

VYSOKÁ ŠKOLA MUZICKÝCH UMENÍ V BRATISLAVE
FILMOVÁ A TELEVÍZNA FAKULTA
ATELIÉR VIZUÁLNYCH EFEKTOV

Real time 3D render a jeho vývoj

Bakalárska práca

Rok 2022

meno: Adam Greguš

Študijný odbor: Umenie

Študijný odbor: Vizuálne efekty

Školiace pracovisko: Ateliér vizuálnych efektov a herného dizajnu

Školiteľ: Ing., Arch. Marek Hollý

Vyhlasujem, že som písomnú časť bakalárskej práce pod názvom „Real time 3D render a jeho vývoj“ vypracoval samostatne, na základe vlastných teoretických a praktických poznatkov, konzultácií a štúdia odbornej literatúry, ktorej úplný prehľad je uvedený v zozname použitej literatúry

V Bratislave dňa:

.....
Adam Greguš

Pod'akovanie

Moje pod'akovanie patrí školiteľovi a konzultantovi Ing., Arch. Marekovi Hollému za rady a pomoc pri koncipovaní bakalárskej práce a zároveň aj môjmu oponentovi pánovi Prof. Ľudovítovi Labíkovi, . ArtD. za cenné dramaturgické pripomienky pri tvorbe bakalárskeho filmu. Moja vďaka taktiež patrí Ing. Mgr. art. Andrei Vrábellovej za scénografické odporúčania a záujem o náš bakalársky projekt.

Abstrakt

Adam Greguš, Real time render engine a jeho vývoj, Ateliér vizuálnych efektov filmovej a televíznej fakulty Vysokej školy múzických umení v Bratislave, vedúci diplomovej práce Ing., Arch. Marek Hollý Bratislava 2022, 23 strán

Diplomová práca sa zameriava na oblasť vývoja render engine, konkrétne, real time render engine. V diplomovej práci sa oboznámime s históriou renderovania, technologickými prelomami a integráciou real time renderovania do video hier a vizuálnych efektov. Cieľom diplomovej práce je ukázať posun real time render technológií a ich vplyv na filmový a herný priemysel.

Kľúčové slová: CGI, rendering, real time

Abstract

Adam Greguš, Visual Effects Studio of the Film and Television Faculty of the Academy of Performing Arts in Bratislava, leadership Ing., Arch. Marek Holly Bratislava 2022, 23 pages.

The bachelors thesis focuses on the topic of the development of render engines. More specifically real time render engines. In the thesis, we will get to know the history of rendering, technological milestones and the integration of real time rendering in the video game and visual effects industry. The aim of the thesis is to showcase the improvement of real time render technologies and their influence on the movie and game industry.

Keywords: CGI, rendering, real time

Názov slovensky

pomenovanie praktickej časti: Too Much

pomenovanie teoretickej časti: Real time render a jeho vývoj

Title in English

name of the practical part: Too Much

name of the theoretical part: The development of real time render engines

Slovenská synopsa:

Krátkometrážny film vyobrazujúci planý a biedny život prepracovaného novodobého nevoľníka. Krvopotne sa snaží o prepychový a blýskavý život aký majú jeho nadradení vo firme. Dusné firemné prostredie ho napokon dovedie do nepričetnosti a rozhodne sa vziať sebe svoj život.

English synopsis:

A short film showcasing the miserable life of an overworked salary man. He dreams of a life, that his higher-ups in the company have. Eventually the environment starts taking a toll on him and he decides to take his own life.

Slovenská anotácia:

Anotácia praktickej časti:

Použitím viacerých post-produkčných techník chceme v krátkom filme vystihnúť nepríjemnú a dusnú atmosféru súčasného korporátu. Spomínanú atmosféru chceme doceliť kompozitíngom a plochou, skoro až monochromatickou farebnou paletou pri color gradingu. Rôzne zábery by boli štylizované do iných farieb, závisiac od pocitu, ktorú sa daná scéna vyjadruje.

Anotácia teoretickej časti:

Svoju teoretickú časť začnem s všeobecným rozborom render enginev, ich vznikom a dejinami. Druhá časť mojej teoretickej časti sa bude zaoberať porovnávaním jednotlivých rendererov s dôrazom na tie, ktoré fungujú v reálnom čase a na ich súčasný vývoj. Nakoniec svoju tézu uzavriem mojimi vlastnými skúsenosťami a tým, ako som renderery využil pri bakalárskej práci.

English annotation:

Annotation of the practical part:

We want to create an atmosphere of modern day large conglomerate offices. Using such techniques as compositing and bleed, or monochromatic color grading. Certain shots would be color graded into specific monochromatic color schemes, depending on the emotion the scenes are supposed to convey.

Annotation of the theoretical part:

I will start off my thesis with the general analysis of render engines and the history behind them. The second part of my work will focus on comparison of specific render engines with emphasis on real-time render engines and their current development. Lastly I will conclude with my own experience with them and how I incorporated them into my current project.

Obsah:

1. Úvod	7
1.1 Definícia 3D	
1.2 Čo znamená rendering a prečo ho potrebujeme	
1.3 Real time rendering	
2. História	8
2.1 Ako 3D začínalo, prvé 3D programy	
3. Real time rendering:	
3.1 Počiatky real time renderingu	10
3.2 Vývoj a posun real time enginov	11
3.3 Software a samotné engines	11
3.4 Využitie real time renderingu	14
3.5 IPR rendering	15
3.6 Real time render a realizmus	15
4. Vizuálne efekty a príprava filmu Too Much.	17
4.1 Predprodukcia	
4.2 Produkcia	
4.3 Postprodukcia	
5. Záver	23
6. Zoznam ilustrácií	24
7. Použitá literatúra:	24

1. Úvod

CGI existuje už niekoľko desaťročí a neustále sa vyvíja. Vznikajú nové technológie, je jednoduchšie dosiahnuť realistický obraz a jeho tvorba sa stáva čoraz viac dostupnejšia aj pre bežných ľudí. 3D technológie sa stále zlepšujú a posun CG za posledných pár rokov je naozaj úchvatný.

