



ЮГОЗАПАДЕН УНИВЕРСИТЕТ "НЕОФИТ РИЛСКИ"
ТЕХНИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ
КАТЕДРА „КОМУНИКАЦИОННА И КОМПЮТЪРНА
ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

ДИНКО ЖУЛИЕН СТОЙКОВ

КОМПЮТЪРНИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В ИНЖЕНЕРНИТЕ
НАУКИ

АВТОРЕФЕРАТ

ЗА ПРИСЪЖДАНЕ НА ОБРАЗОВАТЕЛНА И НАУЧНА СТЕПЕН
„ДОКТОР“ В ПРОФЕСИОНАЛНО НАПРАВЛЕНИЕ 5.3.
„ТЕХНИЧЕСКИ НАУКИ“, ДОКТОРСКА ПРОГРАМА
„КОМПЮТЪРНИ СИСТЕМИ, КОМПЛЕКСИ И МРЕЖИ“

НАУЧЕН РЪКОВОДИТЕЛ:
ДОЦ. Д-Р ИВАН ТРЕНЧЕВ

БЛАГОЕВГРАД 2021

Дисертационният труд се състои от увод, изложение в три глави, заключение, списък с използваната литература, приложение и декларация за оригиналност. Общият обем на разработката е 152 стандартни страници.

Увод

Визуализацията се определя в речника като „мисловен образ“. В областта на компютърната графика и инженерен дизайн терминът има много по-специфично значение. Визуализацията се занимава с проявата на поведение и по-специално със създаването на сложни състояния на поведение, разбираем за човешкото око “ЕЗИК”.

Компютърната графика някога беше описана като „решение в търсене на проблем“. Един от най-ранните проблеми, с които се занимаваше, беше инженерният анализ и извършване на симулации. В процеса на развитие двете дисциплини се обединиха в областта на компютърно подпомаганото инженерство (CAE), която се разви от академична концепция, в стандартна част от инженерството днес.

В настоящата разработка разглеждаме връзката между визуализацията и инженерството в областта на визуализацията и въздействието на визуализацията върху технологията като цяло. Както при действителната аналитична работа, ефектите от визуализирането на инженерното поведение се показват най-добре чрез снимки.

Много основни аспекти на разбирането на инженерното поведение датират още от предишния век, включително основните теории за еластичността и връзките на Навие-Стокс за потока на течността. Методите за инженерен анализ съчетават принципи като тези с приблизителни техники за анализ, подходящ за цифрови изчисления. Интересът към така наречените „матрични“ методи за приблизителен анализ датира от през 1940 г. публикации на Курант и др.

Тези матрични методи - базирани на концепцията, че даден модел или структура могат да бъдат апроксимирани от мрежа от малки, свързани елементи, допринасящи за условията на матрично уравнение - започнаха да стимулират сериозен интерес през 50-те и 60-те години на миналия век. Много изследователи разработиха основите на метода на крайните елементи, който формира основата за голяма част от днешната аналитична работа в механика на твърдото тяло и симулациите. Анализът на крайни елементи обикновено включва извършване на матричното решение на определен набор от елементи, измерване на грешката на решението с помощта на техники като енергийни методи и прецизиране на тази мрежа от елементи.

В съвременния свят, с развитието на технологиите, става възможно да се създават дизайнерски арт обекти от разработената скица до изпълнението на проекта в материал с помощта на компютърна графика. Благодарение на програмите за векторна графика и появата на лазерно и фрезово оборудване с цифров софтуер (CNC), дизайнерите успяха

да пренесат чертежа върху материала, използвайки технология за рязането му. Обект на изследването са програми за векторна графика и различните начина на визуализиране.

Технологията за визуализация може да се използва за графично илюстриране на различни концепции в компютърните науки. Ние твърдим, че такава технология има перспективи в образователната стойност.

Въз основа на преглед на експериментални изследвания на ефективността на визуализацията, ние мотивираме тази позиция на фона на настоящите нагласи и най-добрите практики по отношение на използването на визуализация. Предлагаме нова таксономия на ангажираността на обучаемия с технологията за визуализация. Въз основа на тези таксономии на показателите за ангажираност и ефективност, ние представяме рамка за експериментални изследвания на ефективността на визуализацията.

В този дисертационен труд описваме геометричната абстракция като стратегия за създаване на интегрирана система за визуализация на научни данни. Предложеният подход създава множество изобразявания на пространствени данни по два доминиращи начина: по оста на постепенното визуализиране на пространствените детайли и по оста на визуалния детайл. Представянето на обектите по подходящ начин дава възможност на експерта да долови съответствието между тези изображения и да направи симулации за контролируеми анимирани преходи. Пространството за абстракция може да взаимодейства с потребителите и да предоставя визуални индикации, които да насочват експерта към интересни представи за определена задача и набор от данни. Менталните модели играят решаваща роля в разбирането на абстрактните представи и се разглеждат в дизайна на визуализационната система, за да поддържат когнитивното натоварване от страна на потребителя ниско.

Реконструирането и моделирането на градски среди и стари археологически градове се превърна във важна задача в днешната индустрия. Районът на 3D моделиране обикновено включва създаването на триизмерна геометрия и съответните текстури въз основа на заснетите входни данни в градска среда. Понастоящем това е много активно изследвано поле, засягащо не само областите на компютърната графика, компютърното зрение и изчислителната геометрия, но също така и няколко приложения - като градоустройство, опазване на културно-историческо наследство, осветление, проектиране или проучване. Чрез технически напредък, съчетан с драстично намаляване на цените, придобитите техники (като например лазерни скенери, фотограмметрия или инфрачервени обхватни скенери) са се превърнали във високо усъвършенствани, но и широко достъпни за

потребителите инструменти. С тях огромни количества точково базирани данни (т.е. голям брой триизмерни координати на заснетите повърхности, понякога с мета данни като цвят, вектори и т.н.) на различни видове обекти се генерират. Този „традиционен“ вид за събиране на данни се усилва все повече от допълнителни източници на данни, например като снимки, генерирани от потребителя пояснения или други семантични източници като 2D карти или данни, заснети от поведението на потребителя (например траектории от GPS данни за мобилен телефон). Освен това симулациите се използват за незабавна оценка на реконструирани и моделираните сценарии в целевата им проблемна област: Оптималното прилагане на мерки за защита в случай на наводнения, въздействието на нова сграда върху пейзажа, или - както е използвано в настоящата разработка - разпределението на светлината в 3D сценарий, са примери за методи, базирани на симулации за генериране на данни, засягащи крайния резултат от реконструкцията.

Това доведе до нови предизвикателства по отношение на обработката на придобитите и симулирани данни, като последващото моделиране и стъпките след обработка, които далеч не са толкова сложни и проблематични за справяне, като тези за придобиване. Водени от различните нужди на съответните полета, изискванията за реконструкция зависят от контекста, в който по-късно тя ще бъде използвана. Освен от самата реконструкция на геометричната структура и текстурата на предметите, търсенето за допълнителна контекстуална информация и включването на данни се променят непрекъснато. Това настъпва поради нарастващата сложност на наличните данни и все по-сложни случаи на употреба. Мултимодалната информация е важна не само в бъдещите приложени стъпки (например лесно подправяне на елементи, поставяне на етикети, георефериране и т.н.), но може също така да предостави ценна помощ по време на самия процес на придобиване или моделиране. Обхващането на такава допълнителна информация в процеса на реконструкция на 3D сгради е не само незадължително подобрение, а необходимост от ред да подобрим днешните модели на работните процеси по отношение на бързината и осъществимостта. Това също е отразено в идеите и концепциите на така нареченото строително информационно моделиране (BIM-Building Information Modelling) - процес, при който 3D данните се обогатяват от четвърто (време) и пето измерение (разходи).

Тази разработка представя работа от рецензирани публикации, които са създадени в контекста на мултимодална реконструкция, моделиране и симулация. Макар че са разгледани различни аспекти - от оптимизирано, интерактивно създаване на ниско полигонални триизмерни модели,

използващи нови заснемащи методи 2D скициращи инструменти , базирани на снимки, до ефективен, физически точен директен лек транспорт - всяка част от него действа като свободно комбиниращ се „градивен елемент“ за създаване на методи и инструменти за напредък в областта.

Една от крайните дългосрочни цели на този труд е да създаде средства за развитие на работни процеси, съчетаващи двата свята на лекия транспорт и градската реконструкция. Цялостното обединяване на тези аспекти в една обща среда не само увеличава съответната постижима точност, но също така предизвиква напълно нови работни процеси и подходи в тези интерактивни домейни. Имайки предвид този стратегически контекст, в който са разгледаните публикации, ние си поставихме следните цели в този дисертационен труд:

1. Да се изследват различните начини за създаване на сложни примитиви и как могат да се включат в сложни сцени;
2. Да се проучат нови възможности за движението на виртуалната камера чрез мисловна дейност;
3. Да се проучи мнението на студентите за мястото на компютърната графика в обучението им.

Въз основа на поставените цели се формулираха следните задачи:

1. Изследване на съществуващи решения за пренасяне на векторна анимация, техните силни и слаби страни;
2. Описание на алгоритмите на работа за създаване на реални обекти с отличен федерализъм;
3. Да се проучи възможността за дигитализация на паметници чрез създаване на тримерни обекти;
4. Да се създаде триизмерен модел на древен град;
5. Да се използва разпознаване на образи за анализ на ЕЕГ сигнал и как може да се управлява виртуална камера;
6. Да се изследват нови възможности за моделиране на движението на виртуални обекти.

ПЪРВА ГЛАВА

1.1 Трансформации и матрици

Матричните елементи могат да представляват различни величини, като например съхранение на числа, мрежа или коефициенти на набор от уравнения. Правилата на матричната алгебра определят допустимите операции върху тези матрици. Много физически проблеми водят до матрична формулировка. За модели на физически системи задачата е формулирана като: използват се матриците $[A]$ и $[B]$ и се изчислява матрицата на разтвора $[T]$, т.е. $[A][T] = [B]$. В този случай решението е $[T] = [A]^{-1}[B]$, където $[A]^{-1}$ е обратното на квадратната матрица $[A]$.

Алтернативно тълкуване е да се третира матрицата на разтвора $[T]$ като геометричен оператор. Тук се използва матрично умножение, за да се извърши геометрична трансформация върху набор от точки, представен от векторите на позицията, съдържащи се в $[A]$. Матриците $[A]$ и $[T]$ се приемат за известни. Необходимо е да се определят елементите на матрицата $[B]$. Тълкуването на матрицата $[T]$ като геометричен оператор е в основата на математически преобразувания, полезни в компютърната графика.

Резултатите от умножението на матрица $[x \ y]$, съдържаща координатите на точка P и обща матрица за трансформация 2×2 , може да се представят по следния начин [Leadbetter & Thomas, 1989]:

$$[X][T] = [x \ y] \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = [(ax + cy)(bx + dy)] = [x^* \ y^*]$$

Тази математическа нотация означава, че началните координати x и y се трансформират в x^* и y^* , където $x^* = (ax + cy)$ и $y^* = (bx + dy)$. Интересуваме се от последиците от разглеждането на x^* и y^* като преобразувани координати на точка P . Започваме с изследване на няколко специални случая.

Разглеждаме случая, където $a = d = 1$ и $c = b = 0$. Матрицата на трансформация $[T]$ се свежда до идентичността на матрицата:

$$[X][T] = [x \ y] \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = [x \ y] = [x^* \ y^*]$$

Поради това и няма промяна в координатите на точката P . Тъй като матричната алгебра, умножена по идентичността на матрицата, е еквивалентна на умножаване по 1 в обикновената алгебра, този резултат се очаква.

След това разглеждаме $d = 1$, $b = c = 0$. т.е.:

$$[X][T] = [x \ y] \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = [ax \ y] = [x^* \ y^*]$$

което, тъй като $x^* = ax$, произвежда промяна на мащаба в x компонента на вектора на положението. Ефектът от тази трансформация е показан на **Фиг. 1.1**.

Нека $b = c = 0$, т.е.:

$$[X][T] = [x \ y] \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & d \end{bmatrix} = [ax \ dy] = [x^* \ y^*]$$

Това води до мащабиране както на x , така и на y координати на първоначалния вектор на положение P . Ако $a \neq d$, тогава скалиранията не са равни. Ако $a = d > 1$, тогава се получава чисто увеличение или мащабиране на координатите на P . Ако $0 < a = d < 1$, тогава се получава компресия на координатите на P [Ahmadi et al., 2020].

Ако a и/или d са отрицателни, се появяват отражения през ос или равнина. За да се види това, трябва $b = c = 0$, $d = 1$ и $a = -1$. Тогава:

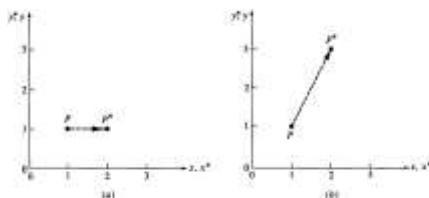
$$[X][T] = [x \ y] \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = [-x \ y] = [x^* \ y^*]$$

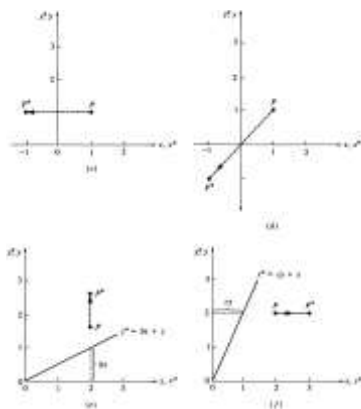
и отражение през y -оси, както е показано на **Фиг 1.1**.

Ако $b = c = 0$, $a = 1$ и $d = -1$, тогава се появява отражение през оста x . Ако $b = c = 0$, $a = d < 0$, тогава се появява отражение през произхода. Това е показано по следния начин: $a = -1$, $d = -1$. Тук трябва да се отбележи, че както отражението, така и мащабирането на координатите включват само диагоналните термини на трансформационната матрица. Нека разгледаме ефектите от недиагоналните термини. Първо разглеждаме $a = d = 1$ и $c = 0$. Така:

$$[X][T] = [x \ y] \begin{bmatrix} 1 & b \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = [x(bx + y)] = [x^* \ y^*]$$

Тук трябва да се посочи, че x координатите на точката P са непроменени, докато y^* зависи линейно от оригиналните координати. Този ефект се нарича срязване, както е показано на **Фиг. 1.1**.





Фиг. 1.1. Преобразованя на права

По същия начин, когато $a = d = 1$, $b = 0$, трансформацията произвежда срязване - пропорционално на y координатата, както е показано на **Фиг. 1.1.** По този начин виждаме, че недиагоналните термини дават срязващ ефект върху координатите на позиционния вектор за P .

В процеса на трансформацията на точка трябва да се обърне внимание на ефекта на общата трансформация 2×2 , дадена от уравнение $[X][T] = [x \ y] \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = [(ax + cy)(bx + dy)] = [x^* \ y^*]$, когато се приложи към произхода, т.е.:

$$[x \ y] \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = [(ax + cy)(bx + dy)] = [x^* \ y^*]$$

или за произхода:

$$[0 \ 0] \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = [0 \ 0] = [x^* \ y^*]$$

Тук виждаме, че произходът е непроменен при общата трансформация 2×2 . Това е ограничение, което ще бъде преодоляно чрез използването на хомогенни координати.

Права линия може да се дефинира от два вектора на позицията, които определят координатите на неговите крайни точки. Позицията и ориентацията на линията, свързваща тези две точки, може да бъде променена чрез опериране на тези две вектори на позицията. Действителната операция по изтегляне на линия между две точки зависи от използваното дисплейно устройство. Тук разглеждаме само математическите операции върху векторите на позициите на крайните точки [Xu et al., 2019].

На **фигура 1.2** се прави права линия между две точки А и В в двумерна равнина. Векторите на позициите на точки А и В са $[A] = [0 \ 1]$ и $[B] = [2 \ 3]$. Сега нека разгледаме отново матрицата на трансформацията. Трансформирането на векторите на позициите на А и В с помощта на $[T]$ произвежда нови трансформирани вектори за позиция А* и В*, дадени от:

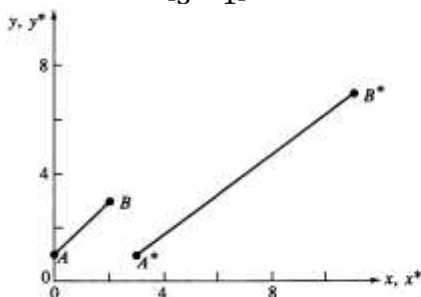
$$[A][T] = [0 \ 1] \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 1 \end{bmatrix} = [3 \ 1] = [A^*]$$

И

$$[B][T] = [2 \ 3] \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 1 \end{bmatrix} = [11 \ 7] = [B^*]$$

Така получените координати за А* са $x^* = 3$ и $y^* = 1$. По подобен начин В* е нова точка с координати $x^* = 11$ и $y^* = 7$ (Фиг.1.2):

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 1 \end{bmatrix}$$



Фиг. 1.2. Трансформация на права линия

По-компактно линията АВ може да бъде представена от 2 x 2 матрица:

$$[L] = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 2 & 3 \end{bmatrix}$$

При умножаване на матрицата с $[T]$ получаваме:

$$[L][T] = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 2 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 11 & 7 \end{bmatrix} = [L^*]$$

където компонентите на $[L^*]$ представляват трансформираните вектори за положение $[A^*]$ и $[B^*]$. На **фигура 1.2** е показана трансформацията на А в А* и В в В*.

