свойства и параметри са изведени следните обобщения:

- Светлината е физичен феномен, чието изясняване е претърпяло много промени през вековете. В крайна сметка същността на светлината може да бъде определена като дуалистична, а поведението ѝ променливо, в зависимост от обстоятелствата.
- Законите, формулиращи поведението на светлината в реалността, важат с пълна сила и във виртуалната триизмерна среда, и са от полза за по-точното пресъздаване на действителността.
- Визуалната роля на сенките е от изключително значение за пространствената ориентация, а правилното възпроизвеждане на техните характеристики е от ключово значение за получаване на реалистични изображения.
- Наблюдението и анализирането на светлинните взаимодействия с различните среди и материали в реалността е ключ за правилното ѝ пресъздаване при визуализиране на виртуални пространства.

Глава II – Физиология на визуалното възприятие

Във втората глава от дисертационния труд се разглежда физиологичният процес на възприемане на светлината от човека и сложната трансформация на зрителния сигнал в реален и действителен образ.

Особено внимание в тази глава е обърнато на структурата на най-сложния и уникален орган при всички живи организми – окото. Човешките очи представляват изключително сложен биологичен инструмент за

събиране на информация за околния свят чрез фокусиране и преработване на светлина. Само светлина с дължини на вълните в диапазона от около 380 до около 800 нанометра може да стимулира фоторецепторите на окото. Това е само малък диапазон от електромагнитния спектър. Подобно на камера очите имат лещи за фокусиране и концентриране на светлинните лъчи. Клепачите действат като затвора при фотоапаратите, контролирайки количеството светлина, проникваща в окото, която достига до светлочувствителната зона, също подобно на светлочувствителния сензор при фотоапаратите. Най-накрая стои мозъкът, който преработва информацията и създава изображението, точно както при дигиталните фотоапарати това се извършва от процесора. За разлика от фотоапаратите обаче, двете очи при човека функционират като триизмерен пространствен визуален процесор.

Обработката на зрителната информация обаче е сложен процес. В резултат на взаимодействието на зрителния орган с мозъка ние можем да откриваме разноцветни предмети и да работим с тях, да разпознаваме и разграничаваме познати обекти и лица, да различаваме дистанция и дълбочина на пространството. Именно адекватното поведение на човека спрямо всички тези неща показва, че виждането не е просто първична реакция на визуален стимул. Въсъщност то представлява много сложна мозъчна функция. Очите не изпращат образи към мозъка. Образите се конструират в него, въз основа на много прости сигнали, изпращани от очите. Тези сигнали описват най-вече линии, форми и движение. Зрителната система може да възприеме повече обекти отколкото може да докладва на мозъка за обработка. Според редица изследвания преобладаващата част от информацията, която човек възприема чрез сетивата си е от оптичен вид. Необходима е огромна мисловна обработка, за възприемането на образи, която представлява около 40 % от калорийното потребление на тялото в състояние на почивка.

В тази глава на дисертационния труд се посочва и определението за явлението цвят. Подробно се разглеждат и неговите характеристики – яркост, цветен тон и наситеност. Анализирани са необходимостта от систематизиране на цветовете и създаване на цветови модели, въз основа

на двата вида смесване на цветовете – адитивно и субтрактивно, което е в изключително тясна взаимовръзка със същността на изследването – реалистично възпроизвеждане на компютърно генерирани графични изображения. Отделено е внимание и на психологическото въздействие на цвета върху настроението и поведението на хората. Обръща се внимание на това, че въпреки чисто физиологичното обяснение за цвета, възприемането му е и много субективен процес. То изключително зависи от моментното емоционално състояние, както и от формираните в най-ранна възраст шаблони. Доказано е, че при положително настроение мозъкът възприема значително повече цветови нюанси, отколкото при негативно емоционално състояние. Доброто настроение повишава активността на зрителните центрове, а оттам и зрителната картина се възприема с по-подробни детайли.

Направен е анализ на понятията материал и материалност на обектите. Те са разгледани не от гледна точка на химически състав, а от гледна точка на тяхното взаимодействие със светлината, а именно свойствата пропускливост, поглъщане, отражение и пречупване. Разяснена е разликата между изотропни и анизотропни материали, като зависимост от реакцията им към светлината.