1.1 Definícia 3D a CGI

Computer Generated Imagery alebo v skratke len CGI alebo CG je názov technológie, ktorá sa používa pri tvorbe obrázkov, scén alebo videí. CGI sa využíva v kinematografií, reklamách, videohrách a mnohých ďalších formách médií za účelom vytvorenia realistickejšieho a zaujímavejšieho prostredia.

1.2 Čo je rendering a prečo ho potrebujeme

3D rendering alebo po slovensky vykresľovanie je proces vytvárania realistických alebo aj štylizovaných snímkov troj-dimenzionálnych objektov alebo scén pomocou 3D softvéru.

Následný vyrenderovaný výstup môže byť použitý na viacero možných spôsobov. Pri filmovej produkcii, videohrách, virtuálnej realite alebo napríklad na tvorbu modelu, ktorý bude nasledovne zhmotnený pri 3D tlači.

Rendering sa ale nevzťahuje len na média a kultúrno-zábavný priemysel. Využíva sa aj pri architektúre, inžinierstve, fyzikálnych simuláciách, vizualizáciách a dokonca aj v medicíne.

1.3 Real time rendering

Real time rendering je technológia, ktorá umožňuje vykresľovať obrazový výstup, či už statické obrázky alebo video okamžite bez potreby čakania na pred-renderovanie obrázku alebo videa.

Pri real time renderingu môže človek interagovať s 3D objektom alebo 3D scénou a stále vidieť vyrenderovaný finálny výstup bez akejkoľvek potiaže. Narozdiel od tradičného renderovania, ktoré je značne pomalšie a neumožňuje používateľovi okamžitý náhľad aj pri posúvaní sa v 3D scéne alebo premiestňovaní 3D objektov.

Tento ušetrený čas je práve dôvodom prečo je real time rendering čoraz viac populárnejší.

2. História:

2.1 Ako 3D začínalo, prvé 3D programy

Ivan Sutherland bol pravdepodobne prvý človek, ktorý sa kedy pokúsil o počítačom generovaný obraz. Sutherland a skupina jeho kolegov vytvorila dynamickú 3D scénu na počítačovom monitore a premietli ju na plátno v 50. rokoch 20. storočia na MIT (Massachusettský Technologický Inštitút). Ivan spolu s jeho skupinou vytvorili predchodcu všetkých dnešných 3D softvérov, Sketchpad.

Neskôr v 70. rokoch 20. storočia Martin Newell použil Sketchpad na vymodelovanie čajníka, ktorý sa stal prvým 3D renderom na svete. Model spomínaného čajníka je dodnes možné nájsť v niektorých 3D programoch.



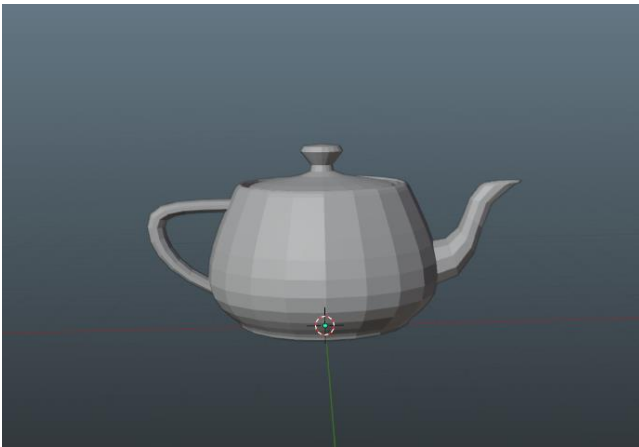
obr. 2.1 Spomínaný „Utah Teapot“ čajník

3D zažilo svoj najväčší rozmach v 90. rokoch. V krátkom čase vyšlo veľa nových 3D programov a azda najvýznamnejším úspechom bolo vydanie filmu Toy Story / Príbeh hračiek (1995). Bol to prvý celovečerný film, kompletne vyhotovený v 3D alebo inak povedané prvý full CG film.

De facto všetky najpopulárnejšie 3D programy používané dnes, vyšli v tomto časovom rozmedzí. Ako napríklad: Blender (1994), Autodesk Maya (1998), Autodesk 3DS Max (1996), SideFX Houdini (1996), Cinema 4D (1990). Real timový 3D softvér Unreal Engine sa tiež začal vyvíjať okolo roku 1995, no oficiálne prvá verzia vyšla až v roku 1998.



obr. 2.2 Ivan Sutherland a jeho program Sketchpad



obr. 2.3 „Utah Teapot“ ako jeden zo základných 3D objektov v programe Blender



obr. 2.4 Toy Story (1995)

3. Real time rendering

3.1 Počiatky real time renderingu

Real time je už desiatky rokov dôležitou súčasťou počítačovej grafiky. Jedným z prvých real time render enginov bol Metal Renderer, ktorý Apple uviedol na trh spolu s ich produktom QuickTime Pro 5 v roku 2003. V nasledujúcich rokoch prišlo na trh mnoho ďalších real time render enginov. Tieto enginy vyvíjali firmy ako napríklad Autodesk, NVIDIA a Microsoft. Intel vydal v roku 2003 Havok Suite, ktorý bol v tomto období veľmi populárny a často používaný.