Когато 2 x 2 матрица се използва за трансформиране на двойка успоредни линии, резултатът е втора двойка успоредни линии. За да се види това, трябва да се разгледа линията между $[A] = [x_1 \ y_1]$ и $[B] = [x_2 \ y_2]$ и линия, успоредна на АВ между Е и F, наклоните на АВ, EF, А* В* и Е* F*. Тъй като те са успоредни, наклонът на АВ и EF е:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Преобразуването на крайните точки на АВ, използвайки обща трансформация 2 x 2, дава крайни точки на А * В *:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} [T] &= \begin{bmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} ax_1 + cy_1 & bx_1 + dy_1 \\ ax_2 + cy_2 & bx_2 + dy_2 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} x_1^* & y_1^* \\ x_2^* & y_2^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A^* \\ B^* \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Използвайки трансформираните крайни точки, наклонът на А * В * тогава е:

$$m^* = \frac{(bx_2 + dy_2) - (bx_1 + dy_1)}{(ax_2 + cy_2) - (ax_1 + cy_1)} = \frac{b(x_2 + x_1) - d(y_2 + y_1)}{a(x_2 + x_1) - c(y_2 + y_1)}$$

или

$$m^* = \frac{b + d \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}}{a + c \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}} = \frac{b + dm}{a + cm}$$

Тъй като наклонът m^* е независим от x_1 , x_2 , y_1 и y_2 , и тъй като m , a , b , c и d са еднакви за ЕФ и АВ, следва, че m^* е същото и за Е * F * и А * В *. По този начин паралелните линии остават успоредни след трансформацията. Това означава, че паралелограми са в други паралелограми, когато се работи с обща трансформационна матрица 2 x 2. Тези прости резултати започват да показват силата на използване на матрично умножение за създаване на графични ефекти.

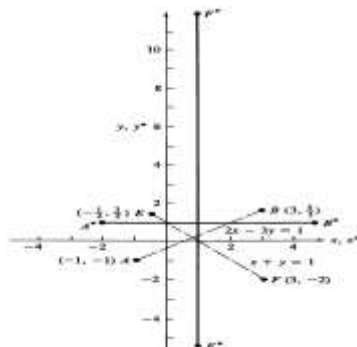
Когато се използва обща матрица 2 x 2 за трансформиране на чифт пресичащи се прави линии, резултатът е и двойка пресичащи се прави линии. За да се види това, трябва да се вземе под внимание двойка линии, например прекъснатите линии на (Фиг 1.3):

$$\begin{aligned} y &= m_1x + b_1 \\ y &= m_2x + b_2 \end{aligned}$$

Преформулиране на тези уравнения в добивите на матричните нотации:

$$\begin{aligned} [x \ y] \begin{bmatrix} -m_1 & -m_1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} &= [b_1 \ b_2] \\ [X] [M] &= [B] \end{aligned}$$

Ако съществува решение на тази двойка уравнения, тогава линиите се пресичат.



Фиг. 1.3. Визуализиране на пресичащи линии

Ако тези две линии сега се трансформират, използвайки обща матрица за трансформация 2×2 , получена от:

$$[T] = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$$

след това те имат формата:

$$y^* = m_1^* x^* + b_1^*$$

$$y^* = m_2^* x^* + b_2^*$$

Това е относително лесно да се покаже:

$$m_i^* = \frac{b + dm_i}{a + cm_i}$$

$$b_i^* = b_i(d - cm_i^*) = b_i \frac{ad - bc}{a + cm_i^*} \quad i = 1, 2$$

Пресечната точка на трансформираните линии се получава по същия начин, както при нетрансформираните линии. Поради това,

$$\begin{aligned} [X_i^*] &= [x_i^* \ y_i^*] \\ &= \left[\frac{b_1^* - b_2^*}{m_2^* - m_1^*} \ \frac{b_1^* m_2^* - b_2^* m_1^*}{m_2^* - m_1^*} \right] \end{aligned}$$

1.2. Трансформации на твърдо тяло

Тук трябва да се акцентира върху въпроса как перпендикулярните линии се трансформират като перпендикулярни линии. Първо трябва да се разгледа малко по-общият въпрос кога е запазен ъгълът между пресечните линии.

Необходимо е да се посочи, че точката или скаларният продукт на два вектора е:

$$V_1 \cdot V_2 = V_{1x}V_{2x} + V_{1y}V_{2y} = |V_1||V_2| \cos \theta$$

и кръстосаното произведение на два вектора, ограничени до двумерната ху равнина, е:

$$V_1 \cdot V_2 = (V_{1x}V_{2y} - V_{1y}V_{2x})k = |V_1||V_2|k \sin \theta$$

където индексите x, y се отнасят до x и y компонентите на вектора, θ е остър ъгъл между векторите и k 'е единичният вектор, перпендикулярен на ху равнината.

Трансформиране на $V_{1,1}$ и $V_{2,2}$ при използване на общо 2 x 2 трансформационни добиви:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} [T] &= \begin{bmatrix} V_{1x} & V_{1y} \\ V_{2x} & V_{2y} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} aV_{1x} & cV_{1y} & bV_{1x} & dV_{1y} \\ aV_{2x} & cV_{2y} & bV_{2x} & dV_{2y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1^* \\ V_2^* \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Кръстовият продукт на $\bar{v}_1^*$ и $\bar{v}_2^*$ е:

$$V_1^* \times V_2^* = (ad - cb)(V_{1x}V_{2y} - V_{2x}V_{1y})k = |V_1^*||V_2^*|k \sin \theta$$

Използвани са различни конвенции за представяне на данни и за предварително преобразуване с матрично умножение. Необходимо е изключително внимание при определяне на проблема и интерпретиране на резултатите. Например, преди да се извърши ротация, трябва да се отговори на следните въпроси:

- Дали позиционните вектори (върхове) трябва да се въртят, дефинирани спрямо дясната координатна система или в лявата координатна система?

- Обектът или координатната система се въртят?

- Как се определят положителните и отрицателните ротации?

- Запазени ли са векторите на позициите като матрица на редове или като колонна матрица?

- За коя линия или ос се извършва ротация?

В настоящото изследване се използва дясна координатна система, обектът се завърта във фиксирана координатна система, позитивната ротация се определя с дясното правило, т.е. позитивната ос и позицията vectros се представят отново като матрици на редове [Billie et al., 2019].

Уравнението дава трансформациите за положително въртене около началната или около z-ос. Тъй като векторите на позицията са представени като матрици от редове, матрицата за трансформация се появява след матрицата на данни или векторна позиция. Това е трансформация след

умножение. Използването на хомогенни координати за положително въртене с ъгъл θ на обект, произходът (z-ос), използващ трансформация на пост-умножение, дава

$$[X^*] = [X][R]$$

$$[x^* \ y^* \ 1] = [x \ y \ 1] \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ако сме избрали да представим векторите на позицията в хомогенни координати като колонна матрица, тогава се използва същото въртене:

$$[X^*] = [R]^{-1}[X]$$

$$\begin{bmatrix} x^* \\ y^* \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

Уравнението се нарича премултипликационна трансформация, тъй като матрицата на трансформацията се появява преди колоната за позициониране на вектор или матрица на данните. Тук трябва да се отбележи, че матрицата 3 x 3 също така се транспонира. Това означава, че редовете и колоните са били претоварени.

За да се завърти координатната система и да запазят позиционните вектори фиксирани, се заменя θ с $-\theta$. В допълнение, $\sin \theta = -\sin(-\theta)$ и $\cos \theta = \cos(-\theta)$. **Уравнението** тогава е:

$$[x^* \ y^* \ 1] = [x \ y \ 1] \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ако координатната система се върти и се използва лява координатна система, тогава подмяната на θ с $-\theta$ се прави два пъти и отново е валидна, ако се приеме, че преобразуването на пост-умножение се използва в матрица с данни за ред.

Тук трябва да се обърне внимание на ефекта от превода в x , y , z посоките съответно с -1 , -1 , -1 , последвано от 30° въртене около оста x , и $+45^\circ$ въртене около ос y върху хомогенния вектор на координатната позиция $[3 \ 2 \ 1 \ 1]$.

Първо се добавя матрицата на свързващата трансформация [Borgo et al., 2013]

$$[T] = [T_r][R_x][R_y]$$

$$\begin{aligned}
&= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ l & m & n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \emptyset & 0 & -\sin \emptyset & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \emptyset & 0 & \cos \emptyset & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ l & m & n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \emptyset & 0 & -\sin \emptyset & 0 \\ \sin \emptyset \sin \theta & \cos \theta & \cos \emptyset \sin \theta & 0 \\ \sin \emptyset \cos \theta & -\sin \theta & \cos \emptyset \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} \cos \emptyset & 0 & -\sin \emptyset & 0 \\ \sin \emptyset \sin \theta & \cos \theta & \cos \emptyset \sin \theta & 0 \\ \sin \emptyset \cos \theta & -\sin \theta & \cos \emptyset \cos \theta & 0 \\ l \cos \emptyset & m \cos \theta & -l \sin \emptyset & 0 \\ +m \sin \emptyset \sin \theta & -n \sin \theta & +m \cos \emptyset \sin \theta & 1 \\ +n \sin \emptyset \cos \theta & +n \cos \emptyset \cos \theta & & \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

където θ , $\emptyset$ са ъгли на въртене около осите x и y ; и l , m , n , са коефициентите на трансляция в x , y , z , съответно.

За общ вектор на позицията имаме:

$$\begin{aligned}
[X][T] &= [x \ y \ z \ 1] = \begin{bmatrix} \cos \emptyset & 0 & -\sin \emptyset & 0 \\ \sin \emptyset \sin \theta & \cos \theta & \cos \emptyset \sin \theta & 0 \\ \sin \emptyset \cos \theta & -\sin \theta & \cos \emptyset \cos \theta & 0 \\ l \cos \emptyset & m \cos \theta & -l \sin \emptyset & 0 \\ +m \sin \emptyset \sin \theta & -n \sin \theta & +m \cos \emptyset \sin \theta & 1 \\ +n \sin \emptyset \cos \theta & +n \cos \emptyset \cos \theta & & \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} (x+l) \cos \emptyset & (y+m) \cos \theta & -(x+l) \sin \emptyset & 0 \\ +(y+m) \sin \emptyset \sin \theta & -(z+n) \sin \theta & +(y+m) \cos \emptyset \sin \theta & 1 \\ +(z+n) \sin \emptyset \cos \theta & & +(z+n) \cos \emptyset \cos \theta & \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

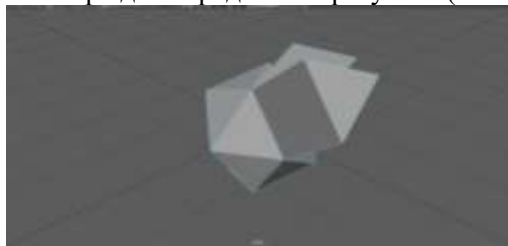
За специфични стойности на $\theta = +30^\circ$, $\emptyset = +45^\circ$, $l = -1$, $m = -1$, $n = -1$, трансформираният вектор на позицията е $[3 \ 2 \ 1 \ 1]$.

За да се потвърди, че конкатенираната матрица дава същия резултат, както и индивидуално прилаганите матрици:

$$\begin{aligned}
[X'] &= [X][T_r] \\
&= [3 \ 2 \ 1 \ 1] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \\
&= [2 \ 1 \ 0 \ 1]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[X''] &= [X'][R_x] = [2 \ 1 \ 0 \ 1] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.866 & 0.5 & 0 \\ 0 & -0.5 & 0.866 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
&= [2 \ 0.866 \ 0.5 \ 1] \\
[X'''] &= [X''][R_y] = [2 \ 0.866 \ 0.5 \ 1] \begin{bmatrix} 0.707 & 0 & -0.707 & 0 \\ 0 & 1 & 0.5 & 0 \\ 0.707 & 0 & 0.707 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
[X'''] &= [1.768 \ 0.866 \ -1.061 \ 1]
\end{aligned}$$

което потвърждава предишния резултат (Фиг. 1.4.).



Фиг. 1.4. Многоканална трансформация¹

Когато някой от първите три елемента от четвъртата колона на общата 4 x 4 хомогенна матрица за преобразуване на координатите е ненулева, резултатите от перспективната трансформация са представени на **Фигура 1.4**. Както вече споменахме, транспеминацията с перспектива е трансформация от една трета част към други три пространства. За разлика от паралелна трансформация, в перспективните трансформации се сближават паралелни линии, тоест размерът на обекта се намалява с увеличаване на разстоянието от централната проекция, а при неравномерното прекъсване на линиите в обекта като функция от ориентацията и разстоянието на обекта от центъра, възниква проекция. Всички тези ефекти спомагат за възприемането на дълбочината на зрителната система, но формата на обекта не се запазва:

Едноточковата перспективна трансформация е дадена от:

$$[x \ y \ z \ 1] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = [x \ y \ z \ r z + 1]$$

Тук $h = r z + 1 \neq 1$. Обикновените координати се получават чрез разделяне на h , за да се получи:

¹ <https://www.autodesk.com/products/maya/overview>

$$[x^* \ y^* \ z^* \ 1] = \left[\frac{x}{rz+1} \ \frac{y}{rz+1} \ \frac{z}{rz+1} \ 1 \right]$$

Перспективна проекция върху някакъв двуизмерен панел за наблюдение се получава чрез свързване на ортографска проекция с перспективна трансформация². Например, перспективна проекция върху равнината $z = 0$ е дадена от:

$$\begin{aligned} [T] &= [P_r][P_z] \\ &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ [x \ y \ x \ 1] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} &= [x \ y \ 0 \ rz+1] \end{aligned}$$

Обикновените координати са:

$$[x^* \ y^* \ z^* \ 1] = \left[\frac{x}{rz+1} \ \frac{y}{rz+1} \ 0 \ 1 \right]$$

За да се покаже, че **експлицитното описание** произвежда проекция на перспектива върху равнината $z = 0$, трябва да се разгледа центърът на проекция при z_c по z -ос. Координатите на проектираната точка P^* се получават при използване на подобни триъгълници от:

$$\begin{aligned} x^* &= \frac{x}{1 - \frac{z}{z_c}} \\ \frac{y^*}{\sqrt{x^{*2} + z_c^2}} &= \frac{y}{\sqrt{x^2 + (z_c - z)^2}} \\ y^* &= \frac{y}{1 - \frac{z}{z_c}} \end{aligned}$$

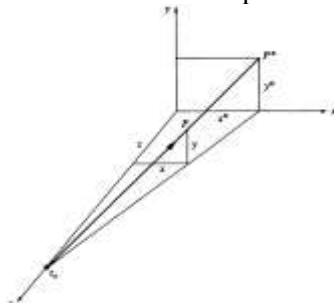
z^* е, разбира се, нула.

Отпускането на $r = -1 / z_c$ дава резултати, идентични с тези, получени при предишни изчисления. Така се произвежда перспективна проекция върху равнината $z = 0$ от центъра на проекция при $(-1 / r)$ по z -ос. Тук трябва да се отбележи, че както z_c се приближава до безкрайност, r се приближава към нула и аксонометрична проекция върху $z = 0$ плоскост. Освен това, за точки в равнината на проекция, т.е. $z = 0$, трансформацията на перспективата

² <https://pdf.nsc.ac.id/1-buku%20komputer%20grafis-20170515052347.pdf>

няма ефект. Също така, производът ($x = y = z = 0$) не се променя. Следователно, ако равнината на проекция ($z = 0$) минава през обект, тогава тази част от обекта се показва с истински размер и истинска форма.

Всички останали части на обекта са изкривени.



Фиг. 1.5. Перспективна трансформация

За да се разбере ефектът от перспективна трансформация, трябва да се разгледа **Фиг. 1.5**³. Тя показва перспективна проекция на $z = 0$ равнината на линията AB , първоначално успоредна на z -ос, в линията A^*B^* в равнината $z = 0$, от център на проекция при $-1/g$ на z -ос. Трансформацията може да се разглежда в две стъпки. Първо, перспективното преобразуване на линията AB дава триизмерната трансформирана линия $A'B'$. Последващата ортографска проекция на линията $A'B'$ в пространството на триизмерна перспектива върху равнината $z = 0$ от център на проекция в безкрайност по z -ос дава линия A^*B^* .