Като заключение на втора глава могат да бъдат посочени следните обобщения:

- Виждането е от фундаментално значение за развитието на човешката цивилизация и е много важно да разбираме как точно функционира, за да имаме по-реална представа за възприятията и поведението си.
- Човешкият мозък формира образи чрез разпознаване на шаблони. Той интерпретира наличните визуални данни, като се опитва да разпознае какво може да представляват. Възприемането на даден обект е хипотеза, предложена и изпитана от сетивните сигнали, но също така е и знание, получено от минал опит.
- Визуалното разграничаване на материалите се дължи на специфичното им взаимодействие със светлината.

- Естествената светлина играе ключова роля за живота на нашата планета. Тя диктува нашата дейност и влияе силно върху настроението и поведението на хората.
- Психологическото въздействие на цвета е от огромно значение за художника и дизайнера. Познанията за цветовете и тяхната систематизация, хармоничното им комбиниране и правилният подбор са задължителни за точното възпроизвеждане на реалистични изображения.

Глава III – Видове осветление

В третата глава на дисертационния труд се третира приложението на светлината за осветяване на архитектурни обекти и подробно се анализира и разграничаването на различните източници на светлина, използвани в архитектурата и интериорния дизайн. Разглежда се естественото и изкуственото осветление на екстериорни и интериорни пространства.

Естествените източници на светлина са природни обекти, излъчващи собствена или отразена светлина. В тази глава са анализирани и съпоставени характеристиките на двата основни естествени директни източника на светлина на земята – слънцето и луната, а също и основния недиректен източник – земната атмосфера. Разгледан е също и третият вид естествен източник на светлина – биолуминисцентните организми, като е изтъкнато значението му за съвременните и бъдещи дигитални технологии в лицето на *OLED* и *AMOLED* дисплеите.

Проследено е откриването и еволюцията и на изкуствените осветителни тела. Като изкуствени източници могат да бъдат определени всички устройства, които преобразуват енергия с цел постигане на някакъв вид светлинно излъчване. Изкуствените източници на светлина играят огромна роля в днешния технологичен свят. Надали някой може да си представи ежедневието си без изкуствената светлина. Подробно е разгледан и най-атраktivният към момента изкуствен източник

на светлина – светодиодното осветление, като едно от най-важните изобретения в историята на осветлението. Никога досега източник на светлина не е работил толкова надеждно в продължение на толкова години и не е консумирал по-малко електроенергия, излъчвайки такова количество светлина от толкова малка площ. Най-голямото преимущество на светодиодните източници на светлина остава високата ефективност и изключително ниското потребление на електроенергия, което ги прави най-подходящият източник за съвременните технически устройства.

В тази глава от дисертационния труд е подчертано огромното значение на изкуствените източници като цяло за постигане на естетическо и психологическо въздействие в архитектурата и интериорния дизайн.

Като обобщение на информацията в трета глава са формулирани следните изводи:

- В архитектурата и интериорния дизайн задължително трябва да бъде отчитан факторът слънчева светлина, особено разлеждан в контекста на енергийната ефективност.
- В днешно време в архитектурата и интериорния дизайн изкуствените източници на светлина често се използват и като инструмент за психологическо и естетическо въздействие.
- Светодиодните източници на светлина (LED) са бъдещето в осветлението на интериори и на архитектурни обекти като цяло.
- Биолуминисцентните организми в близко бъдеще ще имат все по-съществена роля като източник на светлина в разработването на нови технологични устройства за визуализиране.

Глава IV – Техники на осветление в архитектурата

В тази глава се разглежда конкретно осветлението на интериорни пространства. Анализират се принципите за избор на концепция за осветяване и композиране на осветителните тела в интериора. Разглеждат се и начините за манипулиране на осветлението в интериорните

пространства. В архитектурата светлината има особено важно значение. Тя е архитектурният елемент, който променя възприемането на пространствата,. Проектирането на архитектурни обекти изисква особено внимание към осветлението. Посочени са конкретни примери за осветление на жилищен интериор, както и на някои от най-често визуализираните обществени интериорни обекти – хотели, хотелски комплекси, офиси, музеи и изложбени площи.