Video hra Killing floor, ktorú vydal Tripwire Interactive v roku 2005 bola veľmi významným bodom pre pokrok počítačovej grafiky a video hier. Killing floor bola hra, ktorá posunula real time grafiku do úplne novej éry. Dovtedy bolo možné podobný vizuál dosiahnuť len pred-renderovaním alebo za pomoci drahého hardvéru, ktorý v tej dobe bežný človek nemal.



obr. 3.1 Snímka z videohry Killing Floor (2005) – Unreal Engine 1



obr 3.2 S.T.A.L.K.E.R. 2: Heart of Chernobyl (2022) Unreal Engine 5

3.2 Software a samotné engines

Dva najpopulárnejšie softvéry schopné real time renderingu v dnešnej dobe sú Unreal Engine (UE) a Blender. Oba programy je možné stiahnuť zadarmo a Blender dokonca možno používať aj na komerčné účely bez akýchkoľvek príplatkov. Toto robí real time rendering veľmi dostupným a lákavým pre ľudí, ktorí sa ešte len dostávajú do branže vizuálnych efektov alebo herného dizajnu. Oba programy mali aj stále majú nesmierny vplyv na vizuálny priemysel a je nespočetné množstvo CG artistov, ktorý sa do VFX dostali práve kvôli Blenderu. Real time engine v Blenderi, Eevee, má taktiež nízke nároky na hardvér a tým pádom je prístupnejší pre bežných ľudí s obyčajnými počítačmi.

3.3 Vývoj a posun real time enginov

Možno najviac je pokrok real time engines vidno pri videohrách. Herní vývojári sa dlhé roky snažili dosiahnuť realizmus, ktorý je už v dnešnej dobe pomocou programov ako Unreal Engine 4 alebo Unreal Engine 5 možný.



obr. 3.3 Quake II (1997)



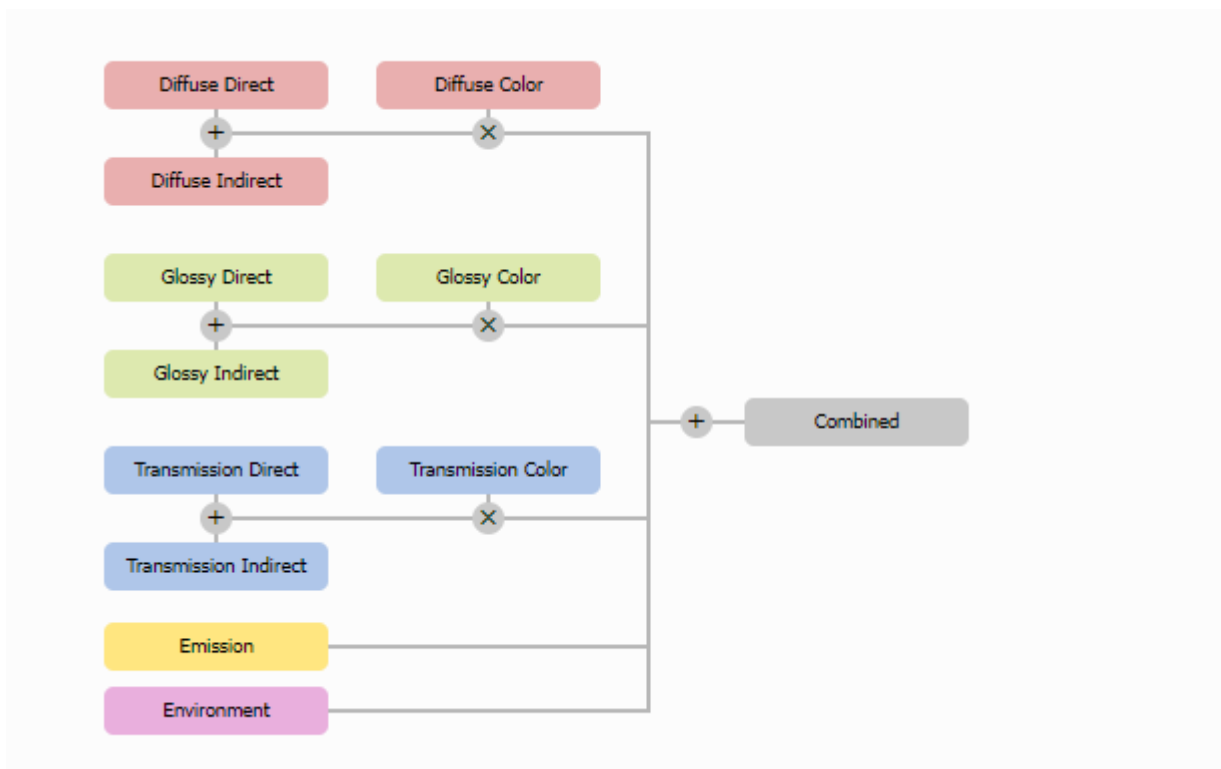
obr. 3.4 Dying Light 2 Stay Human (2022)

Render passes

Samotný obrázok, ktorý počítač vykreslí keď v 3D programe stlačíte tlačidlo „render“ sa nazýva Beauty. Vykreslovací engine spája mnoho svetelných vstupov do jedného celku. Každý renderer má svoj vlastný vzorec, podľa ktorého skladá dokopy tento „Beauty“, no v podstate sú si všetky veľmi podobné a fungujú na rovnakom princípe. Jednotlivé render passes sa skladajú z vrstiev, ktoré obsahujú informácie o farbe, jase a maskách.