Изследването на **Фиг. 1.6** показва, че линията $A'B'$ пресича равнината $z = 0$ в същата точка като линията AB . Линията $A'B'$ също така пресича осите на z при $z = +1/g$. Ефективно тогава, трансформацията на точката на пресичане в безкрайността на линията AB , успоредна на z -оста и самата z -ос в крайната точка при $z = 1/g$ на z -ос. Тази точка се нарича точка на изчезване. Тук трябва да се отбележи, че точката на изчезване се намира на еднакво разстояние от противоположната страна на равнината на проекция от центъра на проекцията, например, ако $z = 0$ е равнината на проекция и центърът на проекцията е при $z = -1/g$, изчезващото положение е при $z = -1/g$ точката е при $z = +1/g$.

За да се потвърди това наблюдение, се взема предвид перспективното преобразуване на точката в безкрайност на $+z$ -ос, т.е.:

³ <https://www.springer.com/gp/book/9781447173342>

$$[0 \ 0 \ 1 \ 0] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = [0 \ 0 \ 1 \ r]$$

Точката $[x^* \ y^* \ z^* \ 1] = [0 \ 0 \ 1/r \ 1]$, съответстваща на трансформираната точка в безкрайността на положителната z-ос, сега е крайна точка на положителната z-ос. Това означава, че цялото безкрайно положително пространство $(0 \leq z \leq \infty)$ се трансформира в крайното положително полупространство $0 \leq z^* \leq 1/r$. По-нататък всички линии, които първоначално са успоредни на z-ос, сега преминават през точката $[0 \ 1/r \ 1]$, точката на изчезване [Vince, 2007].

Преди да преминем към представяне на някои илюстративни примери, са дадени едноточкови перспективни трансформации с центрове на проекция и точки на изчезване върху осите x и y. Едноточковата трансформация на перспективата:

$$[x \ y \ z \ 1] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = [x \ y \ z \ (px + 1)]$$

$$[x^* \ y^* \ z^* \ 1] = \left[\frac{x}{px + 1} \ \frac{y}{px + 1} \ \frac{z}{px + 1} \ 1 \right]$$

Обикновените координати са:



Фиг. 1.6 Пространствени проекции и деформации

Фигурата 1.6 има център на проекция при $[0 \ -1/p \ 0 \ 1]$ и точка на изчезване, разположена по оста x в $[1/p \ 0 \ 0 \ 1]$.

Едноточковата трансформация на перспективата е:

$$[x \ y \ z \ 1] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & q \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = [x \ y \ z \ (qy + 1)]$$

Обикновените координати са:

$$[x^* \ y^* \ z^* \ 1] = \left[\frac{x}{qy + 1} \ \frac{y}{qy + 1} \ \frac{z}{qy + 1} \ 1 \right]$$

има център на проекция при $[0 \ -1/q \ 0 \ 1]$ и точка на изчезване, разположена по оста y при $[0 \ 1/q \ 0 \ 1]$.
[Mackie, 2018; Vence 2007]

1.3. Осветителни модели

Основният акцент е върху разработване на усъвършенствана система за симулация на осветление, позволяваща взаимодействие в реално време по отношение на движение и промяна на сцената. Целта е да се осигури бърз, динамичен и лесен за използване начин за визуализиране на нови концепции за осветление в архитектурни сценарии. Получената рамка дава възможност на потребителите (и клиентите) да направят изключително реалистичен и интерактивно модифициран предварителен преглед на осветлението вътре и извън сградата. Нов подход за постигане на необходимата интерактивност е да се осигурят средства за незабавно показване на правдоподобна визуализация за разпределението на светлината след всяка промяна в сцената (което прави необходимото преизчисляване и рестартира симулацията). Решихме този проблем чрез използване на техники за графичен процесор в реално време, произхождащ от игралната индустрия (напр. незабавно радиоизлъчване и картографиране на сенките) и се задълбочихме в оптимизирането на изчислението на видимостта за площ или обемни източници на светлина, т.е. физически точното разпределение на светлината от осветителни тела, преобладаващи в нашата система с възможно най-високото ниво скорост (Фиг. 1.7.).



Фиг. 1.7. Скоростна екранна снимка на офис сценарий⁴

Обобщения на публикуваните методи, на които се основава тази разработка (част 1 от 2):

⁴ Marketplace - UE Marketplace (unrealengine.com)

1) Бързо и прецизно вземане на проби от осветителни тела: В направено проучване е показано оптимален начин (в условия за визуално качество и скорост) за изчисляване на физически точни меки сенки. Бавен, но правилен начин за генериране на меки сенки е вземането и натрупването на множество проби от целия източник на светлина. Процесът може да бъде оптимизиран, като се вземат възможно най-малко проби. Броят на необходимите проби зависи от размера на полуцвята в екранното пространство. Затова предлагаме нова адаптивна схема за подразделение, която да раздели правоъгълната площ на източника на светлина на подчасти и използването на хардуерни заявки за оклузия, за да се оцени необходимостта от допълнителни проби.

2) Използване на меки сенки в последователни кадри: представена е идеята за повторно използване на изчислената видимост на светлинния източник над множество кадри. Ние използваме времевата съгласуваност, разпространена в движението на типичната сцена, което прави оценката на нова стойност на сянка задължителна, само когато регионите са били наскоро изключени. Това може да се дължи на настройките на камерата или когато ситуацията в сянка се променя поради движенията на обекта (**Фиг. 1.8**). Чрез тези оптимизации постигаме значително увеличение на производителността в типичните сценарии за 3D игри.



Фиг. 1.8. Тези скрийншоти демонстрират принципа на меки сенки и алгоритми

По този начин, сцената на взаимодействия (като преобразуване на обекти или движение на светлина) винаги са възможни по време на тези скъпи изчисления - дори в случай на голям брой физически сложни източници на светлина. Разработената система дава възможност за визуализиране на симулацията, както на обикновени монитори, така и на 3D стерео настройки с множество екрани. Следователно, системата е в състояние да осигури потапящо впечатление на осветените сгради, като същевременно позволява промени в движение в конфигурации на сцена и светлина.

3) Избраният подход е с цел да се унифицират различни категории входни данни (измерена точка облаци, геометрия и данни от изображения) в общ контекст, който позволява експлоатация и кръстосана корелация на семантичната информация и пространствените отношения. Търсенето на допълнителна контекстуална информация продължава да нараства поради нарастващата сложност на наличните данни и все по-сложните случаи на използване, изградени върху тези данни. Семантичната информация и пояснения не са важни само при по-нататъшното им приложение или симулационни стъпки, но също така могат да осигурят ценна помощ по време на процеса на моделиране. Всички операции за ръчно моделиране (които са необходими поради грешни данни) могат да бъдат изпълнени в прости 2D на равнините, докато процесът на щракване (изпълнение) допълнително поддържа изравняването на геометрията.

4) Скициране на 3D сгради с помощта на ориентирани снимки. Отново се осъществяват всички взаимодействия в 2D, но този път директно върху снимки. Основните извлечени геометрични отношения и планарната сегментация създават 3D изображение на сградата за реконструкция, докато индикаторите за щракване и точност водят потребителя през процеса на моделиране. Доказано това е лесно за използване потребителско взаимодействие, приложимо дори и на сензорен интерфейс.



Фиг.1.9 Сгради, създадени с прототипите, разработени в unreal engine, копие от <https://www.youtube.com/watch?v=8lVX2D2lPvc>.

ВТОРА ГЛАВА

Методология и обзор

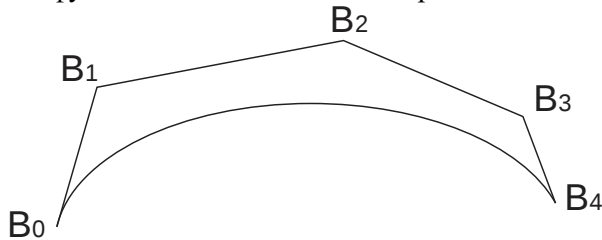
2.1. Криви и повърхнини

Триизмерните или пространствени криви се използват широко при проектирането и разработването на различни продукти: автомобили, кораби, самолети, обувки, бутилки, сгради и др. Те също са от голямо значение за описанието и тълкуването на физическите явления в геологията, физиката и медицината.

Преди прилагането на математически и компютърни модели в производствения процес, в проектирането и производството е използвана описателна геометрия. Много от неговите методи са пренесени и в компютърната графика.

Повърхностите често са изобразявани като мрежа от криви, разположени в ортогонални секантни равнини с триизмерни контури на части.

Пиер Безие предложи метод за създаване на извивки и повърхности с всякаква форма. Той извежда математическата основа на своя метод от геометрични изображения. Резултатът му е еквивалентен на базата на Бернщайн или на функцията на полиномално приближение.



Фиг. 2.1. Крива на Безие през 5 точки

Кривата на Безие се определя от многоъгълник, както е показано на фигурата. Тъй като основата на Безие е тази на Бернщайн, някои свойства на кривите на Безие веднага са известни. Степента на полинома, която определя частта на кривата, е по-малка от броя на точките в съответния многоъгълник. Основата на формата на кривата следва очертанията на полигона. Първата и последната точки на кривата съвпадат със съответните точки на определящия многоъгълник (**Фиг. 2.1**). Допирателните вектори в краищата на кривата в посока съвпадат с първата и последната страна на многоъгълника. Кривата се намира вътре в изпъкналия корпус на многоъгълника, т.е. вътре в най-големия многоъгълник, изграден от дадени точки. Математическото представяне на кривата на Безие има формата:

$$B_{n,i}(u) = \frac{n!}{i!(n-i)!} u^i (1-u)^{n-i}$$

$$, i = 0, 1, \dots, n$$

където функцията на апроксимация използва полинома на Бернщайн. Общата формула е:

$$C(u) = \sum_{i=0}^n B_{n,i}(u) P_i, \text{ където } P_i \text{ са контролните точки } i = 0, 1, \dots, n.$$

Основните Б-сплайн функции, подобно на основните функции на Безие (полиномите на Бернщайн), са също полиномни функции на една реална променлива, която обикновено се изменя в интервала $[0,1]$.

Основните различия с функциите на Безие са:

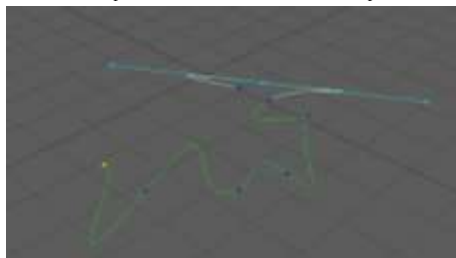
- Б-сплайн функциите представляват съставни полиномни дъги, съединени с някаква степен на гладкост;
- Б-сплайн функциите не са ненулеви в целия интервал на изменение на аргумента;
- Б-сплайн функциите се дефинират над възлов вектор – последователност от реални числа $u_0 \leq u_1 \leq \dots \leq u_m$, принадлежащи на интервала $[0,1]$.

Основните Б-сплайн функции се дефинират чрез рекурентната формула на Кокс-де Бор:

$$N_{i,0}(u) = \begin{cases} 1 & u \in [u_i, u_{i+1}) \\ 0 & u \notin [u_i, u_{i+1}) \end{cases},$$

а функциите от по-висока степен ($p \geq 1$) се пресмятат, чрез:

$$N_{i,p}(u) = \frac{u - u_i}{u_{i+p} - u_i} N_{i,p-1}(u) + \frac{u_{i+p+1} - u}{u_{i+p+1} - u_{i+1}} N_{i+1,p-1}(u)$$



Фиг. 2.2 Крива на Безие в Мауа

Повърхностите и тяхното описание играят важна роля при проектирането и производството. Очевидни примери за това са развитието и производството на автомобилни каросерии, корабни корпуси, фюзелажи и

крила на самолети; витла, турбини, компресори и лопатки на вентилатора; прибори, мебели и обувки. В този случай същността на конструкцията, или по функционални или естетически причини, е формата или геометрията на повърхността (**Фиг. 2.2.**). Описанието на повърхността също играе важна роля при представянето на данните, получени в медицината, геологията, физиката и други природни науки.

Традиционният начин за представяне на повърхността е използването на няколко ортогонални проекции. По същество повърхността се дефинира като мрежа от ортогонални равнинни криви, разположени на секантни равнини и няколко ортогонални проекции на определени „характерни“ пространствени линии. Тези криви първоначално могат да бъдат създадени на хартия или дигитализирани от триизмерен модел. Например в автомобилната индустрия, дизайнерите традиционно използват модел от глина.

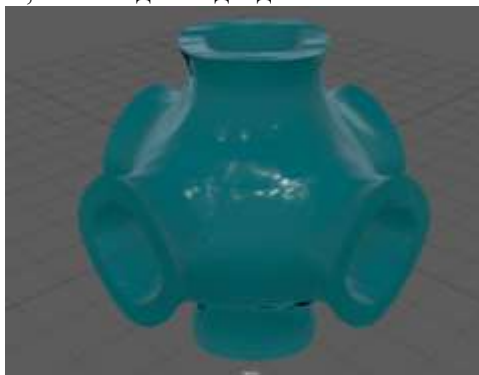
В компютърната графика и компютърния дизайн е препоръчително да се разработи „истински“ триизмерен математически повърхностен модел. Такъв модел позволява да се анализират характеристиките на повърхността, например, кривина или физически количествени характеристики в зависимост от повърхността, например обем, повърхностна площ, инерционен момент и т.н., в ранен етап и сравнително лесно. Визуализацията на повърхността е опростена, използвана за разработване или наблюдение на напредъка на развитието. Освен това, в сравнение с традиционния метод, използващ решетка от линии, генерирането на информация, необходима за производството на повърхността, например програми за управление на машина с цифрово управление, също е значително опростена.

Ранните творби на Безие, Сабина, Питърс [Marsh, 2005] и други автори демонстрират осъществимостта на този подход. Наскоро разработените методи за описание на повърхности достигнаха такъв етап на развитие, че позволяват „почти“ да изключат традиционното описание на повърхността, използвайки решетка от линии.

Има две основни идеи, които са в основата на методите за описание на повърхността. При първия метод, свързан главно с името на Кунс⁵ [Sederberg, 2014], авторите се опитват да създадат математическа повърхност според известни по-рано данни. При втория метод, свързан главно с името Безие, авторите се опитват да създадат математическа повърхност *ab initio* (от самото начало). Отначало индустриите, свързани с числови параметри,

⁵ <http://web.uni-plovdiv.bg/marta/GD/lecture3.pdf>

например дизайнът, се насочиха към първия подход, докато отраслите, които отчитаха визуални, тактилни или естетически фактори, като дизайнери и художници предпочитат втория. Работа на Роджърс върху интерактивни системи за разработване на корабни корпуси и Коен за развитие на повърхността показва, че тези два подхода са съвместими.



Фиг. 2.1 Повърхност от Maya.

2.2. Създаване на 3D модели чрез експлицитно описание и движение на виртуалната камера чрез EEG Signals

Мозъчните сигнали са невронни сигнали. Електрическата активност на невроните в мозъка причинява електрически потенциал да се генерира в различни части на мозъка. Разликата между тези нива на електрически потенциал може да бъде улавяна и се използва за различни приложения, включително стрес откриване. Тези мозъчни сигнали се наричат ЕЕГ сигнали - Електроенцефалограмен сигнал. Различните видове състояния на мозъкът се дължат на различни видове електрически дейности на мозъчните неврони. И така, различните стойности на сигнала съответстват на различни психични състояния.

Тези сигнали могат да бъдат заснети с помощта на различни налични съоръжения, които обикновено се състоят от електроди, поставени върху скалпа с проводящ гел между тях и скалпа. Електродите се поставят на различни позиции на скалпа и улавят сигналите от различни части от мозъка. Суровите ЕЕГ сигнали не могат да се използват директно за откриване на стрес. За извличане на полезни функции е необходима предварителна обработка на функциите, които могат допълнително да се използват с различни машини и обучение на алгоритми.

Целта на настоящото изследване е да се прегледат различни характеристики и техники за извличане и класифициране на алгоритми, които могат да се използва за откриване на нива на стрес. Въз основа на

прегледа се предлага система, която ще използва ЕЕГ с един електрод слушалки (Neurosky MindWave) за записване на сурови ЕЕГ сигнали. Те ще бъдат предварително обработени с помощта на Discrete Wavelet преобразуване (DWT).

Електроенцефалографията (ЕЕГ) не е нищо друго освен регистрирана електрическа активност, генерирана от мозъка [P. Alliez, D. Cohen-Steiner, Y. Tong, and M. Desbrun 2007]. Първият доклад за електрическата мозъчна активност при хората е публикуван през 1929 г., което позволява на лекарите и учените да наблюдават мозъка в действие по смислен начин [Lionel Atty, Nicolas Holzschuch, Marc Lapierre, Jean-Marc Hasenfratz, Chuck Hansen, and François Sillion 2006]. Има милиони неврони в нашия мозък. Тези дейности генерират милиони малки електрически полета на напрежение. Съвкупността от тези полета на напрежение може да бъде открита от електроди, поставени върху скалпа. Така можем да кажем, че ЕЕГ е супер позицията на много по-малки сигнали. Амплитудата на тези сигнали варира от 1 μV до 100 μV в нормален човек.