Позитивното впечатление на човек от дадено интериорно пространство се обуславя от много фактори, но на първо място е визуалният образ. Както беше споменато, визуалната информация е над 80% от цялата възприемана информация, а главна причина за това е светлината. Тя прави нашето обкръжение видимо и силно влияе върху емоционалните преживявания на човека. Извън всекидневната си обичайна среда, хората се вълнуват от непознати и позитивни впечатления. Те реагират емоционално на атмосферата, която се създава от дневната или изкуствена светлина. Светлината може както да следва настроения, така и да ги създава. Тя може да ни пренася във различни реалности. Затова и значението на осветлението не бива да бъде подценявано.

В края на тази глава са оформени следните изводи.

- Освен основното си предназначение, осветлението играе важна роля като елемент на интериорния дизайн. Светлинните източници и компонентите на непряко осветление подчертават архитектурата на помещенията и моделират визуалният образ на средата.
- Цялостното проектиране на осветление на един интериор е трудна задача, в която трябва да бъдат отчетени много фактори, но това е необходимо, за да може той да бъде привлекателен за хората.
- Основната цел на осветлението на интериорни пространства е да създаде позитивно емоционално усещане на обитателите.
- Светлината е била и ще бъде обект на много търсения в областта на дизайна и архитектурата.

Глава V – Светлината в триизмерната компютърна графика

Петата глава е най-съществена. Тук се извежда основната теза на дисертационния труд, а именно, че светлината е основно изразно средство в компютърната триизмерна визуализация на екстериорни и интериорни пространства.

Съвременните средства за проектиране в дизайна играят важна роля в нашето ежедневие. Те позволяват създаването на дизайн, който е много трудно да бъде създаден ръчно, като същевременно елиминират проблемните места от фазата на концептуалната идея.

Още в началото на тази глава се проследява възникването и развитието на компютърната графика от първите самостоятелни графични подсистеми и монитори до разработването на професионални графични софтуерни програми. Поради несъвършенството на първите компютри, в дизайна първоначално те са използвани само за сложни математически изчисления за военни цели, авиационната и автомобилна индустрия. С развитието на компютърните технологии през 80-те години на XX век специализираните CAD програми стават достъпни и за масовия потребител. С появата на съвременните компютри художници и дизайнери проумели техния потенциал като един мощен инструмент и започнали да ги използват и да усъвършенстват графичното им приложение. CAD системите заменили чертожната дъска, както и много рутинни дейности при създаването на конструктивна документация за механични, електрически или електронни продукти. Дизайнери и инженери вече имали възможност да работят на персонални компютри самостоятелно, елиминирайки нуждата от цели отдели. Бързо разрастващият се пазар на комерсиален CAD софтуер наложил създаването и на първите стандарти за пренос на информация между различните програми.

Както е известно компютърно подпомогнатото проектиране (CAD) включва пълен набор от техники за създаване на модели с помощта на компютър – проектиране, изчертаване, визуализиране, изпитване във виртуална среда и дори анимиране, като се дава възможност за двуизмерно

(2D) и триизмерно (3D) представяне на моделите. Поради огромното си икономическо значение компютърно подпомаганя дизайн (CAD) се е превърнал в основна движеща сила за изследванията на формата. Днес CAD приложенията са предназначени не само за двуизмерно чертане, а и за сложни математически изчисления. В тях едновременно може да се чертае в 2D, да се моделира в 3D, да се симулират реалистично осветление и материали, да се правят визуализации и инженерни калкулации. Голяма част от CAD програмите се използват за създаване на „виртуална реалност“ чрез генериране на хиперреалистични обекти и са насочени предимно към продуктдизайна, архитектурата и интериорния дизайн.

Като тенденция в развитието на компютърното проектиране в дизайна е изтъкнато подчертаването на триизмерността. Това вече е възможно и благодарение на триизмерните екрани, които масово навлизат в ежедневието ни. Проектирането става все по-интуитивно и заради интегрирането на CAD софтуера с тъчскрийн и мултитъч технологиите, които улесняват процеса на чертане и моделиране. Това предлагат и най-модерните за момента хардуерни устройства – таблетите. С помощта на 3D скенери все по-лесно могат да се дигитализират реални триизмерни обекти и да бъдат използвани и визуализирани във виртуална среда отново благодарение на CAD софтуера. Тук системите за симулиране на осветление играят основна роля.