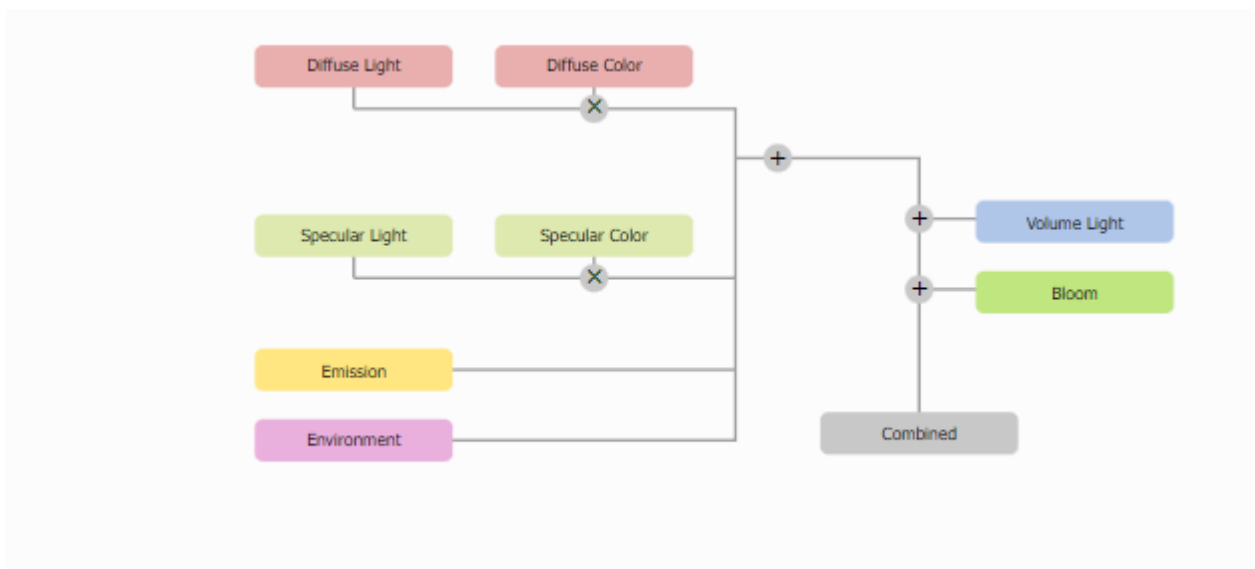
Beauty rebuild je process pri ktorom sa 3D render v kompozitingovom programe rozoberie na jednotlivé render passes a znovu zloží naspäť pomocou jednoduchej matematiky. V porovnaní so štandardnými render engines majú real timové enginy svetelné passy značne zjednodušené, no už to, že takýto process je pri real time renderingu možný je veľkým krokom pre 3D.

Vzorec na poskladanie render passes pri render engine Cycles



obr. 3.5

Vzorec na poskladanie render passes pri real time render engine Eevee



obr. 3.6

3.4 Využitie real time renderingu

Real time rendering je nesmierne užitočný nielen v hernej, či filmovej sfére. Umožňuje architektom a dizajnérom rýchlo vizualizovať projekty od obyčajných interiérových vizualizácií, napríklad nábytku až po megalomanské architektonické projekty.