Различните електрически честоти в ЕЕГ могат да бъдат свързани с различни физически действия и психични състояния [3]. Така че ЕЕГ показва широки вариации в амплитудата в зависимост от външна стимулация и различни вътрешни психични състояния. Различните честотни ленти са Delta, theta, alpha, beta и гама.

Табл. 2.1 Описание на ЕЕГ сигнали

Brainwave type	Frequency range (Hz)	Mental states and conditions
Delta	0,1 to 3	Deep, dreamless sleep, unconscious
Theta	4 to 7	Intuitive, creative, recall, fantasy
Alpha	8 to 12	Relaxed but not drowsy, tranquil
Low Beta	12 to 15	Formerly SMR, relaxed yet focused
Midrange Beta	16 to 20	Thinking, aware of self & surrounding
High Beta	21 to 30	Alertness, agitation
Gamma	30 to 100	Motor functions, higher mental activity

За получаване на ЕЕГ сигнали се използват различни методи. Те се различават по начина на поставяне на електродите. Методите могат да бъдат категоризирани, както следва:

а) Инвазивни: Инвазивните ЕЕГ записи са тези записи, които се улавят с електроди, поставени на повърхността или в дълбочината на мозъка [Thomas Annen et al., 2007]. Този тип методи обикновено се използва в медицински операции или импланти. Двата вида електроди, използвани при този метод са: 1) Субдурални ЕЕГ електроди - електродите, които седят над повърхността на мозъка. Поставянето на тези електроди често се потвърждава с регистрация на MRI сканирано изображение; 2) ЕЕГ електроди с дълбочина - ЕЕГ електродите, които се поставят в мозъчното вещество.

б) Неинвазивни: Неинвазивните ЕЕГ записи са тези, които се улавят с електроди, поставени по-скоро върху скалпа, а не на повърхността или в дълбочината на мозъка. Електродите, използвани тук, са малки метални дискове, които са направени от неръждаема стомана, калай, злато или сребро, покрити със сребърно хлоридно покритие. Те се поставят върху скалпа в специални позиции. Тези позициите се посочват с помощта на Международната система 10/20. Всяко място на електрода е обозначено с буква и цифра. Буквата се отнася до областта на мозъка под електрода, напр. F-Челен лоб и T-темпорален лоб. Четните числа обозначават дясната страна на главата, а нечетни числа - лявата страна на главата.

ЕЕГ сигналите са нестационарни и нелинейни. ЕЕГ сигналите са податливи на шум и смущения, причинени от окото и движението на мускулите. Електронните устройства в близост също може да причинят смущения. Също така количеството на необработени данни, необходими за класификацията, са непрактични за повечето машинни алгоритми за обучение. По този начин извличането на характеристики е необходимо за успешната класификация. Предварителната обработка включва трансформация на ЕЕГ сигнали от времева област в честота на домейна и премахване на шум и артефакти. За ВCI съществуват разнообразни методи за извличане на характеристични приложения, като дискретна косинусна трансформация **Discrete Cosine Transform (DCT)**, Дискретно преобразуване на вейвлет **Discrete Wavelet Transform (DWT)**

Discrete Cosine Transform (DCT)

Дискретното косинусно преобразуване е метод за преобразуване на сигнали от времеви редове в честотни компоненти. DCT се използва за изчисляване на максимум, минимум и средна стойност на ЕЕГ сигнал.

Едномерният DCT за списък с N реалните числа се изразява чрез следната формула [Umale et al., 2016]:

$$Y(u) = \sqrt{\frac{2}{N}} a(u) \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \cos\left(\frac{\pi(2x+1) \cdot u}{2N}\right)$$

$$a(j) = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ if } j = 0$$

$$a(j) = 1 \text{ if } j \neq 0$$

Discrete Wavelet Transform (DWT)

Уейвлет трансформацията е процес на изразяване на обща функция като безкрайна поредица от Уейвлети. Основната идея на Уейвлет анализа е изразяването на сигнал като линейна комбинация от конкретния набор от функции чрез превключване и разширяване на оригиналния Уейвлет (майка вълна). Това разлагане дава набор от коефициенти, наречени Уейвлет коефициенти, заради които сигналът може да бъде реконструиран като комбинация от Уейвлет функциите. Основната характеристика на Уейвлетите е че по-голямата част от тяхната енергия е ограничена до краен интервал от време. Това се нарича локализация във времето-честота. Локализация на честотата означава, че преобразуването на Фурие е ограничено в обхват. Това води до сегментиране на равнината време-честота, която е подходяща за повечето физически сигнали, особено тези с преходна природа. Тази трансформация, когато се прилага към ЕЕГ сигнала, разкрива характеристики, които имат преходен характер.

2.3. Фотограметрия

Фотограметрията е техника за определяне на триизмерната геометрия (местоположение, размер и форма) на физически обекти чрез измерване и анализ на техните двуизмерни фотографии. Като цяло фотограметрията е разделена на две категории: въздушна и наземна фотограметрия. При въздушната фотограметрия изображенията се получават чрез надземни снимки от самолет, предоставящи топографски карти и детайли за използването на земята [Remondino, 2011].

При наземната фотограметрия (наричана още нетопографска фотограметрия) изображенията се придобиват на места близо до или на повърхността на земята и предоставят подробна информация за размерите на даден обект. Когато размерът на обекта и разстоянието между камерата и обекта са по-малки от 100 м. (330 фута), наземната фотограметрия се определя по-нататък като фотограметрия от близко разстояние, подход, при който изображенията се получават около обект със силно сближаващи се

ориентации на камерата, като обикновено сочи към центъра на обекта [Ulf Assarsson Tomas Akenine-Möller, 2003].

Много успешни и разнообразни приложения на фотограметрията от близко разстояние могат да бъдат намерени в областта на промишлеността, биомеханиката, химията, биологията, археологията, архитектурата, автомобилостроенето и аерокосмическото инженерство, както и реконструкцията на аварии. [Remondino, 2011].

2.4. Смесена реалност

Обединението на Виртуална и Добавена реалност се нарича смесена реалност. Целта на тази точка е да се направи преглед на начина, по който се изгражда процесът на смесената реалност и защо се прави по този начин. С други думи, виртуалните обекти трябва да бъдат фотометрично регистрирани в реалната среда и за целта са визуализирани с най-голям фотореалистичен ефект.

За да се регистрират фотометрично виртуалните обекти в реалната среда, се нуждаем от метод, който е способен да рендира сенки и индиректно осветление. Това означава, че ефектите трябва да се прехвърлят от реални обекти върху виртуални и от виртуални към реални. Основно решение на този проблем е диференциално визуализиране. Това е метод, който изчислява само диференциалното влияние на виртуалните обекти, които се вмъкват в реална сцена. За да се изчисли диференциалният ефект, са необходими две глобални решения за осветяване. Едното решение взема предвид реалните и виртуалните обекти, а другото взема предвид само реалните обекти. Диференциалното влияние съдържа само промени в осветлението, причинено от виртуалните обекти. Ако този диференциален буфер се добави към видео изображението, което е маскирано до черно, където се появяват виртуални обекти, виртуалните обекти и всички негови реципрочни ефекти между реалните и виртуалните обекти се добавят към изображението на камерата. Където няма влияние на виртуалните обекти, изображението на камерата ще остане същото. Където има сенки или индиректно осветление от виртуален обект, изображението на камерата ще бъде по-тъмно или по-светло и следователно ще изглежда, че реалните обекти получават сенки или индиректно осветление от виртуални обекти. Имайте предвид, че това работи и при обратно позициониране на реалните и виртуалните обекти, следователно важи и за виртуални обекти. Въпреки това, тъй като този метод се нуждае от две глобални решения за осветяване, той не е използваем за приложения в реално време със смесена реалност по време на публикуване, тъй като честотата на кадрите е твърде ниска. Дори и днес тези две глобални решения за осветление са изключително скъпи и

трябва да се прилагат методи за намаляване на изчислителните разходи, свързани с тях. Друга важна точка за диференцирано визуализиране е, че тя се нуждае от местоположението и материалните характеристики на реалните обекти, за да изчисли двете глобални решения за осветяване. Трябва да се отбележи, че също така и заобикалящата светлина от инциденти влияе на външния вид на виртуалните обекти и следователно трябва да бъде позната. Накратко, не е достатъчно да разполагаме само с наличната информация от виртуалните обекти, което е често срещано в типичните приложения със смесена реалност. Има два основни начина за получаване на необходимата информация за реалната среда. На първо място могат да се моделират реалните обекти в етап на предварителна обработка и предварително да се заснеме статична карта на обкръжението. Това обаче отнема много време и ограничава динамичното поведение на реалната сцена. Втората възможност е да се възстанови информацията за реалните обекти и инцидентното осветление по време на изпълнение. Този етап на реконструкция сам по себе си е изследователски проблем и затова разделяме нашия модел на две основни части. Етапът на реконструкция и реципрочния етап на засенчване.

В тази таксономия някои автори⁶ [Oh et al., 2020] предлагат и възприемащ процес, който се състои от пет етапа: среда, улавяне, увеличаване, дисплей и накрая – потребител. Ако включим нашия процес за смесена реалност в техния процес за възприемане, етапът на реконструкция се вписва в техния етап на улавяне, реципрочният етап на засенчване - в техния етап на увеличаване.

Етапът на реконструкция се занимава с всички задачи, свързани със събиране и генериране на информация за околната среда. В етапа на реконструкция трябва да се генерират четири вида източници на данни:

- 1) Познаване на заобикалящата светлина;
- 2) Геометричните форми на реалните обекти;
- 3) Материални характеристики на реалните обекти;
- 4) Характеристиките на камерата.

Всяка камера има своя собствена функция за картографиране от стойностите на сиянието в реалния свят до цветовото пространство RGB, зависещо от устройството. Виртуалните обекти, обаче, обикновено се визуализират само върху върха на видео потока и следователно не са изложени на тази картографска функция. Ако искаме цветовете на виртуалните обекти да се появят така, сякаш се виждат през камерата, тази

⁶ https://pure.mpg.de/rest/items/item_1791222/component/file_3178341/content

картографираща функция трябва да е известна. Следователно, четвъртият източник на данни е тази функция за преобразуване на цветовете, която ще бъде приложена към виртуалните обекти по-късно. Първите три вида източници на данни са необходими за изчисляване на двете световни решения за осветяване във втория етап на процеса. В нашия случай използваме Microsoft Kinect сензор за събиране на информация относно реалната среда. Четвъртият източник на данни ще се използва за да променим цвета на виртуалните обекти според наблюдаваната камера, преди да се приложи диференцирано визуализиране.

При визуално правдоподобни приложения от смесена реалност е необходимо да има познания за реалната околна среда. По този начин е възможно да се симулира взаимното светлинно взаимодействие между реални и виртуални обекти. Един от начините да имаме геометрия на истинската сцена е просто да го моделираме предварително.

Това обаче е трудоемка задача и ограничава динамичните ефекти в реалната сцена. Затова техниките на реконструкция в реално време са предпочитаният начин за събиране на информация за околната среда.

Повечето подходи, които се занимават с осветление в смесени приложения, използват карта за симулиране на падащото осветление. За динамичните карти за околната среда има два основни метода за придобиване: външни и вътрешни методи. Външните методи използват камера за снимане или видео поток от хромирана сфера.

Тази хромирана сфера отразява околната среда и може да се използва като карта за нея. Методите отвътре навън използват осветление. Ritschel и Grosch използват видеокамера с висок динамичен обхват, за да улавят околното осветление [Llano et al., 2018; Werner et al., 2002; Walch et al., 2018]. Sato, както и Korn използвали стерео визуален подход отвътре, за да изчислят разпространението на околната среда и да реконструират околната среда [Carlson, 2016]. В повечето случаи са включени карти на околната среда с нисък динамичен обхват. Директната слънчева светлина обаче е по-ярка от вътрешните източници на светлина. Затова е за предпочитане да се използват карти на околната среда, които имат висок динамичен обхват, за да се уловят всички детайли в ярки и тъмни области. По този начин осветените обекти ще съдържат детайли, които иначе са загубени. След като средата бъде заловена, е необходим бърз метод за извличане на източници на светлина от карта на околната среда. Идеята е да се поставят източници на светлина около сцената, които имитират ситуацията на инцидентното осветление. Съществуват няколко метода за ефективно откриване на източниците на светлина в картата на околната среда чрез вземане на някои важни извадки.

Освен методите отвътре-отвън и навън, съществуват и подходи, които не се използват за оценка на обкръжаващата обстановка. За разлика от споменатите по-горе методи, те не изискват смущаваща камера или хромирана сфера, поставени в сцената. Madsen и Nielsen предложи метод, който се ограничава до сценарии на открито, където те оценяват заобикалящата светлина, като заемат позицията и времето, когато се прави изображение, както и сенките на обектите в изображението. Нов метод, приложим за сценарии на закрито, е предложен от Gruber през 2013 г. [Gruber et al, 2013] За да се оцени състоянието на осветеността наоколо, са необходими само цветното изображение RGB и дълбочината на реалната сцена. С този подход те са в състояние да постигнат интерактивни честоти на кадрите и впечатляващи резултати от светлинната оценка.

Реконструкцията на геометрията е голяма и много активна изследователска тема. Тя започва от придобиването на данни до семантичния анализ на реконструираната геометрия. Ето защо ние се фокусираме върху свързани методи, които са приложими за MR системи. В Reisner-Kollmann обаче може да се намери цялостно обобщение на различните методи за реконструкция, като се прави разграничение между три основни метода за събиране на геометрична информация от гледна точка на събиране на данни: фотограметрия, лазерни сканирания и изображения от обхвата. Фотограметрични методи реконструират геометрична информация от набор от изображения [Reisner-Kollmann, et al., 2018]. Този тип реконструкция често се използва за мащабни сцени, като пълни градове. В тези случаи самолетът лети над града и прикрепената камера прави няколко образа на града. Използвайки фотограметричната реконструкция, сградите и улиците могат да бъдат реконструирани до известна степен. За приложенията на MR, разбира се, интерес представляват по-малки обеми на реконструкция. Метод, базиран на фотограметрия, беше представен през 2010 г. от [Newcombe и Davison 2010]. Техният метод е способен да реконструира вътрешен пейзаж на маса само с една движеща структура от подход на движение. Друг начин за улавяне на реалната геометрия са лазерните скенери. Тези устройства са в състояние да произвеждат облак с висока плътност на точката с много голяма точност. Въпреки това, в зависимост от сканирания обект често е необходимо да се извършват няколко сканирания и да се обединяват в стъпка след обработка. Дори само едно сканиране отнема твърде много време, за да се постигнат честоти на кадрите в реално време. Алтернатива на лазерните скенери са камери за обхват. Тези фотоапарати създават дълбоко изображение, използвайки структурирани светлинни модели или методи за

време на полет (TOF). Те имат предимството, че са по-бързи от лазерните скенери, и следователно позволяват да се заснемат динамични сцени.

TOF камерите изпращат светлинен импулс и измерване на времето, докато светлината се отрази, докато структурираните светлинни модели се прожектират в сцената за другия клас камери. Камерите, използващи структурирани светлинни модели, обикновено имат по-висока странична разделителна способност, отколкото TOF базираните камери. Сензорът Microsoft Kinect принадлежи към класа на структурираните светлинни модели. Издаден е през 2010 г. и оттогава голям брой изследователи се фокусират върху различни начини да използват това много евтино устройство. Сензорът Kinect е в състояние да достави цветове и поредица от изображения с дълбочина в разделителна способност 640x480 пиксела при 30 Hz. Той използва структуриран инфрачервен модел за реконструкция на околната среда. Високата честота на кадрите позволява реконструкция на динамични сцени. Въпреки това изображенията в дълбочина са далеч от съвършени. Първо, те страдат от времеви и пространствен шум. Второ, поради естеството на системата точността намалява за обектите, далеч от устройството. Друг важен момент е, че инфрачервеният излъчвател и инфрачервеният сензор са разположени на определено разстояние хоризонтално един спрямо друг. Поради това изместване между излъчвателя и сензора някои области, наблюдавани от сензора, няма да получават структурирани светлинни схеми, дължащи се на запушващи обекти. Следователно в тези области не могат да се получат стойности на дълбочина. Освен това в райони, където има дълбоки прекъсвания, на огледални повърхности или в много ярки ситуации като пряка слънчева светлина в сценарии на открито, инфрачервеният сензор не може да се види структурирания светлинен модел и по този начин не може да се постигне дълбочина. Поради споменатите ограничения не е достатъчно да се използва суровото изображение на дълбочината на входния поток за възстановяване на геометрията.

