

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

VYUŽITIE EYE TRACKERA NA ANALÝZU
ZAUJÍMAVÝCH OBLASTÍ NA 3D OBJEKTOCH
BAKALÁRSKA PRÁCA

2024

VERONIKA HORŇÁKOVÁ

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

VYUŽITIE EYE TRACKERA NA ANALÝZU
ZAUJÍMAVÝCH OBLASTÍ NA 3D OBJEKTOCH
BAKALÁRSKA PRÁCA

Študijný program: Aplikovaná informatika
Študijný odbor: Aplikovaná informatika
Školiace pracovisko: Katedra aplikovanej informatiky
Školiteľ: RNDr. Zuzana Berger Haladová, PhD.

Bratislava, 2024

Veronika Hornáková



Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko študenta:

Študijný program:

Študijný odbor:

Typ záverečnej práce:

Jazyk záverečnej práce:

Sekundárny jazyk:

Názov:

Anotácia:

Vedúci:

Katedra:

Vedúci katedry:

Dátum zadania:

Dátum schválenia:

garant študijného programu

.....
študent

.....
vedúci práce

Pod'akovanie:

Abstrakt

3D saliency je koncept v oblasti počítačového videnia a grafiky, ktorý sa zaoberá identifikáciou a analýzou oblastí na 3D objektoch, ktoré majú významný vizuálny vplyv na pozorovateľa. V tejto práci skúmame možnosť využitia eye trackerov na monitorovanie pohybu očí pri interakcii s 3D objektami. Eye tracker je schopný zaznamenávať, kam pozorovateľ upriamil svoju pozornosť pri skúmaní 3D objektu. Dáta z eye trackerov nám dokážu poskytnúť hodnotné dáta o tom, na ktoré časti 3D objektov sú oči pozorovateľa najviac sústredené, a ktoré časti 3D objektov sú považované za zaujímavé.

Kľúčové slová: 3D význačnosť, sledovanie očí, eye tracker, 3D objekt

Abstract

3D saliency is a concept in computer vision and graphics that deals with the identification and analysis of areas on 3D objects that have a significant visual impact on the observer. In this work, we investigate the possibility of using eye trackers to monitor eye movements during interaction with 3D objects. The eye tracker is able to record where the observer rivets his attention while examining a 3D object. Data from eye trackers can provide us with valuable data on which parts of 3D objects the observer's eyes are most focused on and which parts of 3D objects are considered interesting.

Keywords: 3D saliency, eye tracking, eye tracker, 3D object

Obsah

Úvod	1
1 Teoretické východiská	3
1.1 Princíp sledovania očí	3
1.1.1 Sledovanie pohybu očí pomocou techník počítačového videnia	4
1.2 Eye tracker	4
1.2.1 Tobii	4
1.3 Eye trackingové dáta	6
1.3.1 Metriky	6
1.3.2 Vizualizácia dát	7
1.4 Rozšírená realita	8
1.4.1 Rozšírená realita založená na značkách	9
1.4.2 ArUco značky	12
1.4.3 OpenCV	13
1.5 Podobné práce	13
2 Návrh	15
Záver	17

Zoznam obrázkov

1.1	Screen-based eye tracker	5
1.2	Wearable eye tracker	6
1.3	Heat map	7
1.4	Gaze plot	8
1.5	Príklady markerov	10
1.6	Marker augmented reality	12
1.7	ArUco marker	13

Úvod

V posledných rokoch sa záujem o analýzu zaujímavých oblastí zvýšil a vyvinulo sa aj viacero metód a techník na identifikáciu týchto zaujímavých oblastí. Porozumenie zaujímavým oblastiam v scéne je dôležitým aspektom v oblasti počítačového videnia a rozšírenej reality. Tieto oblasti, známe ako 3D saliency, priťahujú našu pozornosť a sú kľúčové pri vnímaní a porozumení 3D scén. Eye tracker je zariadenie, ktoré dokáže sledovať pohyby očí a zaznamenávať, kam sa pozorovateľ zameriava. Jeho využitie v kombinácii s 3D saliency môže priniesť nové pohľady do vizuálneho vnímania a využitia 3D objektov. Využitie eye trackera na túto analýzu môže mať veľký vplyv na rôzne oblasti vrátane virtuálnej reality, herného dizajnu a 3D modelovania.

Cieľom tejto práce je oboznámiť sa so základnými teoretickými poznatkami súvisiacimi s danou problematikou pre ďalšiu prácu, v ktorej preskúmame možnosť využitia eye trackera na analýzu zaujímavých oblastí na 3D objektoch.