obr. 3.7 Interiérový render – Eevee

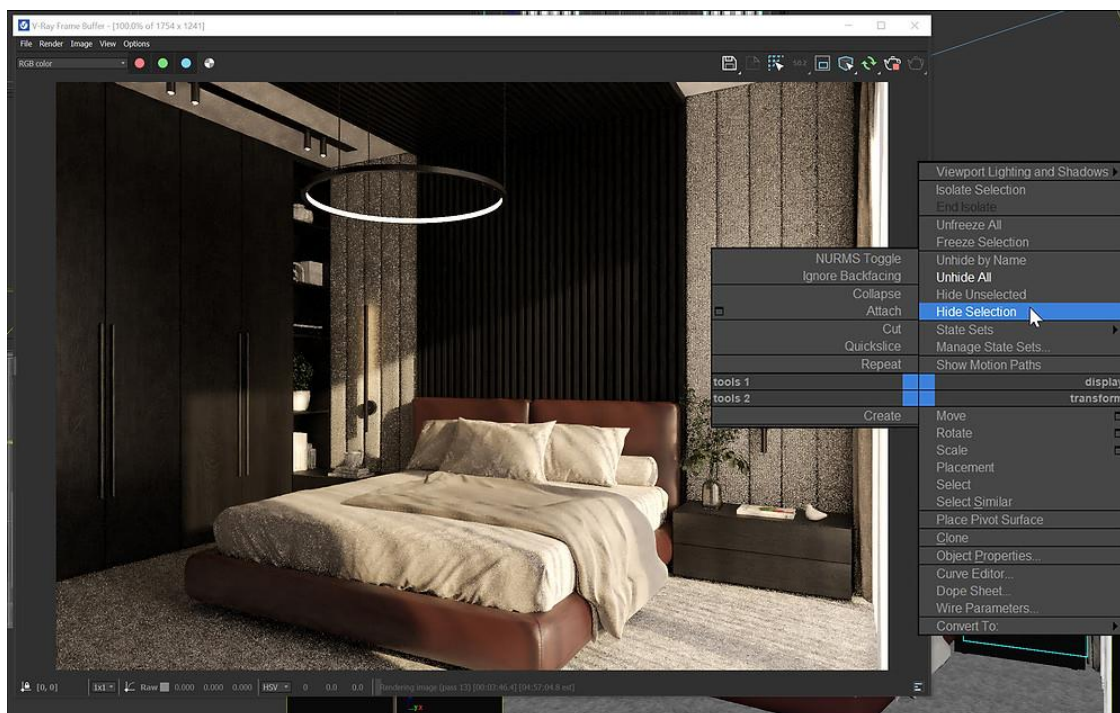


obr. 3.8 Interiérový render – Unreal Engine 4

3.5 IPR rendering

IPR Rendering je systém vykresľovania a vizualizovania 3D grafiky. Vyvinul ho Larry Gritz medzi rokmi 1982 a 1983 pod záštitou Silicon Graphics alebo inak aj SGI. IPR je skratka, ktorá znamená Interactive Photorealistic Rendering, alebo po slovensky interaktívne fotorealistické vykresľovanie. Jedným z prvých využití IPR renderingu boli vizualizácie zložitých molekulárnych systémov ako napríklad rôznych proteínov, či vírusov používané biológmi. Táto technológia bola pre nich veľmi užitočná nakoľko mohli molekuly otáčať v priestore, približovať jednotlivé časti, sledovať ako medzi sebou interagujú a podobne.

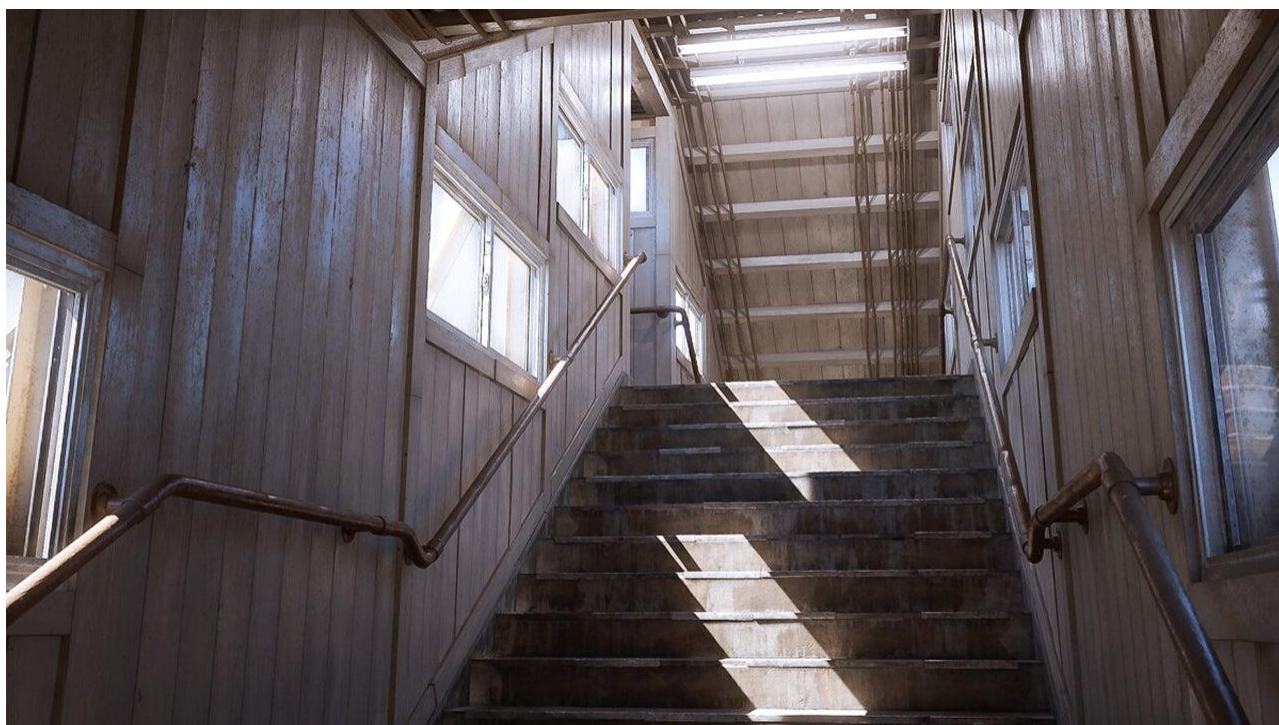
IPR sa odvtedy samozrejme veľmi posunul a v dnešnej dobe sa využíva na rýchlu vizualizáciu 3D scén napríklad v Autodesk Maya. Či už na náhľad textúrovaných objektov alebo svietenia. Pri IPR je možné pohybovať s objektami a otáčať kameru, či scénu, čo ho robí veľmi užitočným pri tvorbe vizuálnych efektov.



obr. 3.9 Vizualizácia vo viewporte pomocou IPR renderingu

3.6 Real time render a realizmus

Real time rendering niektorí ľudia považujú za horšiu variantu štandardného renderingu, ktorá nie je schopná realizmu. Real time engines sa však v dnešnej dobe dostávajú do bodu kedy sú už schopné celkom obstojného realizmu. Unreal Engine 5 je dobrým príkladom.



obr. 3.10 Príklad realistického interiérového renderu v Unreal Engine 5



obr. 3.11 Ďalší príklad realizmu za použitia Unreal Engine 5 a MetaHuman

4. Vizuálne efekty vo filme Too Much.

4.1 Pre-produkcia

Námet a základné informácie

Predtým než sme sa vôbec dostali k modelovaniu, textúrovaniu, renderovaniu, či compositingu sme potrebovali mať príbeh. A tak sa traja spolužiaci dali dokopy, sadli za stôl a začali rozдумovať. Padlo veľa nápadov, no nakoniec sme sa zhodli na námete vyššie spomínaného filmu Too Much. Ide o krátkometrážny full CGI, čiže celkom počítačom vytvorený zhruba 7 minútový film. Naša praktická bakalárska práca sa zaoberá problematikou prepracovania, nahraditeľnosti a kvázi novodobého otroctva.