След направения исторически анализ на произхода и развитието на CAD системите са изведени фундаменталните принципи на осветлението в компютърната графика. Изяснена е разликата между различните видове източници на светлина в компютърната графика. Обяснено е огромното значение за използване на фотометрични източници на светлина при реалистичните триизмерни визуализации на интериорни пространства. Фотометричните светлини са физически коректни светлини. Физически коректните светлини намаляват интензитета си с квадрата на разстоянието, подчинявайки се на закона за обратна пропорционалност. Това обяснява драматичния спад на светлината с увеличаване на разстоянието. Чрез него можем да разберем по-добре как светлината засяга

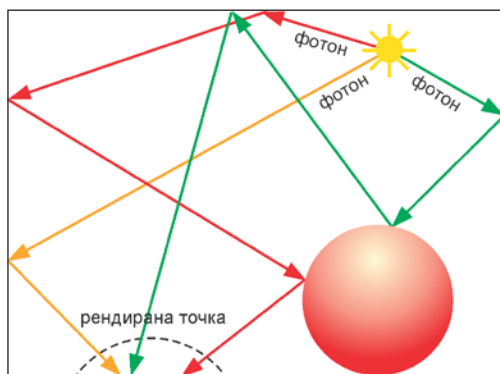
осветяваните обекти и следователно как по-точно да я контролираме.

След сравнителния анализ на видовете светлинни източници в компютърната графика са обяснени всички основни параметри за прецизната им настройка. И тъй като при фотометричните светлинни източници се използват реални стойности, които позволяват светлината да се измерва прецизно, както в реалния свят, тук са посочени определенията, използвани при фотометрични измервания – *лумен*, *кандела* и *лукс*, определящи съответно светлинен поток, интензитет и осветеност. Фотометричните източници на светлина в CAD програмите са замислени като точна имитация на реалността. Това ги прави изключително подходящи за реалистична визуализация на архитектурни обекти. Поради същата причина би следвало броят и местоположението им да бъдат съобразявани отново спрямо реалността. Това важи в най-голяма степен при визуализация на интериорни пространства. Тяжно предимство също е, че са напълно съвместими с всички други възможности за осветление, които дават професионалните CAD софтуерни продукти, като стандартни източници на светлина, осветление чрез фонове изображения и различните алгоритми за недиректно осветление.

В този раздел е направено сравнение на двата типа осветление в компютърната графика – директно и недиректно. В триизмерната компютърна визуализация с термина „директно осветление“ се описва светлината, при която всички лъчи, излъчени от светлинен източник спират при допиране на някаква повърхност, при което няма никакви отразени лъчи. За симулиране само на директно осветление могат да бъдат използвани всички видове налични източници на светлина – стандартни или фотометрични. Недиректното осветление (дифузна светлина) пък е отразената светлина от обкръжаващата среда, светлината, която се отразява и пречупва от обектите в сцената и светлината, която се разпространява между отделните повърхнини. В реалността това е преобладаващата светлина. При недиректната светлина всички осветени обекти в сцената се превръщат в източници на светлина. Симулирането на този тип осветление е от съществено значение за пресъздаване на реалистична среда в триизмерните визуализации. Тук е разгледан и

първият алгоритъм за симулиране на недиректно осветление – Radiosity.