Характеристики на материала са описани от така наречената двупосочна функция за разпределение на отражението (BRDF), въведена от Nicodemus. Тази функция описва как инцидентната светлина се разпръсква в повърхностна точка p над полусфера, която е ориентирана спрямо нейната норма. В най-простата си форма BRDF приема входяща (w_i) и изходяща (w_o)

светлина като параметри. Въпреки това са възможни повече параметри, ако например точката на разсейване p влияе също и на BRDF⁷.

Ritschel и Grosch извършват онлайн оценка на свойствата на дифузия материал за известен обект, използвайки две HDR камери. Едната камера е използвана за улавяне на обекта, а другата се използва за улавяне на околното осветление. В подхода им не са оценени свойствата на огледалните материали. Boivin и Galalowicz използват LDR образ в допълнение към геометричния модел, включващ източници на светлина. Започвайки с модел на Lambertian, камерите итеративно сравняват визуализациите с оригиналното изображение и разглеждат все по-сложни модели на отразяване, докато разликата е твърде голяма. Въпреки че тяхното решение е мащабируемо по отношение на точност, то все още отнема време и изисква предварителна обработка. Mercier са първите, които представят напълно автоматичен метод за възстановяване на формата и отразителните свойства на един обект и позицията на източниците на светлина от набор от калибрирани изображения. За тази цел обектът и светлинните източници са фиксирани на грамофон, а снимките се правят на всеки 5 градуса. Геометрията е апроксимирана от Shape from Silhouette (SFS) от Szeliski. Методът е много точен и не се нуждае от предварителна обработка, но специалната настройка го прави неподходящ за смесена реалност. Xu и Shivakumara [2016] използват сензор за дълбочина и изображение на стерео интензивност, за да придобият свойства на отразяване на обекта и параметри за множество източници на светлина. Макар че използването на карта на дълбочината се доближава до нашия подход, техният метод е ограничен до един обект. Освен това изчисляването на параметрите на светлинния източник от изображенията на интензивността създава неточности за плоски повърхности.

Li използва фотометричен стерео подход за оценка на параметрите на модела на Ward [Li et al., 2018]. За разлика от други методи, Li използват само малък локален прозорец за оценка вместо пълен образ и следователно избягват глобалната оптимизация, която отнема време. Джън представи решение, което е подобно на това на Мерсие. Една голяма разлика е, че те използват измерени условия за осветление, вместо да извличат тази информация от изображенията, което минимизира грешката на оценката. След това те прилагат алгоритъма за премахване на осветеността от Ortiz и Torres [2014], преди да групират изображения в региони с подобни дифузни

⁷ Bidirectional reflectance distribution function - Wikipedia

материали, използвайки K-Means. След това параметрите на модела на Ward се получават за всеки клъстер чрез нелинейна оптимизация. Техният алгоритъм е много стабилен, тъй като след оценяване на огледалните фактори дифузните фактори се преоценяват, за да компенсират грешките, причинени от неправилно групиране или неточна геометрия. Методът за проследяване, предложен от Джън, е способен да се справя със слабо и силно огледални обекти. За разлика от предишния метод, те не отменят особеностите си, а по-скоро симулират това чрез комбиниране на различни огледални базови функции. Подобно на метода на Мерсие, подходът се основава на контролирана настройка, която не отговаря на изискванията за приложения на смесена реалност. Това се отнася особено до реконструкция по форма от засенчване (SFS) и измерване на източника на светлина. Тяхната схема за оценка обаче е много ефективна и затова основаваме нашата работа върху нея [Vince, 2007]. Например ние също използваме адаптация на техниката за премахване на осветеността от Ortiz и Torres и използваме K-Means за групиране. Затова описваме свързаната работа за алгоритмите K-Means в следващата глава. Общо казано, всички тези предишни базирани на образи методи за оценка на BRDF работят офлайн и имат времетраене на работа от няколко минути до няколко часа. Освен това те са ограничени до статични сцени [Mackie, 2018]. Приложенията на смесената реалност са силно интерактивни и динамични според определението на Azuma [Azuma et al., 2011]. Следователно нашата цел е да проектираме и разработим метод, който работи с интерактивни честоти на кадрите и по този начин може да обработва изключително динамични сцени. Всеобхватен преглед на моделите на BRDF за реалистичен синтез на изображения може да бъде намерен в техническия доклад на Montes и Urena.

Вече съществуват няколко ефективни реализации на алгоритъма K-Means в GPU. Почти всички от тях използват хибриден GPU/CPU подход, при който новите клъстерни центрове във всяка итерация са изцяло или поне частично изчислени на CPU. CUDA се използва за извършване на изчисленията на видеокартата. Dhanasekaran и Rubin предложиха метод, при който целият K-Means алгоритъм се извършва изцяло на GPU, което елиминира необходимостта от непрекъснато копиране на данни чрез PCIe шината. Fang също изпълнява целия алгоритъм на K-Means на GPU, което води до ниска честотна лента на паметта. Те използват растрерни изображения, за да преброят елементите, свързани с даден клъстер. Нашият подход е подобен на техния метод. За разлика от тях обаче ние не използваме CUDA, а по-скоро използваме mipmaps за изчисляване на центъра на всеки клъстер, като го направим чрез DirectX.

Освен необходимостта от реконструкция на заобикалящата среда е необходимо също така да се реконструира поведението на устройството за видеонаблюдение на видеото. Оказва се че не е достатъчно просто да симулираме реципрочните ефекти на засенчване между реални и виртуални обекти, за да направим виртуалните обекти неразличими от реалните. Докато не изглеждат така, сякаш са видени през самата камера, те ще бъдат разпознати като виртуални. Затова трябва да реконструираме характеристиките на камерата. По-конкретно ние се концентрираме върху характеристиките на цветното картографиране на камерата. Има три изследователски области, които са повече или по-малко свързани с нашата работа. Първо, има много методи за характеризирание или моделиране на камери. Второ, хармонизацията на цветовете е тема, наскоро приложена към AR/MR. Последната тема вижда проблема, но не от гледна точка на цветовото пространство между различните устройства, а по-скоро като проблем за прехвърляне на цветовете между две изображения.

Castle, Klein и Murray [2011] въведоха нов метод за композиране на видеоклип AR, който симулира най-видимите артефакти на малките камери. Влиянието на процеса на изобразяване е изкривяване, хроматични аберации, замъгляване, маскиране на Bayer, шум, заточване и компресия на цветовото пространство. По този начин външният вид на виртуалните обекти по-добре съвпада с тези на истинските, които са заснети от камерата. Въпреки това, както е споменато във въведението на тяхното изследване, те не се опитват да постигнат точно съвпадение на цветовете, което изисква поне оценка на условията на осветление на реалната сцена.

Управление на цветовете чрез километрична характеристика на камерите е друга тема, тясно свързана с нашата работа. Светлината, която попада в сензорния елементи в камерата, се преобразува в RGB стойности, формирайки зависимо от устройството цветово пространство. Превръщането на това цветово пространство в независимо от устройството устройство, обикновено CIE XYZ (CIE tristimulus стойности), се нарича километрично характеризирание и често се описва от ICC профил. След това се използва за управление на цветовете, както и за картографиране между зависимите от устройството цветови пространства (например камерата за мониторинг).

ТРЕТА ГЛАВА

Резултати и дискусия

3.1. Фотограмметрия

Фотограмметрията се основава на обработка на изображения, с основни продукти: DTMs, DSM, ортомаси, 2D, 3D реконструкция и класификация на обекти за картографиране, или тематични приложения и визуализация (карти, 3D изгледи, анимация и симулация). Обработката на филми обикновено се извършва от аналитични плотери (в употреба за около 20 години), докато цифровите данни се обработват от Дигитални фотограмметрични системи (DPS), които се използват за около 7-9 години. Алгоритмите за обработка се разработват непрекъснато. Фотограмметричните теории могат да разчитат на дълга история на събитията в продължение на повече от един век. Проведени са интензивни изследвания през последните 20 години за автоматизиране на извличането на информация от дигитални изображения, основани на методи за анализ на изображения.

Създаването на 3D модели на наследство и археологически обекти и обекти в сегашното им състояние изисква мощна методология, способна да улови и цифрово моделира фините геометрични подробности за външния вид на такива сайтове. Цифровият запис, документирането и съхраняването на нашите наследства са необходими, тъй като нашите наследства (природни, културни или смесени) страдат от продължаващи изтощения и войни, природни бедствия, климатични промени и човешка небрежност. Поспециално, изградената околна среда и природното наследство получиха много внимание и ползи от неотдавнашния напредък на сензорите за обхват и изображенията устройства. В днешно време 3D данните са критичен компонент за трайно записване на важната форма обекти и сайтове, така че поне в цифров вид да могат да бъдат предадени на бъдещите поколения.

Всъщност технологиите за дистанционно наблюдение и методологии за 3D документация и моделиране на културното наследство [Haim Avron et al., г 2010] позволяват генерирането на многореалистични 3D резултати (по отношение на геометрична и радиометрична точност), които могат да се използват за много хора и цели, като например историческа документация [B. Aszódi and L. Szirmay-Kalos 2006], цифрово съхранение [Dirk Bartz 1998], кръстосани сравнения, наблюдение на формата и цветовете, симулация на стареене и влошаване, виртуално приложение за реалност/ компютърна графика [Jean-Daniel et al., 2005], 3D хранилища и каталози [Michael et al., 2011], уеб базирани географски системи, компютърно възстановяване [Mario Botsch, et al., 2006], мултимедийни музейни изложби [J. Chen and B.Q. Chen 2008], визуализация и така нататък. Въпреки всички тези потенциални

приложения и постоянния натиск от международни организации за наследство, систематично и целенасочено използване на 3D проучвания и моделиране в културното наследство все още не се използва като подход по подразбиране и когато 3D модел е генериран, той често се изважда или намалява до 2D чертеж, поради липса на софтуер или знания за правилно боравене с 3D данни от не-експерт [Moere & Purchase, 2011]. Наличието и използването на 3D данни отваря широк спектър от допълнителни приложения и позволява нови анализи, проучвания, интерпретации, консервация, политики или цифрово възстановяване. По този начин 3D виртуалните наследства трябва да се използват по-често поради големите предимства, които технологиите за дистанционно наблюдение и третото измерение предлагат на света. За съжаление все още има някои трудности при комуникацията между хора от геоматиката [Snaveley et al., 2008]. Новите технологии и новият хардуер увеличават качество на 3D моделите с цел привличане на нови хора в 3D света. Много компании навлизат на този пазар разработвайки и използвайки софтуер и системи за проучване с добри потенциали и често с много впечатляващи резултати [Furukawa et al., 2010]. По този начин броят на 3D продуктите е огромен и ако, от една страна, цената на тези технологии бавно намалява, от друга страна е трудно, особено за неспециалисти, да изберат правилния продукт поради липсата на стандартна терминология, спецификации и сравнителен анализ на ефективността. Освен това новите технологии могат да бъдат мощен инструмент за подобряване на класическия стандарт на записване и документиране на наследството и създаване на нова методология. Въпреки това, трябва да се внимава и новите технологии за запис трябва да бъдат допълнително проучени и персонализирани, за да бъдат напълно ефективни и полезни, тъй като дори стандартните двуизмерни представления все още не са безпроблемни.

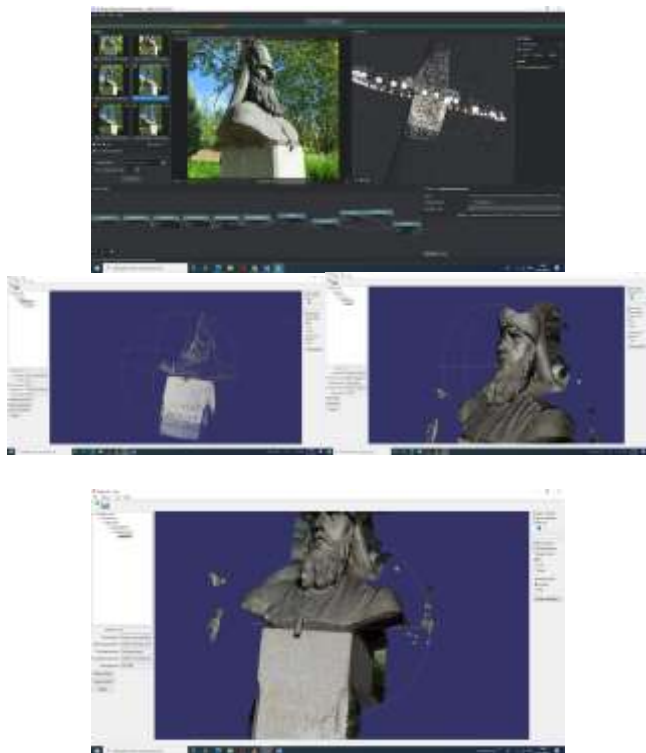
Ние представяме примери за създаване на тримерни обекти на два паметника в Благоевград:

- Паметника на Димитър Благоев;
- Паметника на Неофит Рилски.





Фиг. 3.1. 3D модел на паметника на Димитър Благоев⁸ Meshroom⁹



Фиг. 3.2. Паметник на Неофит Рилски

⁸ Tutorial (regard3d.org)

⁹ <https://meshroom.en.uptodown.com/windows>

3.4. Анализ на ЕЕГ сигнали и прилагането му при движение на виртуална камера

В лабораторията по смесена реалност в УниБИТ с проф. Димитров и доц. Тренчев бяха направени компютърни експерименти с виртуалния шлем за ЕЕГ сигнали на фирмата „Emotiv“.



Фиг. 3.11. Виртуален шлем за получаване на ЕЕГ сигнал от фирмата „Emotiv“

С различни доброволци се събраха ЕЕГ данни, като на всеки доброволец се записваха ЕЕГ сигнали за четирите посоки. Потребителят си мисли една от посоките, а ние обучаваме нашия алгоритъм и след това се опитваме да познаем неговата посока по данните на ЕЕГ сигнала от потребителя.

В таблица 3.1 са посочени входните данни за класификация на сигнал за движение в четирите посоки.

Използвахме следната класификация:

K-Nearest Neighbor

K-най-близкият съсед е базиран на пример, мързелив и контролиран алгоритъм за обучение KNN /невронна мрежа/. Той съхранява всички налични случаи и класифицира нови случаи въз основа на сходството мярка.

KNN е непараметричен метод, който класифицира данни чрез сравняване на данните за обучение и данните от тестовите въз основа на оценка на стойностите на характеристиките [Yang Baoguang, Jieqing Feng, Gael Guennebaud, and Xinguo Liu 2009]. Тези стойности на характеристиките се изчисляват с помощта на функцията за разстояние като Евклидово разстояние, което не е трудно, ако дадените стойности на параметрите са числови.

Табл. 3.1. Входни ЕЕГ данни

PICTURE	TIME	IN AF3	F7	F3	F5	T7	P7	O1	O2	P8	T8	FC6	F4	F8	AF4
LEFT.png	1500	4109,49	4193,72	4094,74	4077,56	4108,21	4108,08	4108,33	4095,77	4093,72	4115,51	4116,54	4072,31	4089,49	4090,51
LEFT.png	1500	4107,31	4183,08	4072,05	4069,49	4110,64	4088,97	4109,62	4070,51	4065,51	4115,13	4114,87	4041,67	4057,82	4066,67
LEFT.png	1500	4104,87	4188,33	4078,72	4080,13	4111,54	4100,64	4107,69	4081,79	4074,49	4115,00	4114,10	4050,90	4070,26	4075,51
LEFT.png	1500	4114,10	4227,05	4122,05	4107,18	4112,05	4129,49	4108,33	4125,90	4121,15	4115,38	4117,69	4101,15	4127,82	4121,41
LEFT.png	1500	4110,13	4242,82	4136,41	4111,92	4107,69	4132,18	4107,05	4133,59	4132,18	4115,38	4118,85	4117,44	4148,97	4139,36
LEFT.png	1500	4106,92	4223,08	4125,64	4104,87	4109,36	4121,28	4107,44	4121,41	4115,13	4115,00	4115,26	4104,36	4136,79	4126,28
LEFT.png	1500	4112,05	4216,54	4135,00	4110,26	4115,64	4125,77	4110,77	4135,51	4123,46	4115,13	4114,87	4109,62	4137,69	4127,95
LEFT.png	1500	4106,41	4210,13	4133,21	4106,79	4113,46	4128,33	4108,72	4136,03	4126,03	4115,51	4118,08	4110,90	4127,95	4126,54
LEFT.png	1500	4108,21	4184,62	4108,33	4096,67	4110,13	4117,05	4109,49	4110,77	4104,23	4115,26	4116,92	4087,82	4102,56	4107,05
LEFT.png	1500	4110,77	4169,10	4102,31	4096,54	4110,13	4109,23	4109,62	4105,90	4097,44	4114,62	4113,85	4078,46	4102,56	4102,44
LEFT.png	1500	4108,59	4158,85	4110,00	4100,64	4110,26	4108,97	4108,21	4114,10	4105,38	4114,49	4115,64	4088,33	4112,18	4110,77
LEFT.png	1500	4109,23	4133,08	4101,92	4099,87	4109,49	4104,36	4109,36	4104,36	4097,31	4114,62	4116,92	4079,36	4095,90	4103,08
LEFT.png	1500	4107,05	4125,51	4099,62	4106,79	4108,59	4104,49	4106,67	4098,85	4088,85	4114,62	4117,44	4070,38	4089,36	4098,21
LEFT.png	1500	4110,00	4129,36	4110,13	4119,10	4111,79	4115,26	4108,33	4105,77	4097,05	4114,62	4118,85	4084,62	4104,87	4107,69
LEFT.png	1500	4106,92	4108,85	4107,31	4111,15	4113,85	4120,64	4109,87	4105,00	4103,85	4114,62	4117,44	4089,87	4109,36	4109,62
LEFT.png	1500	4103,46	4095,00	4102,56	4101,79	4111,67	4117,69	4108,97	4102,31	4104,23	4114,62	4117,56	4083,08	4110,64	4106,92
LEFT.png	1500	4108,59	4107,31	4111,03	4113,21	4110,38	4120,77	4109,10	4109,62	4108,97	4114,62	4119,36	4089,87	4120,13	4112,69

След това обектът се класифицира с мнозинството от неговите съседи, като обектът е присвоен към класа „най-много често срещани сред най-близките съседи“. Стойността на k се отнася доколко са близки стойностите и трябва да се има предвид и предходният клас.