Film sa odohráva v centre rušnej metropoly vo vnútri na prvý pohľad prepychových kancelárskych priestorov, ktoré sa nachádzajú v nepredstaviteľne vysokom mrakodrape. Náš krátky film sa zaoberá rôznymi tematikami. Jednou z nich je práve nahraditeľnosť ľudí vo veľkých nadnárodných korporáciách podobných práve tomu, v ktorom sa odohráva naša bakalárska práca. Tento dojem nahraditeľnosti povzbudzujeme rôznymi štylistickými prvkami. Jedným z nich sú napríklad spomínané rozmery nášho mesta a korporátneho sídla.

Symbolika

Dôležitým štylistickým prvkom nášho filmu sú taktiež zvieracie masky, ktoré nosia na tvári všetky postavy. Symbolizujú akúsi hierarchiu medzi zamestnancami firmy. Nižšie postavení zamestnanci na spodku hierarchie nosia masky zvierat, ktoré sú buď obvykle v prírode korisťou alebo sú medzi ľuďmi spájané s nečistotou a nižším statusom. Zjednodušene, nadradené postavy sú mäsožravé zvieratá a podradení zamestnanci sú byľinožravce. Príkladom týchto „podradených“ alebo „plebiánskych“ zvierat sú napríklad zajac, jeleň či prasa. Naopak, príkladom postáv, ktoré sú vo filme Too Much na „vrchole potravinového reťazca“ by bol šéf našej fiktívnej firmy. Lev.

Masky našich postáv majú ale aj inú symboliku. Okrem potravinového reťazca, vyjadrujú charakter postáv aj pomocou vlastností, ktoré si spoločnosť a všeobecne ľudia s týmito zvieratami bežne spájajú. Výstižným príkladom by bola maska postavy sekretárky, pravej ruky šéfa firmy. Had.

Film v podstate pozerá na svet očami nášho protagonistu, zajaca, ktorého život riadia ďalšie zvieratá pre ktoré je len „korisť“.

Stručný popis príbehu

Film sa v podstate skladá zo zhruba štyroch častí. Pracovne sme si pre nich stanovili toto názvoslovie – Výt'ah, Rutina, Trip, Mesto a nakoniec Titulky. V úvodných záberoch vidíme nášho hrdinu ako nervózne vychádza z výt'ahu do kancelárskych priestorov a oboznamuje sa so svojim pracoviskom. Po tejto sekvencii nasleduje časť, ktorú sme pomenovali Rutina. Skladá sa z niekoľko veľmi podobných a opakujúcich sa záberov zajaca, nášho hrdinu, ako pracuje každý deň od svitu do mrku. Zábery sa v Rutine stupňujú až nakoniec vygradujú psychickým zrútením zajaca, ktoré sme vyjadrili nájazdom na detail jeho oka. Ďalšia časť, Trip alebo vo voľnom preklade „zošalenie“, spočíva zo štyroch prelínajúcich sa „turn-table“ záberov zajaca za pracovným stolom. Posledná časť, Mesto, sa skladá zo záberov na mesto, budovu našej spoločnosti a nakoniec skok zajaca z nej.

V našom úplne poslednom zábere sa vrátíme naspäť na začiatok. Záber postavy vychádzajúcej z výt'ahu, len tou obmenou, že tento krát ide o iného, nového zamestnanca a celý cyklus sa opakuje.