V prvej časti tejto práce sa oboznámime so základnými teoretickými poznatkami danej problematiky. Oboznámime sa s princípom sledovania očí, popíšeme, ako funguje hardvérové zariadenie, ktoré slúži na monitorovanie očí, aké dáta vieme získať a akým spôsobom ich dokážeme spracovať. Predstavíme rôzne spôsoby na vizualizáciu získaných dát a vysvetlíme pojem marker based reality, pomocou ktorej budeme s konkrétnymi 3D objektami pracovať.

Kapitola 1

Teoretické východiská

1.1 Princíp sledovania očí

Princíp sledovania pohybu očí („eye tracking“) je jedným zo základných prístupov na určovanie významných oblastí v pozorovanej scéne. Pojmom „významná oblasť“ sú označované oblasti v scéne, na ktoré ľudia upriamujú svoju vizuálnu pozornosť. Vizuálnou pozornosťou sa zaoberajú vedci z rôznych odvetví, pretože zistenie, kam ľudia zameriavajú svoju pozornosť je v mnohých aplikáciách kľúčové. Detegovanie významných oblastí má široké využitie v praxi a preto je potrebné, aby bola táto detekcia čo najpresnejšia a najrýchlejšia. [1]

Eye tracking je založený na sledovaní očí pozorovateľa a ich pohybu. Zaznamenávaním pohybov očí sa zisťuje, na akú oblasť v scéne upriamuje svoju pozornosť. Táto technika sa využíva najmä v oblasti interakcie medzi človekom a počítačom alebo pri ovládaní rôznych systémov, napríklad elektronického vozíka a televízneho ovládača. Môže tiež byť použitá pri čoraz obľúbenejšom biometrickom rozpoznávaní na základe dúhovky používateľa. Sledovanie pohybu očí sa využíva aj v automobilovom priemysle, konkrétne v systémoch nasadených do áut, ktoré dokážu varovať vodiča v prípade, že počas jazdy zaspí. [1]

Monitorovanie pohybu očí je možné vykonávať viacerými spôsobmi. Najznámejšími sú sledovanie pohybu očí pomocou senzorov a sledovanie pohybu očí pomocou techník počítačového videnia. Sledovanie pohybu očí pomocou senzorov je založené na využívaní elektrických potenciálov, ktoré sú zaznamenávané elektródami umiestnenými v blízkosti očí. Druhý spôsob, sledovanie pohybu očí pomocou techník počítačového videnia, využíva kamery na monitorovanie očí. [1]

1.1.1 Sledovanie pohybu očí pomocou techník počítačového videnia

Tento spôsob sledovania pohybu očí využíva kameru, ktorá sníma oči a techniky počítačového videnia, ktoré slúžia na riešenie dvoch hlavných problémov:

- určovanie pozície očí vzhľadom k pozorovanej scéne
- sledovanie pohybu očí

[1]

Tieto problémy sa dajú riešiť rôznymi prístupmi. Jedným z nich sú techniky rozpoznávania obrazcov a redukcie dimenzie príznakov pre lepšiu detekciu oka. [1]

Ďalší prístup využíva kruhový tvar zreničky a detekciu hrán. Najprv sa deteguje tvár, overí sa s geometrickým vzorom štruktúry tváre a následne sa aplikujú štyri Gaborove filtre s dosadenými hodnotami $0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$ na oblasti s pravdepodobným umiestením očí. Niektoré systémy tiež využívajú algoritmus detekcie najdlhšej čiary alebo kruhovú Houghovu transformáciu. [1]