Linear Discriminant Analysis (LDA)

Линейно-дискриминантният анализ (LDA) е един от най-популярните класификационни алгоритми за Brain Computer Interface приложения и се използва успешно в голям брой системи. LDA трансформира линейно данни от пространство до нискоразмерно пространство и накрая решението се взема в ниско размерното пространство. По този начин определянето на границата на решението играе важна роля в процеса на класификация. По време на този процес класът разпределя данните с някаква крайна дисперсия.

Naive Bayes

Извиква се Субективната вероятност като Байесова вероятност. Байесовата вероятност е процесът на използване вероятността за прогнозиране за определени събития, настъпващи в бъдеще. Naive Bayes е условен вероятностен модел, където теоремата на Байес се използва за извеждане на вероятност за хипотеза при наблюдаваните данни или доказателства.

В предложената система е използван подходът на комбинация на класификаторите. Тези, които ще бъдат използвани, са KNN, Naive Bayes и LDA.

Използваме Matlab¹⁰ за анализ на данните:

¹⁰ Софтуерът е разработен от Onder AYDEMIR и е публикуван в Turk J Elec Eng & Comp Sci (2016) 24: 3976 - 3986

Представен е софтуерът за матлаб:

```
nbData = size(testData,1);
nbFeaturesPlus1 = size(testData,2);
trueLabels = testData(:,nbFeaturesPlus1);
result.output = zeros(nbData,1);
result.classes = zeros(nbData,1);

%classifying the input data
for i=1:size(testData,1)
    inputVec = testData(i,1:(nbFeaturesPlus1-1))';
    score = ldaParams.a0 + ldaParams.a1N' * inputVec;
    if score >= 0
        result.classes(i) = ldaParams.classLabels(1);
    else
        result.classes(i) = ldaParams.classLabels(2);
    end
    result.output(i) = score;
end
% LDA score plotting
% figure(1);
% x_axis = linspace(0,3*pi,length(result.output'));
% scatter(x_axis,result.output');
% title('LDA scores');
```

```
%computing the classification accuracy
nbErrors = sum(trueLabels~=result.classes);
result.accuracy = ((nbData - nbErrors)/nbData) * 100;
```

Класификацията, която получихме от трите метода, е следната:

KNN, 42 %

Naive Bayes 35%

LDA 45 %

Разпознаването на посоката на движение е много малка.

Ние модифицирахме софтуер, разработен от проф. Янев и д-р Методи Трайков, и накривихме тестване на сигнала¹¹.

Резултатите, които получихме, бяха **48% *разпознаване***.

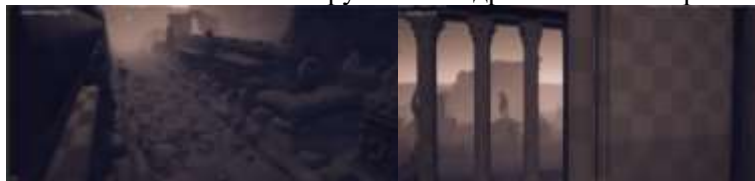
Това са много ниски резултати, но в лабораторията по виртуална реалност на Университета по библиотекознание и информационни технологии се работи за подобряване на тези резултати.

3.5. 3D модел на руините на древна СКАПТОПАРА

Освен характеристиките за моделиране се прилагат допълнителни възможности за редактиране, за създаване на различен вид реконструирани форми: потребителят избира едно лице и прилага афинтрансформация към него. Свързаният компонент на графиката на съседство (съдържаща трансформираното лице на обекта) претърпява същата афинна трансформация и оптимизация за възстановяване на затворен модел. Докато нашата основна задача все още е реконструкция от точкови облаци, нашият канал води до интересни начини за манипулация на формата. Въпреки че има различни цели, идеята за оптимизация и свързаното редактиране е подробно проучено в рамката за манипулация на формата.



Фиг. 3.12. Снимка на руините на древна Скаптопара



¹¹ Yanev, N. , Traykov, M. , Milanov, P. Yurukov, B. A new classifier for protein fold class recognition. Comptes Rendus de L'Academie Bulgare des Sciences, 2018, 71(7), pp. 885-892



Фиг.3.13. 3D модел на разкопките на древна Скапторапа



Фиг. 3.14. 3D възтановка на древна Скаптопара с Unreal Engine

Тъй като много обекти, създадени от човека, и особено сгради, се състоят от равнинни повърхности, ние единствено използвахме равнини в нашата реконструкция и моделиране на канала. На практика това вече позволява боравене с широк спектър от архитектурни стилове чрез приближаване на извити повърхности в сцената с равнини. Нашият метод обаче не се ограничава до равнини и може да поддържа други форми, като разширим нашата съвпадаща дефиниция и дефинираме подходящи пространства за моделиране, което е вдъхновение за бъдеща работа. За да запазим дефиницията си за съвпадение и подрязване, ние позволихме няколко ограничения:

Показано е, че комбинираното използване на геометрични данни заедно с извлечените пространствени отношения не само могат да помогнат за създаването на 3D, готови за CAD сгради, с нисък полигонален детайл при запазване на равнинността, но и също така за опростяване и ускоряване на стъпките за ръчно моделиране. В тази глава продължаваме още една стъпка към процедурата за реконструкция и моделиране, т.е. представяме истинска мултимодална система. Един проблем, който усложнява моделирането е, че наборите от данни рядко са пълни: тахиметричните точкови облаци са твърде оскъдни за реконструкция и те често имат големи дупки, причинени от еднакво оцветени зони в тях. В тази работа предлагаме подход за интерактивно моделиране, който отстранява проблема на липсващи данни чрез използване на наличните ориентирани 2D снимки, които съдържат

много повече информация от облака на точката или каквато и да е реконструкция, използваща само облака на точката: потребител скицира желаната геометрия директно върху изображението, използвайки прости 2D операции, и двете следват визуалните сигнали, осигурени от последователни изображения, които са много по-силни, отколкото характеристиките на реконструирана облачна точка. Това позволява липсващата информация да се интегрира естествено в обикновен 2D работен процес, базиран на скица. От потребителските скици 2D полигоните се проектират директно в 3D пространство, или на потребителя се предоставят допълнителни скици в следващи изгледи, до уникалното картографиране в 3D пространство, което може да се дефинира в зависимост от наличното качество на данните на основния облак от точки. Този интерактивен процес се поддържа и ръководи чрез предоставяне на предложения за потенциал от кандидати за полигони в съседни изображения, както и чрез предоставяне на визуална обратна връзка, за оценка на точността на проекцията в 3D пространството. Това позволява на потребителя да се възползва както от облачните точки, така и от данните от изображението, като се разчита на оптимален, гъвкав работен процес, с минимална ръчна намеса.

Основните приноси са:

- Интуитивен подход за 3D моделиране за фотограметрични набори от данни, на който се разчитат прости, базирани на скици, взаимодействия върху 2D снимки, базирани на щракване към ръбовете в изображение и, следователно, е дори използваем за мобилни устройства;

- Метод на скициране на многоъгълник, който автоматично получава необходимата 3D равнина;

- Метод за скициране с много изгледи, позволяващ определяне на многоъгълници, където няма точка, а са налични облачни данни и това намалява взаимодействието с потребителя, като предлага подходящи многоъгълници в допълнителни изгледи, след като първоначалният многоъгълник е скициран;

- Визуален индикатор, водещ потребителя през процеса на скициране на полигона чрез подаване на обратна връзка за постигнатата точност.

Полето на реконструкция спечели много научно внимание през последните години. Слагаме нашия фокус върху методите, които включват снимки в геометричния канал за реконструкция, или които се опитват да опростят 3D моделиране чрез намаляване на измеренията на взаимодействието, или чрез предоставяне на предложения на потребителя. Тези интерактивни инструменти разчитат на изображения, базирани на

моделиране, и използвайки фотограметрични набори от данни, за да се изчислят геометричните съответствия за реконструкция на 3D геометрия [Yang et al.,2010]. Докато операции като щракване към ръбовете в изображенията, или създаване на много изглед на текстура, са интегрирани в тях, но никой от тях не използва наличието на основните фотограметрични облаци от точки, за да се опрости напредъкът на скициране, както е в нашия метод. Освен това въвеждаме допълнителен ориентиран индикатор в графичния потребителски интерфейс, който работи като доставчик на обратна връзка, за да даде на потребителя лесна за разбиране визуализация за това колко повече е необходима работа по моделиране. Извличането на многоъгълни мрежи от точкови облаци е интензивно проучено през последните години. И все пак, особено в областта на градската реконструкция, получените 3D сгради се различават значително от типичните модели, проектирани с CAD инструменти. Докато човешките потребители създават модели на сгради, състоящи се предимно от геометрични примитиви с точни пресечни точки, мрежестите облачни точки са по своята същност шумни и съдържат дупки. Освен това, отсъствието на йерархични отношения прави геометрично редактиране или семантична класификация тромава. За да се справим с тези проблеми съществува интерактивен метод, който идентифицира основните равнинни форми в точков облак, върху който първоначални груби многоъгълници са създадени. И дупките между полигоните се затварят автоматично чрез оптимизационна стъпка. В неясни случаи, потребителите могат да редактират, фиксират или добавят многоъгълници, използвайки прости 2D операции върху съответната сегментирана равнина. За съжаление този подход разчита на точка от облаци, които наподобяват почти цялата повърхност [Walch et al., 2008]. Особено в случая с фотограметрични данни, често срещани са големи дупки, които не могат да бъдат реконструирани точно. В нашия подход комбинираме и двата метода. Равнинни повърхности в точния облак са идентифицирани и използвани като скицираща равнина за 2D взаимодействие за моделиране, но чрез използване на снимки като допълнителен вход в 2D домейна скицираните многоъгълници могат допълнително да визуализират ръбовете на изображението и полигоните, за които няма налични данни.

Тъй като този научен труд се фокусира върху интерактивното моделиране с помощта на фотограметрични данни, ние описваме свойствата и отличителните характеристики на този тип вход: Фотограметричната мрежа се получава от набор от припокриващи се снимки на обект чрез използване на структура от техники, която показва местоположението и ориентациите, както и облакът от 3D точки, състоящ се от съвпадение на

изображения, които са били препроектирани в 3D пространството. Облакът от точки може да бъде допълнително уплътнен с помощта на алгоритми. Тъй като такива точки не бяха измерени, но бяха изчислени с помощта на функции на изображението, фотограметрично генерираните точки може да не са толкова плътни и, по-важното, не толкова равномерно разпределени от лазерно сканиране, което води до повече дупки в данните [Reiner et al., 2012]. Например, така е трудно да се извлекат функциите от напълно плоски, безхарактерни стени. Затова се стремим да компенсираме липсваща информация чрез дефиниране на многоъгълници в множество снимки. Чрез достъп до параметрите на вътрешна и външна камера, трансформации могат да се постигнат от пространството на 2D изображението в пространството на 3D света и обратното. В случая с нашата работа това е необходимо за просто 2D редактиране и скициране на стъпки и тяхното въздействие върху 3D пространството в света. Друго предимство на наличието на снимки е използването им в по-нататъшни стъпки за реконструкция, както за интерактивното щракане на линии, така и за генериране на текстура. Освен това процесът на придобиването може да се извърши с фотокамера на потребителско ниво и със свободно достъпни инструменти, което го прави евтино и лесно решение в сравнение с други методи.

Един метод за получаване на 3D позиции за върховете на скициран многоъгълник в 2D изображение в пространството е да го дефинираме не само в една, но и в няколко снимки. Тъй като ориентацията на снимки е известна в 3D пространството, всеки пиксел в равнината на изображението може да се използва за определяне на лъч от фокусната точка на камерата през пикселната позиция в световното пространство [Rousseeuw & Leroy 1987]. Ако това е направено за върховете на многоъгълника в множество изображения, пресечната точка на съответните лъчи определя нейната 3D позиция. Това се повтаря за всички върхове и неизвестната равнина може след това да бъде оценена по метода на най-малките квадрати. Ние реализирахме тези пресичания на лъчи, използвайки метода на триангулация, основан на хомогенна, директна, линейна трансформация, което води до оптимално решение с най-малко квадрати. Този подход е само един от възможните проблеми с пресичането. Избрахме тя да е здрава и лесно да се обобщава до триангулация в повече от 2 гледания. Ние използваме това по време на ръководството за скициране, където насърчаваме потребителя да определи полигона в повече от 2 снимки.

Често е очевидно, че някои елементи лежат на една и съща равнина в 3D пространството. Това се отнася особено за елементи като прозорци, врати или балкони на фасада. Следователно ние допускаме потребителят

просто да дефинира многоъгълника на съществуващ елемент като равнина на 3D скициране за следващия многоъгълник и да може да препроектира двуизмерното очертание в 3D пространството веднага.

В тази точка описваме как сме интегрирали описаните методи за скициране на многоъгълници в работен процес на интерактивно моделиране. Всички интерактивни концепции, описани по-долу, насочват и подкрепят потребителя. Въпреки всички предложения на нашата система ние приемаме, че потребителят знае най-добре какви са нейните намерения. Всяка стъпка с предложения и насоки в нашата система може да бъде безопасно игнорирана от потребителя [MarcHasenfratz et al., 2003].

Както е описано по-горе, всички скициращи операции се извършват в рамките на 2D снимки. От изключителна важност е обаче, че потребителят също имплицитно знае текущото местоположение на изгледа в триизмерния свят, така че да може да се използва пространствения контекст, скицирайки полигони в множество снимки, без да ги смесва. По време на скицирането на потребителите се представя 2D изглед на текущата снимка. Въпреки това, тъй като съответният кадър включва и 3D информация [Furukawa et al., 2010], позволяваме да се промени стойността на непрозрачността произволно, така че да може да се направи 3D съдържанието (напр. вече моделирани полигони) видимо. Освен това превключването между снимки е предназначено да помогне на потребителя да запази своята пространствена ориентация: вместо незабавно превключване на показаната снимка, камерата изпълнява летяща анимация, за да покаже къде потребителят „практически отива“.

Ние улесняваме скицирането в избран кадър чрез функция за щракване, която позволява скициране на линии към краищата, открити на изображението. По този начин потребителят трябва само да създаде груба скица. Затова използваме реализация на детектора на линеен сегмент, за да намерим ръбове в основното изображение. Очертанието на първоначалния многоъгълник се сравнява с набора от линии в изображението.

Ако потребителят избере да използва режима на моделиране на изгледа, е необходим работен поток на един и същ многоъгълник, който да се предлага в различни изображения [Cazals et al., 2008]. Вместо да се налага да скицирате съответно многоъгълника отново, предложената ни система се опитва да сведе до минимум това усилие: възможно най-скоро, потребителят може да премине към следващия кадър (дефиниран от най-близкия евристичен пространствен такъв), при което първоначалният многоъгълник се проектира в новото изображение и се препозиционира така, че да пасне на обекта. Например ако многоъгълникът щракне към ръбовете на прозореца в

първоначалното изображение, прожектираният многоъгълник в съседното изображение също се опитва да щракне към ръбовете на този прозорец. Това се постига чрез изчисляване на нормализирани цветни хистограми в краищата на първоначалния многоъгълник в основната снимка. След това хистограмите се сравняват с хистограмите на ръбовете, намерени в целевото изображение, за да се намерят съвпадащи линии. Най-доброто съвпадение се използва като начална точка за полигона в другия кадър. Накрая съседни ръбове се добавят стъпка по стъпка [Boissonnat & Oudot, 2005]. Нашата система не прави предположения за конкретни структури или за пространственото разположение на основната геометрия, която трябва да се реконструира.