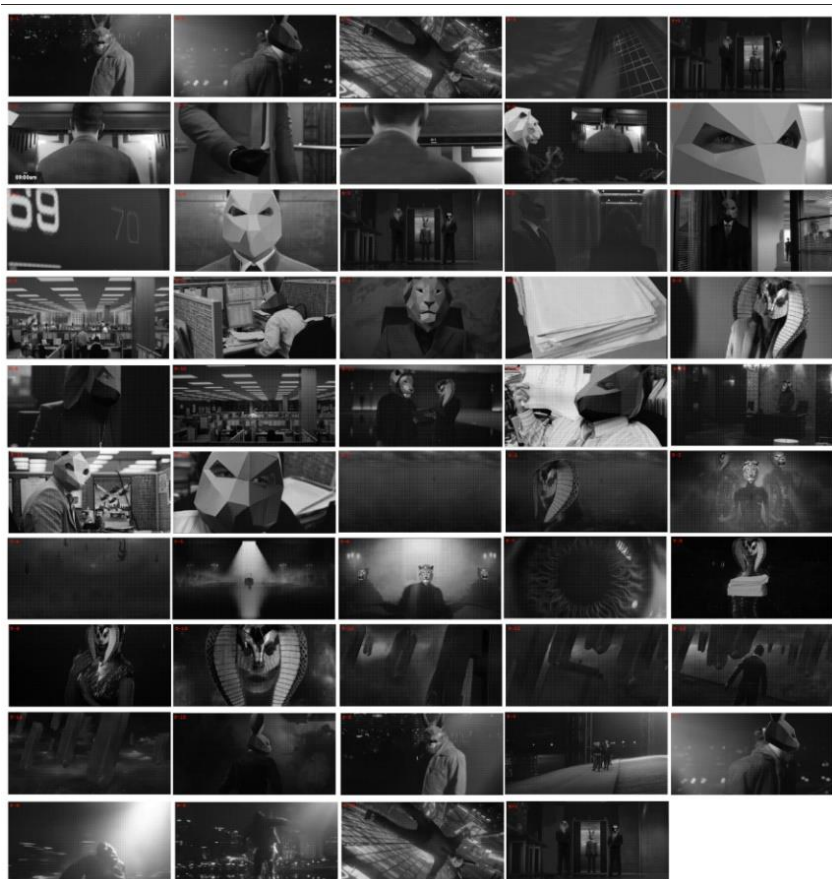
Harmonogram a organizácia

Na tvorbu filmu sme mali okolo deväť mesiacov. Vytvoriť krátkometrážny full-CG film s minimálnym rozpočtom a zopár počítačmi nie je ľahký úkon. Ešte pred začatím realizácie filmu sme si museli vypísať a podeliť všetky úlohy od modelovania, textúrovania, retargetovania až po kompoziting a zvučenie.

Storyboard a animatik

Storyboard sme sa rozhodli riešiť trochu netradičnou cestou. Namiesto kreslených obrázkov sme použili snímky z filmov a televíznych seriálov s podobným prostredím, pričom sme na hercov v týchto snímkach umelo dorábali masky našich postáv vo Photoshope. Výrazne nám to urýchlilo prácu a tým pádom sme sa mohli skôr venovať práci na samotnom animatiku.

Animatiky bývajú poväčšine strohé a nezvyknú sa v nich používať finálne high-res modely, či animácie. Rozhodli sme sa urobiť náš animatik, čo najviac priblížiť k finálnemu filmu, z hľadiska animácií, modelov a kamier. Pri tvorbe animatiku sme používali animácie zo stránky Mixamo. Mixamo je odvetvie firmy Adobe, na ktorom sú dostupné všemožné motion capture alebo v skratke mocap animácie zadarmo.



obr. 4.1 Storyboardu nášho projektu

Farebná paleta a referenčné zábery

Pri tvorbe virtuálnej kamery sme sa tiež nechali inšpirovať filmami a televíznymi seriálmi s podobnou tematikou, či prostredím. Pozbierali sme referenčný materiál na každú scénu vo filme, ktorý sme neskôr použili pri vytvorení 3D kamier.



obr. 4.2 Naša farebná paleta



obr 4.3 Referenčný záber šéfa



obr. 4.4 Referenčný záber hlavnej postavy

4.2 Produkcia

Pri tvorbe našich filmových prostredí sme čerpali z mnohých externých zdrojov. Používali sme knižnice z ktorých sme sťahovali 3D modely, pomocou ktorých sme vybudovali napríklad prostredie nášho 3D mesta. Konkrétnejšie sme zakúpili kolekciu „cyberpunk“ assetov a pozbierali z internetu rôznorodé footage, ktoré sme použili ako hologramové textúry na našich budovách. Mesto aj všetky scény a prostredia sme vyhotovili v programe Autodesk Maya 2022. Postavy z nášho filmu boli vytvorené pomocou softvéru „MetaHuman“ ktorý vlastní Epic games. MetaHuman nám dal veľa skúseností ohľadom kombinovania práce v Unreal Engine a Autodesk Maya. Masky našich postáv sa taktiež robili za pomoci voľne dostupných 3D modelov z internetu. Sťahovali sme 3D modely zvierat a následne sme tieto modely vyčistili a odstránili od nich telo, čiže nám ostala iba „maska“ zvierat'a. Masky sa následne samozrejme upravovali v ZBrushi a robila sa na nich retopológia.

Proces, ktorý nám počas tvorby nášho bakalárskeho projektu dal najviac skúseností a nových vedomostí je jednoznačne použitie motion capture obleku od spoločnosti Xsens, ktorý nám bol dostupný v učebných priestoroch ateliéru vizuálnych efektov. Technológiu motion capture alebo po slovensky zachytávanie pohybu sme použili pri našich hlavných a dôležitých postavách, pri ktorých voľne dostupné animácie zo stránky Mixamo neboli najadekvátnejším riešením alebo pri animáciách, ktoré sme nevedeli na internete zohnať. Za pomoci absolventiek bakalárskeho štúdia vizuálnych efektov Martiny Štammovej a Veroniky Rovderovej sa nám podarilo oblek na snímanie pohybu spojazdniť a začali sme nahrávať animácie pre naše hlavné postavy.

Po nasnímaní pohybu pomocou mocap obleku nasledovala posledná etapa animačného procesu. Retargeting. Retargeting je proces pri ktorom sa animačné dáta extrahované z motion capture obleku prenášajú na virtuálnu kosť na 3D postavu alebo charakter. Práve tento proces nám dal pri animáciách azda najviac zabráť, no zároveň nás aj veľa naučil. Museli sa znovu vrátiť k stránke Mixamo, no tentokrát sme z nej nebrali animácie. Vyexportovali sme si z Mixama T-Pose našich postáv a pomocou funkcie HumanIK sme automaticky prepojili kosti s animáciou a retarget bol hotový.



obr 4.5 Zapájanie motion capture obleku



obr 4.6 Prvotné pokusy o snímanie pohybu

4.3 Postprodukcia

Ako postprodukčný program sme si zvolili Nuke 13.2v1 od spoločnosti The Foundry. Za pomocou 3D render passov sme boli schopní opraviť veľa chýb, ktoré sme si pri renderovaní nevšimli. Render passy nám umožnili do hĺbky upravovať osvetlenie a parametre ako sú napríklad odlesky na lesklých materiáloch, či dokonca aj volumetrické osvetlenie alebo mieru rozostrenia pomocou Depth passu. Tento princíp rozoberania a následného rekonštruovania 3D shadera nám dal kontrolu aj nad mierou parametrov ako je motion blur, čo výrazne pomohlo vzhľadú nášho filmu.