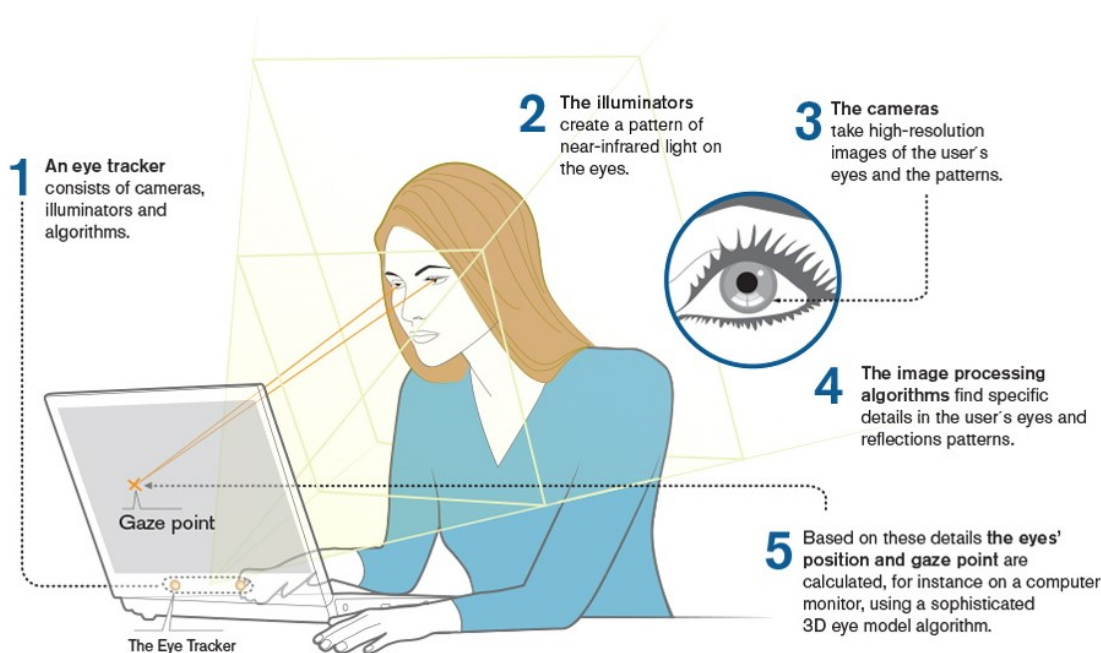
Na detekciu pohybu očí sa využíva aj určovanie polohy zreničky pomocou metódy tmavej zreničky alebo metódy svetlej zreničky. Metóda tmavej zreničky funguje na základe kontrastu medzi zreničkou a dúhovkou. Tento kontrast môže byť nízky pri veľmi tmavých očiach, čo môže spôsobovať problémy. Metóda svetlej zreničky eliminuje problém s kontrastom využitím odrazu infračerveného svetla od sietnice, vďaka čomu sa zrenička javí ako biela. [1]

1.2 Eye tracker

Eye tracker je hardvérové zariadenie na sledovanie polohy a pohybu očí. Pri sledovaní pohybu očí pomocou techník počítačového videnia sa používajú kamery, ktorých postavenie môže byť rôzne. Kamera môže byť pripevnená k hlave pozorovateľa, v blízkosti očí. Väčšinou sa využíva na sledovanie okolia, pretože umožňuje pozorovateľom voľne sa pohybovať. Druhá možnosť je fixná kamera, ktorá sa využíva na sledovanie obrazov na monitore. [1]

1.2.1 Tobii

Tobii je spoločnosť, ktorá bola založená v roku 2001 tromi švédskymi podnikateľmi za účelom zlepšovať svet pomocou technológie, ktorá chápe ľudskú pozornosť. Tieto technológie predstavujú významný krok pre zdokonalenie interakcie medzi človekom a počítačom. [2] Využívajú na to umelú inteligenciu, strojové učenie a poznatky z oblasti počítačového videnia. Dnes je Tobii svetový líder v oblasti sledovania očí. Vyrábajú



Obr. 1.1: Screen-based eye tracker [4]

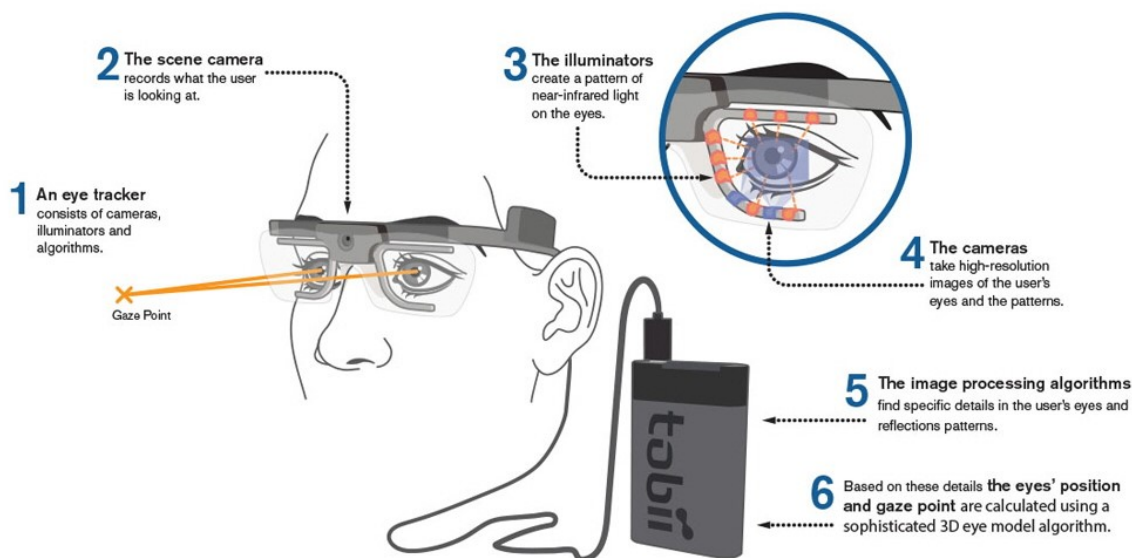
fixné, tzv. screen-based eye trackery obr. 1.1, aj eye trackery vo forme okuliarov, tzv. wearables eye trackery obr. 1.2. [3]