Демонстрирахме как да комбинираме интерактивни техники, базирани на изображения и посочени облачни базирани методи за реконструкция на готови за CAD 3D модели на сгради вътре за няколко минути. 3D равнини, върху които са препроектирани и скицирани 2D полигони, могат да се изчислява не само от множество изгледи, но и от равнинни сегменти, открити в съответния облак от точки [Aszódi, 2006]. Допълнителни функции и предложения за щракване на изображение подобриха процеса на очертаване на скици. Нашият нов метод е естествено продължение на тези свързани техники и не пречи на техните концепции, но ги подобрява. Чрез въвеждане на интуитивен индикатор за визуално ориентиране, потребителите могат да правят преки пътища по време на изображението чрез моделиране на стъпки, като същевременно е ясно влиянието на качеството, което то оказва. В бъдеще планираме да усъвършенстваме допълнително ориентираните към потребителите методи за взаимодействие, като ние сме особено заинтересовани да доведем взаимодействието, основано на допир, до ниво, което да завърши процесът на 3D моделиране на сгради и той да бъде възможен за мобилни устройства. Заедно с камерата, възможностите на съвременните смартфони и базираните на сървър фотограметрични изчисления, пълният работен процес за реконструкция на едно устройство изглежда е на място. Също така ще проучим дали можем да използваме алгоритми за учене, за да заменим определените понастоящем параметри и прагове от потребителите, тъй като те могат да варират в зависимост от входните данни. Освен това бяхме вдъхновени от отзивите, които получихме от експертните потребители, и планираме подобряване на модела на работа чрез интегриране на допълнителни източници на данни като геодезически измервания или наземни планове.

Приноси

1. Създадени са модели на древния град Скаптора, чрез експлицитно моделиране, фотограметрия и GIS системи;
2. Предложена е методология за създаване на фотореализъм чрез средствата на биомеханиката, като се моделира реално движение на човек;
3. Направена е класификация и обработка на ЕЕГ сигнали с цел виртуално управление на камера;
4. Разработен е нов концептуален модел за създаване на пространствени модели на културно-исторически обекти с цел тяхното популяризиране и дигитализация;
5. От направеното анкетно проучване е видно, че студентите желаят в техните лекции да се използват 3D модели и обучението по компютърна графика и компютърно моделиране трябва да се повиши с въвеждане на нови дисциплини;
6. Представени са изследвания в областта на визуализиране на 3D обекти и различни начини на описание и са създадени сложни примитиви чрез фотограметрия и математическо моделиране.

Заклучение

Всеки разработчик на визуализация на 3D обект участва в сложен процес на проектиране - балансиране на трите изисквания за полезност, стабилност и привлекателност в рамките на дадени ограничения. Тази дисертация изследва често пренебрегваното изискване за привлекателност (или „естетика“) при визуализация и като прави това, обсъжда по-широката роля за процеса на проектиране, която подчертава ползите от разпространението на обосновката на дизайна. При представянето на модел са представени потенциални роли за проектиране и визуализация на информация.

Софтуерните инструменти за чертане и проектиране са огромна помощ за създаването на инженерна графика и сложни сцени. Тези инструменти значително подобряват прецизността, с която графиките могат да се произвеждат и възпроизвеждат, намаляват всяко изкривяване и правят анализирането по-лесно и по-точно. Подобряването на инженерните графични технологии през годините е основен фактор за подобряване на инженерството, дизайна и комуникацията.

През 70-те години много големи компании, особено тези в автомобилната и аерокосмическата индустрия, признават предимствата на компютърно базираното рисуване и графики: лекота на съхранение и предаване на данни, прецизни чертежни данни и лекота на манипулация на данни, когато чертежите трябва да бъдат променени. Няколко големи компании започват да разработват инструменти за автоматизирано чертане (CAD) за собствено ползване.

В настоящия дисертационен труд е направено кратко математическо описание на основните методи на 3D моделиране и начини за представяне и визуализиране на информацията. Направен е обзор и са представени различни начини за създаване на сложни обекти. Направено е разграничаване между различните начини, както и е представен метод за тяхното обединение.

Направени са два пространствени модела на древния град Скаптопара, открит до Благоевград. Ние не претендираме за историческа достоверност и за създаването на моделите сме използвали скици и рисунки от Римската епоха. Настоящото изследване може да се използва за създаването на по-точни модели.

Тестването на ЕЕГ сигнали показва, че изследванията в тази област са много перспективни и те могат да се използват в компютърната графика като движение на виртуалната камера или преместване на курсора на екрана. Нашите резултати не претендират за изчерпателност, но ние показахме, че

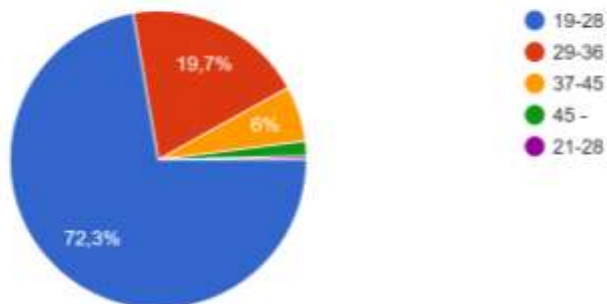
евристичните методи дават много добри резултати и те не бива да се пренебрегват.

Приложение 1

Анкетно проучване за мястото на компютърната графика в обучението

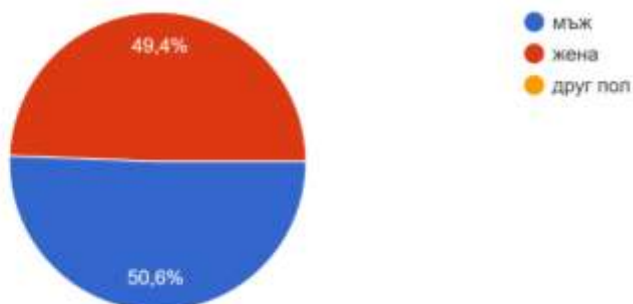
Вашата възраст е

249 отговора



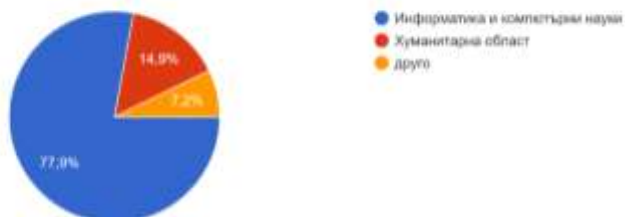
Вашият пол е

249 отговора



Вие изучавате

249 отговора



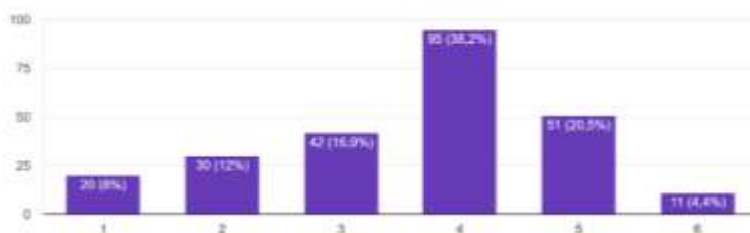
Мислите ли, че обучението по компютърна графика е на необходимото ниво
249 отговора



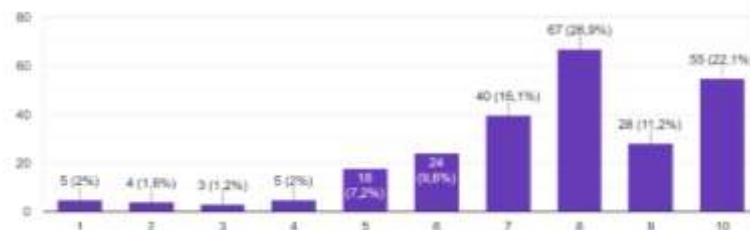
Трябва ли да се добавят нови курсове по компютърна графика
249 отговора



Оценете познанията си по компютърна графика
249 отговора

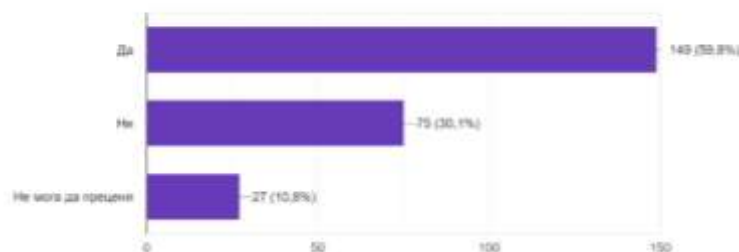


Бихте ли желали в лекциите и упражненията Ви да се включват учебни материали в системи на виртуална или добавена реалност
249 отговора



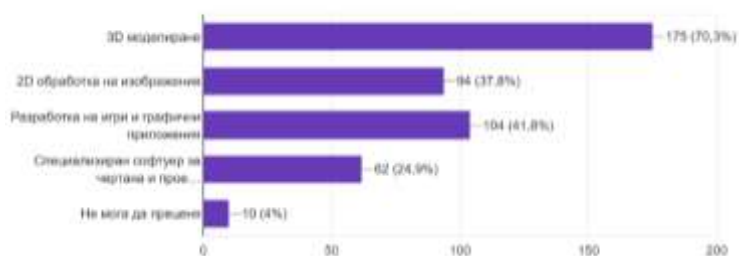
Бихте ли се включили в научни проекти, свързани с компютърна графика

249 отговора



Според Вас, какви курсове бихте желали да бъдат включени във вашето обучение

249 отговора



Бихте ли започнали кариера в областта на компютърната графика

249 отговора



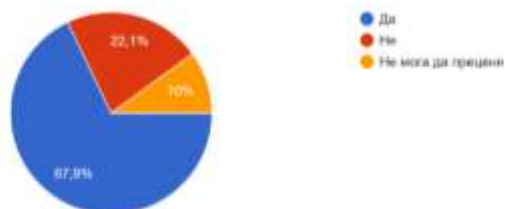
Съгласни ли сте с твърдението, че имаме богато културно-историческото наследство

229 отговора



Според Вас, създаването на повече 3D модели на древни паметници ще популяризира ли културно-историческото ни наследство

249 отговора



Как оценявате ефективността на рекламата на културно-историческото ни наследство чрез 3D модели на древни паметници в България?

249 отговора



Ако видите виртуален 3D модел на древен град в система на виртуална реалност, след това бихте ли отишли да видите физически самите древни останки?

249 отговора



Приложение 2

Данни от ЕЕГ сигнали

#NAME?	TIME_IN	AF3	F7	F3	F5	T7	P7	O1	O2	P8	T8	FC6	F4	P8	AF4
LEFT.png	1500	4109,49	4193,72	4094,74	4077,56	4108,21	4108,08	4108,33	4095,77	4093,72	4115,51	4116,54	4072,31	4089,49	4090,51
LEFT.png	1500	4107,31	4183,08	4072,05	4069,49	4110,64	4088,97	4109,62	4070,51	4065,51	4115,13	4114,87	4041,67	4057,83	4066,67
LEFT.png	1500	4104,87	4188,33	4078,72	4080,13	4111,54	4100,64	4107,69	4081,79	4074,49	4115,00	4114,10	4050,90	4070,26	4075,51
LEFT.png	1500	4114,10	4227,05	4122,05	4107,18	4112,05	4129,49	4108,33	4125,90	4121,15	4115,38	4117,69	4101,15	4127,82	4121,41
LEFT.png	1500	4110,13	4242,82	4136,41	4111,92	4107,69	4132,18	4107,05	4133,59	4132,18	4115,38	4118,85	4117,44	4148,97	4139,36
LEFT.png	1500	4106,92	4223,08	4125,64	4104,87	4109,36	4121,28	4107,44	4121,41	4115,13	4115,00	4115,26	4104,36	4136,79	4126,28
LEFT.png	1500	4112,05	4216,54	4135,00	4110,26	4115,64	4125,77	4110,77	4135,51	4123,46	4115,13	4114,87	4109,62	4137,69	4127,95
LEFT.png	1500	4106,41	4210,13	4133,21	4106,79	4113,46	4128,33	4108,72	4136,03	4126,03	4115,13	4118,08	4110,90	4127,95	4126,54
LEFT.png	1500	4108,21	4184,62	4108,33	4096,67	4110,13	4117,05	4109,49	4110,77	4104,23	4115,26	4116,92	4087,82	4102,56	4107,05
LEFT.png	1500	4110,77	4169,10	4110,31	4096,54	4110,13	4109,23	4109,62	4105,90	4097,44	4114,62	4113,85	4078,46	4102,56	4102,44
LEFT.png	1500	4108,59	4158,85	4110,00	4100,64	4110,26	4108,97	4108,21	4114,10	4105,38	4114,49	4115,64	4088,33	4112,18	4110,77
LEFT.png	1500	4109,23	4133,08	4101,92	4099,87	4109,49	4104,36	4109,36	4104,36	4097,31	4114,62	4116,92	4079,36	4095,90	4103,08
LEFT.png	1500	4107,05	4125,51	4099,62	4106,79	4108,59	4104,49	4106,67	4098,85	4088,85	4114,62	4117,44	4070,38	4089,36	4098,21
LEFT.png	1500	4110,00	4129,36	4110,13	4119,10	4111,79	4115,26	4108,33	4105,77	4097,05	4114,62	4118,85	4084,62	4104,87	4107,69
LEFT.png	1500	4106,92	4108,85	4107,31	4111,15	4113,85	4120,64	4109,87	4105,00	4103,85	4114,62	4117,44	4089,87	4109,36	4109,62
LEFT.png	1500	4103,46	4095,00	4102,56	4101,79	4111,67	4117,69	4108,97	4102,31	4104,23	4114,62	4117,56	4083,08	4110,64	4106,92
LEFT.png	1500	4108,59	4107,31	4111,03	4113,21	4110,38	4120,77	4109,10	4109,62	4108,97	4114,62	4119,36	4089,87	4120,13	4112,69
LEFT.png	1500	4106,92	4103,59	4105,90	4115,13	4109,62	4121,28	4106,67	4110,64	4110,51	4114,62	4116,92	4088,97	4114,62	4109,74
LEFT.png	1500	4109,87	4085,51	4095,51	4111,15	4109,87	4115,77	4107,69	4105,00	4104,87	4114,62	4115,77	4076,15	4104,23	4100,00
LEFT.png	1500	4109,62	4093,21	4102,31	4120,38	4108,85	4114,87	4107,82	4109,49	4107,56	4114,62	4117,69	4078,46	4113,33	4105,38
LEFT.png	1500	4104,62	4094,36	4101,03	4117,56	4110,00	4109,49	4108,46	4106,79	4106,41	4114,62	4118,59	4077,56	4112,05	4105,90
LEFT.png	1500	4109,62	4077,82	4099,36	4108,08	4114,87	4110,51	4110,90	4105,90	4105,38	4114,62	4115,90	4075,13	4104,49	4103,08
LEFT.png	1500	4110,26	4088,97	4119,36	4118,46	4112,18	4127,69	4106,41	4130,77	4125,77	4114,62	4113,85	4099,23	4126,28	4119,49
LEFT.png	1500	4111,28	4101,67	4126,28	4128,21	4108,72	4131,79	4107,18	4142,95	4136,28	4114,62	4115,13	4112,82	4142,44	4129,87
LEFT.png	1500	4109,87	4083,97	4112,82	4116,92	4111,03	4120,00	4112,05	4126,54	4121,79	4114,62	4117,44	4095,26	4126,67	4121,03
LEFT.png	1500	4108,85	4074,87	4115,26	4113,85	4112,05	4118,46	4111,15	4119,49	4117,31	4114,62	4117,44	4092,18	4119,36	4120,51
LEFT.png	1500	4115,00	4086,67	4129,23	4126,79	4110,64	4125,90	4109,10	4126,79	4124,62	4114,62	4117,31	4110,77	4130,90	4127,31
LEFT.png	1500	4108,21	4081,28	4120,38	4119,36	4109,87	4122,44	4108,59	4122,56	4117,95	4114,62	4115,64	4108,59	4128,59	4123,72
LEFT.png	1500	4106,67	4070,51	4107,31	4111,67	4111,54	4113,46	4110,51	4110,26	4102,69	4114,62	4112,69	4091,41	4119,87	4118,33
LEFT.png	1500	4111,28	4077,56	4113,08	4124,23	4110,38	4112,56	4109,10	4106,54	4096,28	4114,62	4115,64	4094,74	4123,59	4121,15
LEFT.png	1500	4107,69	4073,72	4119,49	4125,38	4109,62	4114,62	4106,28	4114,74	4103,33	4114,62	4120,00	4106,28	4126,28	4125,64
LEFT.png	1500	4112,95	4059,49	4113,72	4114,36	4112,44	4110,38	4108,72	4119,87	4108,85	4114,62	4118,46	4098,59	4122,05	4123,08
LEFT.png	1500	4109,10	4056,28	4100,38	4112,56	4111,28	4101,41	4107,56	4108,33	4097,69	4114,62	4116,03	4079,49	4112,56	4110,77
LEFT.png	1500	4105,00	4058,33	4094,62	4122,69	4110,26	4099,49	4107,95	4096,28	4083,59	4114,62	4116,41	4072,82	4098,33	4100,77
LEFT.png	1500	4111,15	4062,95	4106,79	4130,64	4110,13	4111,03	4111,41	4105,77	4092,69	4114,62	4116,41	4085,90	4108,46	4110,13
LEFT.png	1500	4109,49	4066,79	4121,15	4130,90	4109,62	4122,05	4109,62	4121,54	4112,82	4114,62	4115,64	4099,10	4128,46	4123,46
LEFT.png	1500	4110,90	4061,41	4113,46	4124,87	4112,44	4110,77	4108,33	4114,10	4107,82	4114,62	4115,38	4089,49	4112,95	4113,08
LEFT.png	1500	4109,62	4051,15	4091,28	4113,21	4112,31	4094,87	4108,85	4093,59	4081,54	4114,62	4115,90	4069,49	4090,38	4095,00
LEFT.png	1500	4108,33	4054,10	4090,38	4110,77	4109,23	4100,38	4110,00	4091,79	4073,97	4114,62	4115,77	4072,18	4098,97	4097,69
LEFT.png	1500	4109,74	4061,03	4107,95	4114,10	4108,21	4109,74	4109,87	4108,85	4097,31	4114,62	4113,21	4088,33	4116,92	4112,31
LEFT.png	1500	4105,38	4059,62	4116,15	4114,23	4109,62	4109,49	4108,21	4116,28	4112,69	4114,62	4117,05	4096,03	4121,79	4119,36
LEFT.png	1500	4108,33	4061,67	4118,21	4123,46	4111,54	4111,92	4110,51	4111,41	4102,56	4114,62	4123,46	4101,54	4121,41	4124,36
LEFT.png	1500	4108,46	4059,62	4118,59	4128,59	4111,03	4112,69	4109,23	4107,05	4089,36	4114,62	4117,05	4101,41	4118,46	4119,49
LEFT.png	1500	4109,62	4054,74	4114,10	4116,79	4110,51	4106,79	4107,31	4105,77	4091,54	4114,62	4108,85	4099,10	4114,23	4109,62