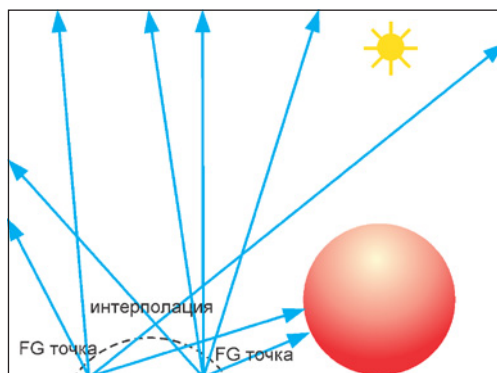
Следва основната част от пета глава – сравнителният анализ на най-разпространените рендер системи за визуализиране в триизмерната компютърна графика – *Mental Ray* и *V-Ray*. Изследвани са принципите, залегнали при изчисляването на недиректно осветление на интериорни пространства. Разледани са алгоритмите за глобално осветление. Глобално (недиректно) осветление е универсален термин за описание на сцена, в която са взети предвид всички аспекти на непряката светлина – отскачане, отразяване и пречупване. Един от алгоритмите за недиректната светлина в *Mental Ray* – *Global Illumination* симулира разпределението на светлината в дадена сцена, като използва теоретични фотони, като средство за измерване и разсейване на светлината и изчислява начина, по който светлината пътува между повърхностите на обектите чрез физически коректния метод за проследяване на лъчи, който е подробно описан (фиг. 1). Прехвърлянето на свойства между отделните повърхности при алгоритъма глобално осветление може да бъде съхранен в т.нар. фотонна карта. Фотонната карта е техника за записване на разпределението на фотоните в триизмерното пространство и тяхната енергийна (RGB) цвотова стойност. Фотонният метод за създаване на недиректно осветление в *Mental Ray* е много близък до това, което се случва в природата. В реалния живот обаче броят на фотоните е безкраен. В *Mental Ray* броят на фотоните представлява много малък процент от реалните условия.



Фиг. 1

Затова чрез използване на фотонна карта се усредняват стойностите на фотоните. Едно от преимуществата на *Global Illumination* е запазването на цветността, яркостта и контраста на повърхностите без прекомерно време за изчисляване.

Друг алгоритъм за изчисляване на недиректно осветление в *Mental Ray* е *Final Gather* (окончателно събиране). Първоначално този алгоритъм е бил създаден за почистване на недостатъците от Глобалното осветление, като намаляване на шума и изглаждане на осветлението. Впоследствие се превръща в самостоятелен инструмент, подходящ за визуализиране на всякакви интериорни и екстериорни сцени. *Final Gather* е метод за събиране на недиректна или отразена светлина. Това също е физически коректен метод и е много добра алтернатива на изчисляването на фотони. *Final Gather* подобрява реализма и яркостта на визуализираните изображения. При него също се проследяват лъчи в сцената, но основната разлика е, че лъчите се излъчват не от светлинен източник, а от произволни полусферични точки по повърхността на обектите (фиг. 2). От тези точки лъчите се разпространяват в произволни посоки. Те се отразяват, поглъщат или пречупват. Информацията на всички лъчи от дадена точка се събира, като за тази точка се взема усреднена стойност.



Фиг. 2

Реалистичният ефект на симулираното глобално осветление може да бъде подсилен с техниките, които предлагат и двете рендер системи.

Това са атмосферната оклузия, „каустик“ ефектът, транслюценцията и собственото светене на материалите.

Ефектът атмосферна оклузия спомага за увеличаване на дълбочината и контраста при близко стоящи или допиращи се повърхнини. За по-прецизен контрол на контактните сенки атмосферната оклузия може да бъде визуализирана като самостоятелен пас и впоследствие насложена в софтуер за композиране и постпродукция.

„Каустик“ ефектът се появява, когато светлина докосне отразяваща водна или стъклена повърхност и се концентрира от вълничките на повърхността, което предизвиква отблясъци и нееднородни светли петна върху околните обекти. Когато светлината се отрази или пречупи от неравна повърхност, тя се съчетава в снопове, които са с увеличен интензитет (увеличителна лупа) или просто отразяват много интензивна светлина с минимална абсорбция (огледало).

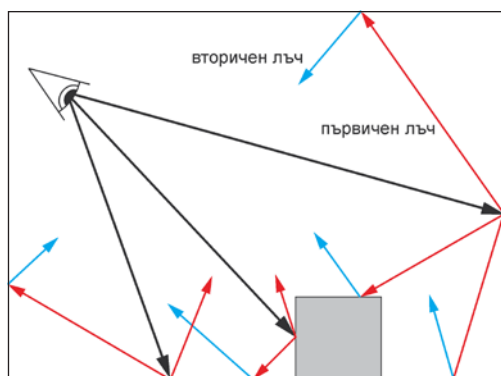
Транслюценцията е специфична форма на прозрачността. Терминът описва явление, при което светлината преминава през повърхността на обект, най-често с полупрозрачен материал. Когато светлината падне върху някаква повърхнина, тя реагира по някакъв начин с нея. Идеалната дифузно отразяваща повърхност би отразила светлинния лъч от същата точка, в която той я е ударил. Това обаче няма да се получи, ако светлинен лъч удари транслюцентна повърхност, например човешка кожа. В реалността повечето неметални повърхнини съдържат определена степен на транслюценция или полупрозрачност. Това създава необходимост от симулиране на подобен ефект в компютърната графика, за да бъдат наподобени тези сложни взаимодействия.