Na detekciu a sledovanie pohybov očí využívajú techniku pupil center corneal reflection (PCCR), ktorej základom je osvetliť oko a zachytiť obraz oka. Tento obraz oka slúži na určenie stredu zrenice a odrazu osvetlovača na rohovke. Tieto poznatky sa používajú na výpočet pohľadu pozorovateľa. [4]

Screen-based eye tracker obr. 1.1 aj wearable eye tracker obr. 1.2 pozostáva z kamier, osvetlovačov a procesorovej jednotky obsahujúcej pokročilé algoritmy spracovania obrazu. Jedna kamera sníma pozorovaciu scénu a ďalšie kamery snímajú oči. Osvetlovače vytvárajú na očiach vzor infračerveného svetla, kamery zhotovujú snímky očí a ich vzorov vo vysokom rozlíšení a algoritmy sa používajú na výpočet polohy oka a bodu pohľadu v priestore. [4]

Tobii Pro Glasses 3

V tejto práci pracujeme so zariadením Tobii Pro Glasses 3. Ide o wearable eye tracker, teda eye tracker vo forme okuliarov. Eye tracker zaznamenáva rôzne typy dát. Pre účely tejto práce je dôležité video, ktoré sníma scénu a zaznamenáva sa prednou kamerou umiestnenou na eye trackeri a súbor, ktorý obsahuje informácie o jednotlivých bodoch pohľadu.



Obr. 1.2: Wearable eye tracker [4]

1.3 Eye trackingové dáta

Sledovaním pohybu očí dokážeme nielen identifikovať miesto, na ktoré majú ľudia upriamenú pozornosť v konkrétnom časovom okamihu, ale dokážeme aj zistiť, akú dlhú dobu sa venujú sledovaniu určitého miesta a tiež zaznamenať trasu, ktorú sledujú ich oči. Pri tomto sledovaní máme k dispozícii množstvo dát, ktoré je potrebné spracovať. [5]

1.3.1 Metriky

Pre vytvorenie úplného obrazu pozorovanej scény sa ľudské oko neustále pohybuje. Tento proces pozostáva z dvoch fáz - fixácie a sakády. Fixácia je proces, kedy sa pohyb oka na určitý čas preruší a pohľad sa zameria na konkrétnu oblasť zorného poľa. Tieto zastavenia bývajú veľmi krátke, zvyčajne trvajú 100 až 600 milisekúnd. Pohyby oka medzi jednotlivými fixáciami sa nazývajú sakády. Sakády pomáhajú zabezpečiť, aby oči zachytili kompletnú scénu toho, na čo sa pozorovateľ pozerá. Pomocou sakád dokážeme tiež určiť poradie pozorovania jednotlivých objektov. Fixácie a sakády nám poskytujú obraz o tom, ako jednotlivec vníma pozorovanú scénu. [5]

Pre pochopenie správania pohybu očí pozorovateľa sú dôležité atribúty, ako sú poloha, trvanie a pohyb. Poloha sa zaznamenáva pomocou fixácií, ktoré poskytujú informácie o oblastiach, ktoré upútali pozornosť pozorovateľa, a ktoré sleduje počas dlhšieho časového obdobia. Trvanie reprezentuje časové rozpätie, počas ktorého sa zaznamenáva fixácia na určitej oblasti. Pohyb očí pozorovateľa je dosiahnutý prostredníctvom sakád,



Obr. 1.3: Heat map [5]

teda na rýchlym striedaní fixácií. [5]

Fixácie a sakády sú bežné merania zachytené pri sledovaní očí. Medzi najbežnejšie metriky eye trackingu považujeme frekvenciu fixácie, teda ako často sa pozorovateľ na dané miesto pozeral, dĺžku fixácie, teda ako dlho sa na dané miesto alebo objekt pozeral, atď. [5]

1.3.2 Vizualizácia dát

Eye trackery sú vybavené softvérovými balíkmi, ktoré umožňujú rýchle vytváranie vizualizácií údajov získaných z eye trackingu. Tieto vizualizácie zachytávajú správanie pohybu očí prostredníctvom troch atribútov, ktoré sme spomenuli vyššie. Môžeme teda pomocou nich detekovať oblasti záujmu, zistiť, na aké oblasti sa pozorovateľ pozeral, ako dlho sa na tieto oblasti pozeral (trvanie fixácie), ako často (frekvencia fixácie) a na akú oblasť sa pozrel potom (poradie fixácií). Medzi najpoužívanejšie vizualizácie eye trackingových dát patrí heat map (tepelná mapa) obr. 1.3 a gaze plot (graf sekvencií pohľadu) obr. 1.4. [5]