LEFT.png	1500	4112,82	4071,92	4120,77	4117,95	4107,69	4108,72	4107,69	4115,00	4106,15	4114,62	4113,97	4101,28	4127,18	4119,74
LEFT.png	1500	4107,56	4084,23	4131,03	4126,41	4105,26	4112,56	4106,92	4118,97	4106,41	4114,62	4118,72	4114,49	4136,41	4132,18
LEFT.png	1500	4109,49	4070,77	4122,04	4120,00	4109,10	4106,03	4111,03	4110,64	4096,15	4114,62	4115,26	4108,33	4125,13	4123,08
LEFT.png	1500	4108,85	4070,38	4119,87	4121,03	4110,77	4107,18	4111,28	4114,74	4103,46	4114,62	4114,62	4107,31	4124,49	4123,59
LEFT.png	1500	4107,95	4084,49	4136,67	4136,92	4111,28	4122,82	4108,46	4128,97	4113,21	4114,62	4117,31	4118,97	4143,59	4139,62
LEFT.png	1500	4113,97	4083,59	4136,54	4136,67	4110,77	4126,54	4108,85	4125,64	4106,54	4114,62	4117,05	4115,90	4145,51	4137,82
LEFT.png	1500	4110,90	4076,54	4118,97	4121,92	4107,18	4109,36	4106,54	4111,67	4103,33	4114,62	4118,21	4103,46	4127,44	4124,87
LEFT.png	1500	4111,79	4068,08	4111,28	4120,13	4109,87	4097,18	4107,82	4107,05	4103,33	4114,62	4117,95	4094,23	4117,05	4116,41
LEFT.png	1500	4108,59	4064,10	4108,08	4127,05	4112,82	4100,51	4110,26	4107,18	4093,21	4114,62	4111,79	4090,64	4121,67	4108,59
LEFT.png	1500	4103,72	4072,18	4106,41	4126,54	4109,36	4105,00	4111,41	4107,05	4097,31	4114,62	4112,69	4090,13	4125,26	4105,13
LEFT.png	1500	4112,44	4074,10	4112,18	4118,85	4110,00	4109,36	4112,18	4111,79	4108,59	4114,62	4118,59	4090,51	4115,64	4110,90
LEFT.png	1500	4110,77	4067,69	4120,77	4120,51	4111,79	4122,18	4107,95	4125,13	4121,54	4114,62	4117,95	4097,56	4115,51	4119,49
LEFT.png	1500	4107,69	4064,87	4121,54	4135,26	4111,41	4123,59	4109,49	4124,23	4100,64	4114,62	4117,18	4101,03	4125,77	4117,56
LEFT.png	1500	4107,95	4062,56	4109,49	4131,15	4111,67	4107,56	4112,56	4105,13	4100,13	4114,62	4116,54	4091,28	4119,87	4106,03
LEFT.png	1500	4107,44	4071,67	4106,41	4117,05	4111,15	4111,28	4110,00	4107,18	4100,13	4114,62	4115,38	4090,38	4117,95	4107,18
LEFT.png	1500	4113,21	4078,46	4117,56	4123,08	4109,87	4126,03	4109,49	4122,18	4120,26	4114,62	4117,95	4100,13	4125,90	4117,69
LEFT.png	1500	4108,33	4074,49	4124,49	4131,15	4109,10	4127,18	4109,23	4122,56	4123,21	4114,62	4117,95	4102,44	4125,13	4119,74
LEFT.png	1500	4105,90	4082,18	4125,90	4133,85	4109,74	4126,92	4110,13	4126,54	4121,03	4114,62	4115,77	4104,36	4124,62	4121,92
LEFT.png	1500	4108,85	4090,13	4125,26	4136,67	4108,33	4128,85	4109,62	4133,72	4128,72	4114,62	4116,03	4109,74	4129,10	4126,41
LEFT.png	1500	4107,82	4084,36	4124,49	4132,56	4107,56	4122,95	4108,85	4127,95	4125,38	4114,62	4116,03	4109,36	4126,79	4123,72
LEFT.png	1500	4109,74	4080,77	4122,56	4128,85	4108,72	4114,10	4110,51	4120,00	4110,90	4114,62	4116,67	4100,90	4121,67	4114,62
LEFT.png	1500	4106,03	4086,67	4122,18	4134,36	4107,95	4115,77	4108,08	4120,51	4108,46	4114,62	4117,56	4097,56	4120,64	4112,31
LEFT.png	1500	4110,38	4093,46	4129,10	4144,10	4109,87	4122,95	4109,87	4126,92	4122,82	4114,62	4116,92	4107,05	4126,54	4124,49
LEFT.png	1500	4112,18	4096,67	4129,23	4140,13	4113,21	4120,77	4112,69	4125,77	4126,28	4114,62	4115,90	4106,41	4128,59	4126,28
LEFT.png	1500	4102,44	4089,10	4113,21	4127,05	4110,51	4105,00	4110,26	4112,82	4112,56	4114,62	4117,31	4086,67	4118,05	4105,64
LEFT.png	1500	4107,44	4083,72	4114,36	4135,64	4107,69	4102,31	4110,26	4115,00	4114,36	4114,62	4118,33	4091,92	4114,49	4107,56
LEFT.png	1500	4110,38	4092,56	4129,87	4144,23	4108,46	4117,31	4108,72	4129,49	4126,79	4114,62	4117,56	4110,90	4136,54	4127,95
LEFT.png	1500	4108,72	4086,54	4120,38	4126,03	4111,92	4119,23	4107,05	4127,05	4123,46	4114,62	4116,67	4098,59	4130,51	4118,21
LEFT.png	1500	4108,46	4073,08	4108,21	4121,67	4112,95	4116,92	4108,59	4120,13	4119,74	4114,62	4113,72	4084,36	4117,05	4102,31
LEFT.png	1500	4103,59	4081,79	4114,10	4132,56	4108,59	4121,67	4110,26	4125,51	4123,72	4114,62	4113,85	4092,95	4125,77	4109,87
LEFT.png	1500	4108,97	4088,08	4114,10	4127,69	4106,92	4119,23	4112,82	4125,77	4123,85	4114,62	4117,05	4095,64	4127,95	4112,95
LEFT.png	1500	4108,46	4070,26	4107,56	4124,49	4109,36	4112,05	4110,26	4118,21	4120,13	4114,62	4116,92	4087,56	4121,28	4105,64
LEFT.png	1500	4106,41	4062,05	4103,59	4123,08	4110,00	4109,36	4108,85	4107,31	4107,82	4114,62	4116,79	4084,23	4121,67	4102,69
LEFT.png	1500	4109,49	4065,38	4091,67	4107,82	4106,92	4101,28	4111,79	4089,62	4086,03	4114,62	4115,90	4071,15	4105,00	4092,44
LEFT.png	1500	4105,64	4061,92	4084,10	4102,18	4105,64	4094,23	4108,08	4083,21	4080,13	4114,62	4115,00	4055,51	4087,18	4083,97
LEFT.png	1500	4108,59	4065,13	4092,18	4112,05	4111,54	4103,08	4106,15	4089,23	4086,92	4114,62	4117,18	4064,10	4098,72	4091,92
LEFT.png	1500	4107,18	4070,26	4091,41	4107,56	4111,92	4102,95	4108,08	4086,54	4086,15	4114,62	4117,18	4076,54	4110,00	4095,38
LEFT.png	1500	4103,59	4069,23	4087,44	4107,82	4107,82	4094,23	4111,03	4082,18	4084,62	4114,62	4115,90	4073,97	4103,33	4092,44
LEFT.png	1500	4106,54	4075,77	4097,31	4119,36	4110,90	4097,82	4111,15	4089,49	4091,92	4114,62	4116,79	4077,31	4104,62	4099,36
LEFT.png	1500	4103,97	4079,36	4103,08	4110,77	4112,95	4101,92	4105,77	4096,54	4095,00	4114,62	4116,28	4085,77	4111,28	4105,26
LEFT.png	1500	4105,64	4073,72	4099,10	4106,15	4109,49	4099,62	4107,95	4095,38	4094,49	4114,62	4116,15	4081,41	4106,15	4097,69
LEFT.png	1500	4105,00	4081,03	4101,79	4116,79	4108,21	4104,74	4111,28	4099,23	4104,10	4114,62	4116,92	4082,18	4109,10	4095,77
LEFT.png	1500	4106,41	4086,03	4108,72	4119,23	4109,10	4111,54	4110,26	4106,41	4111,41	4114,62	4112,69	4090,51	4119,49	4105,38
LEFT.png	1500	4113,59	4079,87	4111,79	4120,00	4109,23	4111,03	4111,15	4108,97	4108,59	4114,62	4112,05	4091,67	4125,51	4109,10
LEFT.png	1500	4107,31	4085,77	4113,33	4123,21	4107,82	4112,05	4109,87	4110,38	4109,87	4114,62	4117,18	4094,62	4130,26	4108,08
LEFT.png	1500	4106,67	4090,00	4107,31	4120,77	4110,00	4108,08	4110,38	4104,62	4108,33	4114,62	4115,26	4092,05	4123,08	4106,03
LEFT.png	1500	4110,77	4078,97	4094,49	4112,44	4110,00	4097,44	4110,51	4094,10	4093,97	4114,62	4113,72	4076,67	4107,95	4100,64
LEFT.png	1500	4110,13	4079,49	4096,41	4114,62	4107,95	4099,87	4107,82	4095,38	4090,26	4114,62	4118,08	4075,77	4111,54	4099,62
LEFT.png	1500	4113,33	4093,46	4114,23	4127,05	4107,82	4112,44	4107,69	4111,54	4109,49	4114,62	4118,59	4095,26	4128,59	4121,28
LEFT.png	1500	4107,05	4096,41	4124,23	4131,92	4105,26	4112,56	4109,74	4123,72	4124,74	4114,62	4115,90	4106,79	4140,26	4124,23
LEFT.png	1500	4107,82	4100,26	4126,54	4132,82	4107,44	4109,62	4112,44	4124,87	4126,54	4114,62	4116,03	4110,77	4147,56	4129,49
LEFT.png	1500	4111,92	4111,67	4130,00	4134,36	4110,90	4119,74	4109,36	4126,03	4128,08	4114,62	4116,15	4116,03	4146,92	4131,41
LEFT.png	1500	4107,69	4106,28	4126,28	4133,85	4109,74	4124,36	4107,82	4125,38	4129,36	4114,62	4116,03	4112,82	4141,03	4129,10
LEFT.png	1500	4108,97	4088,72	4116,67	4131,28	4110,51	4113,33	4113,97	4114,36	4118,46	4114,62	4117,69	4100,77	4138,46	4120,64

Приложение 3

Софтуер на Матлаб за изчисляване на ЕЕГ симулация

```
load eegdata.mat;
s=eegdata;
figure;p=plot(s);
```

```
title('EEG Signal')
```

```
fs = 500;
```

```
% Sampling frequency
```

```
N=length(s);
```

```
waveletFunction = 'db8';
```

```
[C,L] = wavedec(s,8,waveletFunction);
```

```
cD1 = detcoef(C,L,1);
```

```
cD2 = detcoef(C,L,2);
```

```
cD3 = detcoef(C,L,3);
```

```
cD4 = detcoef(C,L,4);
```

```
cD5 = detcoef(C,L,5); %GAMA
```

```
cD6 = detcoef(C,L,6); %BETA
```

```
cD7 = detcoef(C,L,7); %ALPHA
```

```
cD8 = detcoef(C,L,8); %THETA
```

```
ca8 = appcoef(C,L,waveletFunction,8); %DELTA
```

```
D1 = wrcoef('d',C,L,waveletFunction,1);
```

```
D2 = wrcoef('d',C,L,waveletFunction,2);
```

```
D3 = wrcoef('d',C,L,waveletFunction,3);
```

```
D4 = wrcoef('d',C,L,waveletFunction,4);
```

```
D5 = wrcoef('d',C,L,waveletFunction,5); %GAMMA
```

```
D6 = wrcoef('d',C,L,waveletFunction,6); %BETA
```

```
D7 = wrcoef('d',C,L,waveletFunction,7); %ALPHA
```

```
D8 = wrcoef('d',C,L,waveletFunction,8); %THETA
```

```
A8 = wrcoef('a',C,L,waveletFunction,8); %DELTA
```

```
Gamma = D5;
```

```
figure;
```

```
subplot(5,1,1);
```

```
plot(1:1:length(Gamma),Gamma);title('GAMMA');
```

```
Beta = D6;
```

```
subplot(5,1,2); plot(1:1:length(Beta), Beta); title('BETA');
```

```
Alpha = D7;
subplot(5,1,3); plot(1:1:length(Alpha),Alpha); title('ALPHA');
```

```
Theta = D8;
subplot(5,1,4); plot(1:1:length(Theta),Theta);title('THETA');
D8 = detrend(D8,0);
```

```
Delta = A8;
%figure, plot(0:1/fs:1,Delta);
subplot(5,1,5);plot(1:1:length(Delta),Delta);title('DELTA');
```

```
D5 = detrend(D5,0);
xdft = fft(D5);
freq = 0:N/length(D5):N/2;
xdft = xdft(1:length(D5)/2+1);
figure;subplot(511);plot(freq,abs(xdft));title('GAMMA-FREQUENCY');
[~,I] = max(abs(xdft));
fprintf('Gamma:Maximum occurs at %3.2f Hz.\n',freq(I));
```

```
D6 = detrend(D6,0);
xdft2 = fft(D6);
freq2 = 0:N/length(D6):N/2;
xdft2 = xdft2(1:length(D6)/2+1);
% figure;
subplot(512);plot(freq2,abs(xdft2));title('BETA');
[~,I] = max(abs(xdft2));
fprintf('Beta:Maximum occurs at %3.2f Hz.\n',freq2(I));
```

```
D7 = detrend(D7,0);
xdft3 = fft(D7);
freq3 = 0:N/length(D7):N/2;
xdft3 = xdft3(1:length(D7)/2+1);
% figure;
subplot(513);plot(freq3,abs(xdft3));title('ALPHA');
[~,I] = max(abs(xdft3));
fprintf('Alpha:Maximum occurs at %f Hz.\n',freq3(I));
```

```

xdft4 = fft(D8);
freq4 = 0:N/length(D8):N/2;
xdft4 = xdft4(1:length(D8)/2+1);
% figure;
subplot(514);plot(freq4,abs(xdft4));title('THETA');
[~,I] = max(abs(xdft4));
fprintf('Theta:Maximum occurs at %f Hz.\n',freq4(I));

```

```

A8 = detrend(A8,0);
xdft5 = fft(A8);
freq5 = 0:N/length(A8):N/2;
xdft5 = xdft5(1:length(A8)/2+1);
% figure;
subplot(515);plot(freq3,abs(xdft5));title('DELTA');
[~,I] = max(abs(xdft5));
fprintf('Delta:Maximum occurs at %f Hz.\n',

```