Подробното изследване на системите за недириктно осветление разглежда също и специфичния метод на осветление чрез използване на 32 битови фонове изображения с висок динамичен обхват. Тези изображения осигуряват много голям тонален диапазон, което осигурява повече контраст и по-реалистично осветление. Сферични изображения с висок динамичен диапазон могат да бъдат използвани за обкръжаващо осветление на интериорни пространства, като симулация на реална среда. В този случай те често са единственият източник на светлина в сцената.

При вмъкване на фонове изображения с висок динамичен диапазон се дава възможност за прецизен контрол на тяхната експозиция, като така може да се симулират разнообразен светлинен интензитет. В този смисъл са анализирани експозиционният контрол при Mental Ray и физическата камера при V-Ray и е подчертана ролята им като мощен и прецизен инструмент за настройка на изходните изображения.

Подробно е разгледан начина на действие на четирите алгоритъма за непряко осветление и в другия най-мощен рендерер – V-Ray. При него се използва метод на осветление чрез т.нар. първични и вторични отскоци на светлинните лъчи. Всички методи могат да бъдат използвани, както самостоятелно, така и в най-различни комбинации, което изисква сериозни познания на принципа на действие на всеки от тях.

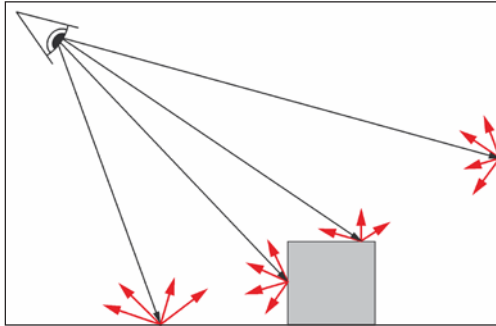
Алгоритъмът *Brute Force* (груба сила) изчислява глобалното осветление за всеки пиксел от изображението, поотделно и независимо от съседните пиксели, въз основа на информацията от първични и вторични лъчи (фиг. 3). Предимствата на този метод са, че е много лесен за употреба, резултатът е много логичен и прецизен и се визуализират много малки детайли. Основният недостатък на този метод е, че изисква изключително много време за изчисление, особено в сложни сцени.



Фиг. 3

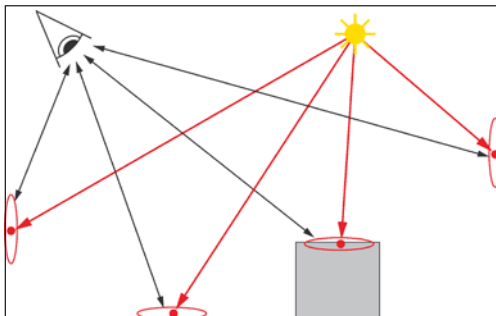
Вторият алгоритъм *Irradiance Map* (карта на излъчване) използва интерполация на пиксели между изчисляваните области

(*фиг. 4*). Предимствата на този метод са, че изисква по-малко време за изчисление, дори при сложни сцени, а резултатът от изчислението може да бъде запазван и прилаган отново без да е необходимо преизчисляване. Основен недостатък е, че изчисленията обхващат само видимата част от сцената, а при интерполацията се загубват много детайли в сенките.