Heat map

Pri vizualizácii pomocou tepelnej mapy obr. 1.3 sa využívajú farby, ktoré reprezentujú počet fixácií alebo dĺžku fixácií v jednotlivých oblastiach. Červenou farbou sa zaznamenávajú oblasti s vysokým počtom fixácií alebo dlhou dobou fixácie. Sú to oblasti s



Obr. 1.4: Gaze plot [5]

vysokou úroveň záujmu. Oblasti označené zelenou farbou predstavujú oblasti s najmenším počtom fixácií a teda aj s najmenšou úrovňou záujmu. V tepelných mapách sa nachádzajú aj oblasti bez farby, čo nemusí nutne znamenať, že sa na túto oblasť pozorovateľ nepozrel. Oblasť bez farby mohol vidieť periférne alebo sa na ňu pozrel na veľmi krátku dobu, neprišlo k fixácii a eye tracker tento pohľad nezaznamenal. [5]

Gaze plot

Graf sekvencií pohľadu obr. 1.4 je druh vizualizácie, ktorá zaznamenáva poradie fixácií a sakády medzi jednotlivými fixáciami. Fixácie sú znázornené bodkami, môžu byť očíslované a môžu mať rôznu veľkosť. Číslo určuje poradie fixácie a veľkosť bodky je priamo úmerná trvaniu fixácie. Sakády sú znázornené čiarou spájajúcou dve bodky. Tento druh vizualizácie je užitočný pri skúmaní cesty, ktorou sa oči pohybovali. [5]

1.4 Rozšírená realita

Rozšírená realita (AR) je technológia, ktorá kombinuje skutočný svet s digitálnymi dátami. Ide o zobrazenie reality, ktorá je rozšírená o prvky grafickej povahy. Rozšírená realita spája oblasti počítačového videnia a počítačovej grafiky. Počítačové videnie vo vzťahu k AR zahŕňa detekciu a sledovanie markerov, sledovanie pohybu, analýzu obrazu a mnohé ďalšie. Počítačová grafika zahŕňa napríklad fotorealistické vykresľovanie objektov. Ronald Azume definoval rozšírenú realitu ako systém, ktorý:

- kombinuje skutočné a virtuálne
- je interaktívny v reálnom čase

- je registrovaný v 3D

[6]

Jednoduchý systém rozšírenej reality sa skladá z kamery, výpočtovej jednotky a displeja. Kamera zachytáva obraz prostredia, výpočtová jednotka vypočíta správnu polohu a orientáciu objektov, na základe toho vykreslí virtuálne objekty a zobrazí výsledok na displeji. [6]

S vývojom technológií bolo možné preniesť rozšírenú realitu aj na lacné a bežne dostupné zariadenia ako sú mobilné telefóny. Vďaka tomu je na vrchole svojej popularity, stáva sa bežnou súčasťou spotrebiteľských aplikácií a nové aplikácie rozšírenej reality neustále pribúdajú. Používa sa na vizualizáciu interiéru aj exteriéru, v interiérovom dizajne si používatelia môžu otestovať, ako sa k sebe hodia jednotlivé kusy nábytku. Aplikácie s rozšírenou realitou sú užitočné aj pri montáži a údržbe na zobrazovanie pokynov. Najväčšie využitie má v hernom priemysle, pretože umožňuje interakciu s hráčom a prostredím a prináša nové spôsoby ovládania pomocou polohy a 3D pohybu, čím zlepšuje herný zážitok a hry sa zdajú byť atraktívnejšie. [6]

Poznáme 2 základné typy rozšírenej reality, v závislosti od toho, či používajú alebo nepoužívajú značku:

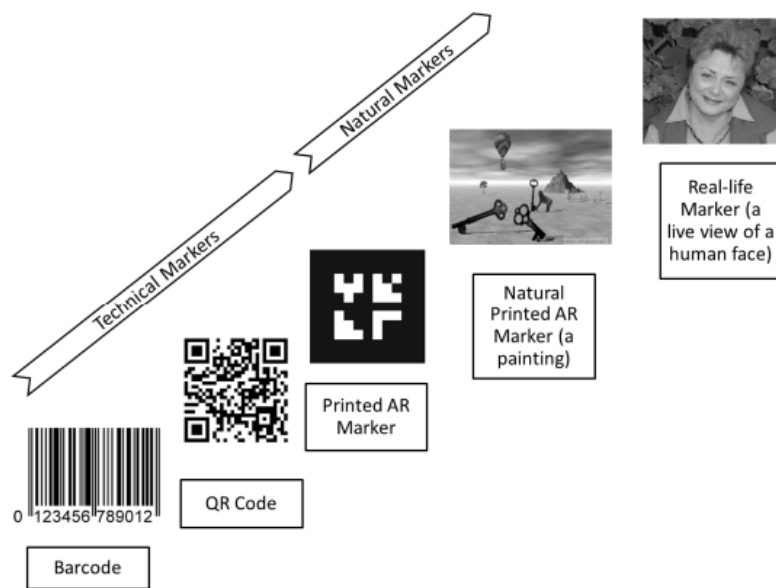
- Marker augmented reality - rozšírená realita založená na značkách. V tejto práci využívame práve tento typ rozšírenej reality a preto sa jej podrobnejšie venujeme v nasledujúcej časti.
- Markerless augmented reality - rozšírená realita bez značiek. Tento typ rozšírenej reality by sa dal nazvať aj ako Location-based AR, teda rozšírená realita založená na polohe. Objekty do reálneho sveta umiestňuje na základe geografickej polohy - zemepisnej šírky, zemepisnej dĺžky a nadmorskej výšky.