Z dôvodu časovej tiesne sme sa rozhodli renderovať film v rozlíšení 1280x544p pri 12 FPS, po slovensky, snímkach za sekundu. Tieto stratené dáta sme získali naspäť využitím AI technológie ESRGAN na upscalovanie videa späť na Full-HD a programu DainApp na interpolovanie snímok z 12 na 24 za sekundu. Osobne mi technológia ESRGAN dala nové vedomosti v sfére programovania a veľa som sa pri jej implementovaní naučil.

Záver

Technológia a vymoženosti 3D renderingu sa v posledných rokoch nesmierne posunuli dopredu. Sme schopní tvoriť realistické snímky priamo v počítači. Real time rendering sa čoraz rýchlejšie zlepšuje a pomaly ale isto začína dobiehať svoj tradičný nie real-time variant.

Za zhruba 15 rokov sa Unreal Engine posunul z primitívnych 3D tvarov a kockatých postáv bez akéhokoľvek náznaku realizmu ku hyper-realistickým CG postavám takmer nerozoznatelným od reálnych ľudí. Počítače sú každým rokom schopnejšie a vývojári sa stále zlepšujú a snažia sa výkonovo z render enginov vytiahnuť, čo najviac. Vymýšľaním efektívnejších algoritmov aby zrýchlili a zjednodušili renderovací proces.

Iba čas ukáže kam nás tieto inovácie zavedú a čoho budú naše počítače schopné v blízkej ale aj vzdialenej budúcnosti.

Zoznam použitej literatúry:

1. Akenine-Möller Tomas, Eric Haines, Naty Hoffman, Angelo Pesce, Michał Iwanicki, and Sébastien Hillaire, Real-Time Rendering, Fourth Edition, 2018.
2. Brito Allan, Blender 2.8 for architecture; Modeling and rendering with Eevee and Cycles, 2019.
3. Lengyel Erik, Foundations of Game Engine Development, Volume 2; Rendering, 2019.

Zoznam obrázkov / Zdroje :

obr. 2.1 Utah Teapot https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/93/Utah_teapot_%28solid%29.stl/220px-Utah_teapot_%28solid%29.stl.png

obr. 2.2 Ivan Sutherland Sketchpad <https://www.researchgate.net/profile/Jon-Olav-Eikenes/publication/270819221/figure/fig3/AS:635193203376137@1528453269190/Ivan-Sutherland-with-his-Sketchpad-which-made-use-of-kinetic-features-such-as-scrolling.png>

obr. 2.3 Utah Teapot Blender - osobný archív

obr. 2.4 Toy Story (1995) https://www.commonsensemedia.org/sites/default/files/styles/ratio_16_9_small/public/screenshots/csm-movie/toy-story-1995-ss2.jpg

obr. 3.1 Killing Floor https://i.ytimg.com/vi/OO8_urlZElc/maxresdefault.jpg

obr. 3.2 S.T.A.L.K.E.R. 2 <https://www.pcgamesn.com/wp-content/uploads/2019/03/stalker-2-release-date.jpg>

obr. 3.3 Quake II <https://cdn.mos.cms.futurecdn.net/KjQMJsLWwRQ4tyKvSCxoqb.jpg>

obr. 3.4 Dying Light 2 https://asset.vg247.com/dying_light_2_01.jpg/BROK/thumb-nail/1600x900/quality/100/dying_light_2_01.jpg

obr. 3.5 Blender Cycles – osobný archív

obr. 3.6 Blender Eevee – osobný archív

obr. 3.7 Eevee Interior <https://blenderartists.org/uploads/default/original/4X/4/1/4/414bfdb0d856cea48f3b0dce3f6943d9d28889aa.jpg>

obr. 3.8 UE Interior https://cdn1.epicgames.com/ue/offer/ArchVisInterior_Screenshot_01-1920x1080-0976e3746d201841f421fcffd59aae1.png?resize=1&w=1920

obr. 3.9 IPR https://static.wixstatic.com/media/fd8ea2_a8b74b56e33b483ba41d099779bbd498~mv2.jpg/v1/fill/w_1000,h_630,al_c,q_90,usm_0.66_1.00_0.01/fd8ea2_a8b74b56e33b483ba41d099779bbd498~mv2.jpg

obr. 3.10 UE 5 realism interior <https://deluxe.news/wp-content/uploads/2022/05/Solo-Developer-Creates-Incredibly-Realistic-And-Scary-Unreal-Engine-5.jpg>

obr. 3.11 UE 5 realism MetaHuman <https://images.ladbible.com/resize?type=jpeg&quality=70&width=1200&fit=contain&dpr=1&url=https://eu-images.contentstack.com/v3/assets/bltbc1876152fcd9f07/bltf6d9b990728125c0/619e19745d4afb5315960fad/wowo.jpg>

obr. 4.1 – osobný archív

obr. 4.2 - osobný archív

obr. 4.3 - osobný archív

obr. 4.4 - osobný archív

obr. 4.5 - osobný archív

obr. 4.6 - osobný archív