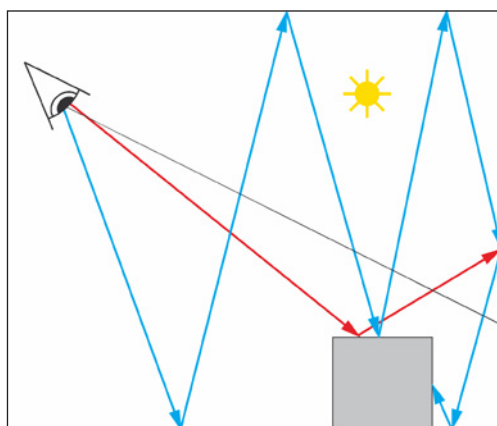
Фиг. 4

Третият метод за изчисляване на непряко осветление при V-Ray, *Photon map* (фотонна карта) е много подобен на глобалното осветление в Mental Ray. Тук също се използват частици (фотони), излъчени от всички светлинни източници в сцената, които се удрят и отскачат от повърхностите до изчерпване на тяхната енергия, създавайки точки с информация за осветеност. (*фиг. 5*) Предимството на този метод е, че изчисленията не зависят от гледната точка и отнемат много малко време. Методът обаче не достатъчно прецизен и реалистичен.



Фиг. 5

Действието на четвъртия метод *Light cache* (складирана светлина) отново се основава на излъчване на фотони, които не се излъчват от светлинните източници, а от камерата. Проследява се пътя на множество лъчи, а информацията, която се връща от отразените лъчи описва триизмерната структура. Методът е много бърз, тъй като се използва само един единствен емитер на лъчи (фиг. 6). Основният недостатък е, че се налага преизчисляване на осветлението при всяка промяна в позицията на камерата.



Фиг. 6

След проследяване на развитието на триизмерната компютърна графика и визуализация и очертаване на тенденциите в този сектор и след направения подробен сравнителен анализ на методите за непряко осветление на най-използваните рендер алгоритми са изведени следните заключения:

- В развитието на компютърното проектиране в дизайна като тенденция се налага триизмерността.
- Програмите за триизмерна компютърна графика и визуализация са мощен и в днешно време задължителен инструмент в професията на дизайнера.

- Реалистична триизмерна визуализация може да бъде постигната само чрез използване на физически коректни светлинни източници и алгоритми за симулиране на недиректно осветление.
- Осветлението на интериорни и екстериорни сцени, симулирано с Mental Ray и V-Ray е изключително реалистично и физически коректно.
- Наличието на множество алгоритми за недиректно осветление спомага за решаването на специфични задачи при визуализацията на архитектурни обекти.
- Липсва единен подход за решаване на сложните взаимодействия на обектите и материалите със светлината, което води до съществени затруднения при решаване на резика проблеми.

Заключение и изводи

В днешно време триизмерното компютърно проектиране и визуализация играят значителна роля в областта на архитектурата и дизайна. Образованието в тази дисциплина е предимно практическо, но задълбочените теоретични изследвания биха подпомогнали разбирането на процесите и биха ускорили още повече компютърните технологични разработки в областта. Систематизираните резултати от изследваните проблеми и поставените задачи могат да имат реална приложимост при разработване на нови методи за симулиране на реалистично осветление, които да обединяват сложните алгоритми за изчисление в единна система за реалистична визуализация.

Като обобщение на дисертационния труд биха могли да се формулират следните окончателни изводи:

- На базата на многобройни примери настоящата дисертация изтъква огромната роля на светлината в живота на човека и влиянието ѝ върху настроението и поведението на хората.
- Систематизираното осветление на интериорни пространства е мощен

инструмент за психологическо и естетическо въздействие, като основната му цел е да създаде позитивно емоционално усещане на обитателите.

- Светлината е основно изразно средство при реалистичните компютърни триизмерни визуализации.
- Законите, формулиращи поведението на светлината в реалността с важат и за виртуалната триизмерна среда.
- Компютърните алгоритми за недириктно осветление подпомагат реалистичното визуализиране на архитектурни обекти.
- Внимателното наблюдение и подробното анализиране на светлинните взаимодействия с различните среди и материали в реалността е ключ за правилното пресъздаване на осветлението при визуализиране на виртуални архитектурни пространства.