[7]

1.4.1 Rozšírená realita založená na značkách

Značka (marker) v kontexte rozšírenej reality je znak, ktorý je v obraze ľahko detekovateľný metódami spracovania obrazu, rozpoznávania vzorov a technikami počítačového videnia. Po detekcii tejto značky systém dokáže vypočítať polohu a orientáciu kamery a na základe toho vykresliť virtuálny objekt na vrch značky. [6]. Označuje sa aj ako rozšírená realita založená na rozpoznávaní. [7]

S vývojom technológie rozpoznávania obrazu pribúdajú nové podoby značiek. Na obr. 1.5 sú zobrazené rôzne typy značiek ako aj vývoj ich rozpoznávania. V aplikáciách rozšírenej reality sa dajú všetky typy značiek použiť rovnakým spôsobom, ale náročnosť ich detekcie sa líši. [7]



Obr. 1.5: Príklady značiek a vývoj značiek v technológii rozpoznávania obrazu [7]

Jadro systému rozšírenej reality tvorí sledovací modul, ktorý počíta relatívnu polohu kamery v reálnom čase, teda 3D umiestnenie a 3D orientáciu objektu a práve použitie značiek poskytuje najjednoduchší spôsob na tento výpočet. 3D objekty sú vykreslené pomocou renderovacieho modulu. V počítačovej grafike sa virtuálna scéna premieta na obrazovú rovinu pomocou virtuálnej kamery a táto projekcia sa potom vykresľuje. V prípade rozšírenej reality je kľúčové použitie virtuálnej kamery, ktorá je identická so skutočnou kamerou systému. Tým sa dosiahne, že virtuálne objekty sa na scéne premietajú podobne ako reálne objekty, čo vytvára presvedčivý výsledok. Pre napodobnenie skutočnej kamery musí systém poznať optické vlastnosti kamery, čo sa nazýva kalibrácia kamery. [6]

Kalibrácia kamery

Kalibrácia kamery je proces, pri ktorom sa zisťujú optické vlastnosti kamery. Zisťujú sa ňou dva typy parametrov kamery: vnútorné a vonkajšie. V tejto práci používame metódu kalibrácie zo známej scény s použitím kalibračného objektu so známou geometriou, konkrétne so šachovnicou. [1]

Kamery spôsobujú skreslenie obrazu a preto je dôležité pri kalibrácii kamery nájsť tiež päť parametrov skreslenia. Označujú sa ako koeficienty skreslenia. Vnútorné parametre kamery sú špecifické pre konkrétnu kameru a zahŕňajú ohniskovú vzdialenosť (f_x, f_y) a optický stred (c_x, c_y) . Tieto parametre sa využívajú na vytvorenie matice kamery (1), ktorá je použitá na odstránenie skreslenia kamery spôsobeného šošovkami kamery. Medzi vonkajšie parametre patria vektory rotácie a vektory translácie, ktoré

transformujú 3D súradnice bodu do súradnicového systému kamery. [8]

$$A = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Detekcia značky a výpočet polohy

Pri detekcii značky je prvým krokom nájdenie obrysov potenciálnych značiek a ich rohov. Následne detekčný systém overí, že skutočne ide o značku a identifikuje ju. Predspracovanie obrazu sa vykonáva jednou z metód spracovania obrazu, napr. prahovanie, detekcia hrán, atď. Pri hľadaní značiek systém overuje, či potenciálne značky majú presne štyri rovné čiary a štyri rohy. Na overenie, že systém skutočne identifikoval značku sa využívajú ďalšie metódy, ktoré závisia od podoby značky. [6].

Výpočet polohy kamery znamená nájsť jej umiestnenie a orientáciu vo svetových súradniciach. Poloha je vyjadrená tromi translačnými súradnicami (x, y, z) a orientácia tromi rotačnými uhlami (α, β, γ) okolo súradnicových osí. Poloha kalibrovanej kamery sa dá jednoznačne určiť z aspoň štyroch bodov. Teda polohu značky v 3D súradniciach vzhľadom na fotoaparát dokáže systém vypočítať pomocou štyroch rohových bodov značky v súradniciach obrazu. [6]

Transformácia \mathbf{T} medzi kamerou a značkou sa nazýva transformačná matica kamery a je vyjadrená ako (2), kde \mathbf{X} je bod v svetových súradniciach, \mathbf{x} je jeho projekcia v súradniciach obrazu. Pozostáva z vektora translácie \mathbf{t} a 3 x 3 rotačnej matice \mathbf{R} . V homogénnych súradniciach sa dá vyjadriť ako (3).

$$\mathbf{x} = \mathbf{TX} \quad (2)$$

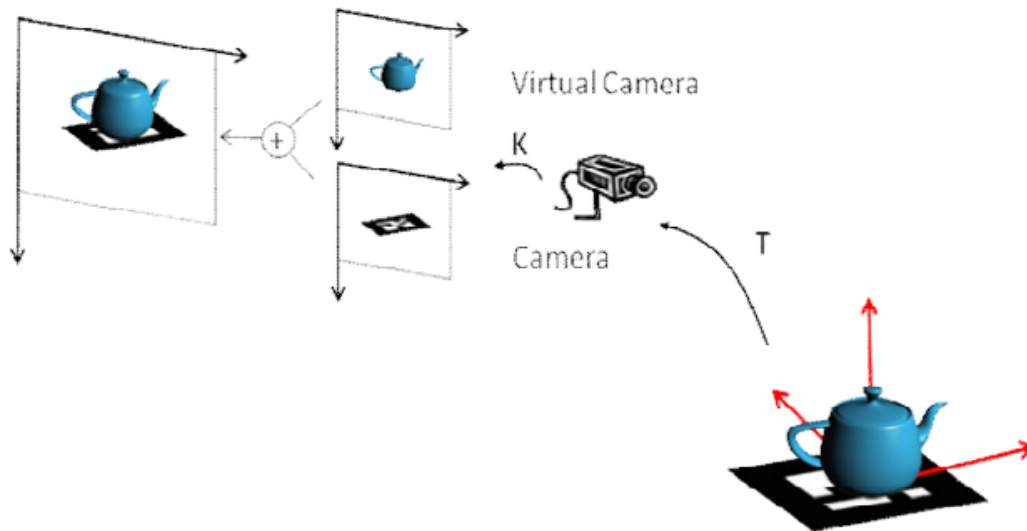
$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & t_x \\ r_4 & r_5 & r_6 & t_y \\ r_7 & r_8 & r_9 & t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Pre výpočet polohy je tiež potrebná kalibračná matica kamery \mathbf{K} (3), získaná kalibráciou kamery.

$$K = \begin{bmatrix} f & 0 & p_x & 0 \\ 0 & f & p_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Body v súradniciach kamery sú označené \mathbf{x} a im prislúchajúce body vo svetových súradniciach sú označené \mathbf{X} . Detekciou značky získame štyri rohové body v súradniciach obrazu: $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3, \mathbf{x}_4$. Pre každý tento bod \mathbf{x}_i , $i = 1, 2, 3, 4$, platí (5), čo sa dá vyjadriť ako (6). [6].

$$\mathbf{x}_i = \mathbf{KTX}_i \quad (5)$$



Obr. 1.6: Rozšírená realita založená na značkách [6]

$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & p_x & 0 \\ 0 & f & p_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & t_x \\ r_4 & r_5 & r_6 & t_y \\ r_7 & r_8 & r_9 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Vypočítaná poloha kamery slúži na vykresľovanie virtuálneho objektu v správnej perspektíve. Virtuálny objekt sa vykresľuje pomocou transformačnej matice T a matice kamery K v orientácii, ktorá zodpovedá súradnicovým osiam obr. 1.6. [6]

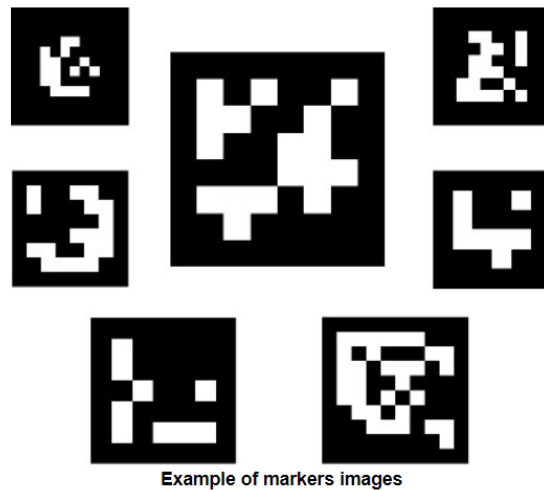
Pre podrobnejšie informácie o detekcii značky a vysvetlení výpočtu polohy odporúčame knihu [6].