Справка за приносите на дисертационния труд

- За първи път на български език светлината е разгледана в контекста на компютърното триизмерно визуализиране на архитектурни обекти.
- Настоящата научноизследователска работа се занимава с изключително актуален проблем, много важен в работата на дизайнери и архитекти, тъй като в днешното технологично и компютризирано време реалистичната триизмерна визуализация е важно условие за успешно представяне на идеите.
- Достъпният терминологичен апарат дава ясна и систематизирана представа дори на неспециалисти в областта на дизайна за характеристиките на светлината, цветовете, материалите, сенките, както и на редица специализирани компютърни термини.
- Текстът задълбочено анализира методите за реалистично симулиране на директна и недиректна светлина на екстериорни и интериорни пространства с помощта на триизмерната компютърна графика.
- Настоящият дисертационен труд се явява едно от първите изследвания на български език в областта на теорията на триизмерната компютърна визуализация на интериорни и екстериорни пространства. Текстът би могъл да послужи както на преподаватели и студенти по интериорен дизайн и архитектура, така и на по-широк кръг читатели, които проявяват интерес в тази област.
- В изследването са проучени, анализирани и систематизирани голям брой чуждоезични източници, свързани с темата за светлината в интериора и светлината в компютърната графика, включително и много рядка литература. Това би помогнало на бъдещи автори в областта, тъй като в България литературата по темата е оскъдна.
- Настоящото изследване може да послужи като основа за бъдещи проучвания в областта на осветлението на триизмерни сцени, а направените в него изводи – да намерят практическо приложение при разработване на нови алгоритми за директна и недиректна светлина.

Публикации на автора по темата на дисертацията

Конференции:

- **„Компютърното проектиране в дизайна – история, развитие и тенденции“** Научна конференция „Дизайн и архитектура – теория, практика и взаимодействие“, (2011), Нов български университет, София
- **„Lighting Design of Hotels and Hotel Complexes“** Втора международна научна конференция – „Икономика, мениджмънт и туризъм“, (2011), Югозападен университет „Неофит рилски“, кк. Дюни

Публикации:

- **„Използване на фотометрични източници на светлина при триизмерна визуализация на архитектурни обекти.“** Сборник научни публикации, ISSN: 1314-7188, бр. 1/2012, София, Нов български университет
- **„Физиология на визуалното възприятие“** Сборник научни публикации, ISSN: 1314-7188, бр. 2/2013, София, Нов български университет
- **„Принципи на осветлението с Mental Ray“** Сборник научни публикации, ISSN: 1314-7188, бр. 2/2013, София, Нов български университет

Творческа дейност:

- Фотоизложба **„Светлинни импровизации“**, (2011), Нов български университет

Библиография на цитираната литература в дисертацията

Буймистру, Татяна (2008), Колористика: цветът – ключ към красотата и хармонията, изд. Ниола-Пресс, ISBN 978-5-366-00366-7

Гълъбова-Гикова, Илияна (2012), Сборник научни публикации (1), Нов български университет, ISSN& 1314-7188

Радоева, Антоанета (2012) Графичен дизайн. Основни понятия на визуалния език, изд. „Славена“, Варна

Райчев, Румен (2005). Цветовете в изкуството. ИК Лик, София

Стефанова, Гергана (2012), Архитектурни средства, свързани с естествената светлина – Атомизация на светлината, Сборник научни публикации (1), Нов български университет, ISSN& 1314-7188

Camgeloso, Sal (2012), LED Lighting, O'Reilly Media, Inc., ISBN 978-1-449-33476-5

Cardoso, Jamie (2013), Crafting 3D Photorealism: Lighting Workflows in 3DS Max, Mental Ray and V-Ray, 3D Total Publishing, ISBN: 978-0-9568171-5-0

Cuttle Christopher, (2008), Lighting by Design, Architectural Press, ISBN 978-0-7506-8768-3

Fielder, William et al. (2001), The Lit Interior, Architectural Press, ISBN: 0-7506-4890-2

Hunter, Fil et al. (2007), Light – Science & Magic, Elsevier Inc., ISBN 0-240-80819-3

Phillips, Derek (2000), Lighting modern buildings, Architectural Press, ISBN 0 7506 4082 0

Phillips, Derek (2004), Daylighting: natural light in architecture, Architectural Press, ISBN 0 7506 6323 5

Poore, Jonathan (1994), Interior Color by Design, Rockport Publishers,
ISBN: 1-56496-037-4

Storey, Sally (2008), Perfect Lighting: Inspiring Solutions for Every Room,
Creative Homeowner, ISBN: 978-1-58011-417-2