1.4.2 ArUco značky

ArUco značky sú jedny z najpoužívanejších typov značiek, pretože jej štyri rohy poskytujú dostatok korešpondencie medzi bodmi v reálnom prostredí a ich 2D projekciou obrazu na získanie polohy kamery. Majú tvar štvorca a sú zložené zo širokého čierneho okraja a vnútornej binárnej matice obr. 1.7. Čierny okraj umožňuje rýchlu detekciu značky v obraze a binárna matica určuje identifikátor značky. [9]

Značky, ktoré sú použité v danej aplikácii sú uložené v slovníku. Identifikátor značky je index danej značky uloženej v slovníku. Veľkosť slovníka je určená počtom značiek, ktoré sú v ňom uložené a veľkosť značky určuje veľkosť vnútornej matice značky. [9]

Na implementáciu rozšírenej reality sme sa rozhodli použiť ArUco značky, kvôli jednoduchej práci s modulom aruco a využívame preddefinované slovníky, ktoré modul aruco obsahuje.



Obr. 1.7: Príklad ArUco značiek [9]

1.4.3 OpenCV

OpenCV je open-source knižnica, ktorú založil Gary Bradsky v Inteli v roku 1999 a prvá verzia bola uvedená na trh v roku 2000. Obsahuje veľké množstvo algoritmov z oblasti počítačového videnia a strojového učenia. Knižnica je dostupná na rôznych platformách a podporuje rôzne programovacie jazyky, ako napríklad C++, Python a Java. Python je populárny programovací jazyk vďaka svojej jednoduchosti a prehľadnosti kódu, preto v tejto práci pracujem s knižnicou OpenCV v jazyku Python. OpenCV-Python tiež využíva knižnicu Numpy, používanú pre rýchle numerické operácie. [10]

1.5 Podobné práce

Patrik Modrovský sa vo svojej bakalárskej práci [11] zaoberal registráciou 3D skenov a chybami na týchto skenoch. Jeho cieľom bolo navrhnúť a vytvoriť sadu nástrojov na zaznamenávanie spôsobu, akým ľudia sledujú objekty pri kontrole a vytvorené dáta spracovať pre ďalšie využitie. Hoci sú tieto dve práce odlišné, využíval podobné technológie ako v tejto práci, konkrétne eye tracker a spracovával eye trackingové dáta.

Kapitola 2

Návrh

Záver

V tejto práci sme sa oboznámili so základnými teoretickými východiskami súvisiacimi s princípom sledovania očí, fungovaním eye trackerov a predstavili sme koncept marker based reality, ktorý bude východiskovým bodom pri nadväzujúcej práci. V tejto práci preskúmame možnosť využitia eye trackera na analýzu zaujímavých oblastí na 3D objektoch. Pokúsime sa prispieť k pochopeniu 3D saliency a ukázať jej potenciál pre aplikácie v oblasti rozšírenej reality a počítačového videnia. Tiež sa budeme zaoberať metódami a algoritmami na spracovanie a analýzu dát z eye trackera s cieľom identifikovať tieto zaujímavé oblasti. Výsledky a výhody využitia eye trackera na analýzu zaujímavých oblastí na 3D objektoch majú potenciál zlepšiť mnohé aplikácie a efektivitu interakcie v prostrediach založených na rozšírenej realite a virtuálnej realite.

Literatúra

- [1] Elena Šikudová, Zuzana Černeková, Wanda Benešová, Zuzana Haladová, and Júlia Kučerová. Počítačové videnie Detekcia a rozpoznávanie objektov.
- [2] History of Tobii. <https://corporate.tobii.com/about-us/history-of-tobii>.
- [3] About Tobii company. <https://corporate.tobii.com/about-us>.
- [4] How do Tobii eye-trackers work? https://connect.tobii.com/s/article/How-do-Tobii-eye-trackers-work?language=en_US.
- [5] Jennifer Romano Bergstrom and Andrew Schall. *Eye tracking in user experience design*. Elsevier, 2014.
- [6] Sanni Siltanen. Theory and applications of marker-based augmented reality: Licentiate thesis. 2012.
- [7] Vladimir Geroimenko. Augmented reality technology and art: The analysis and visualization of evolving conceptual models. In *2012 16th International Conference on Information Visualisation*, pages 445–453. IEEE, 2012.
- [8] OpenCV: Camera Calibration. https://docs.opencv.org/4.x/dc/dbb/tutorial_py_calibration.html.
- [9] ArUco detection. https://docs.opencv.org/4.x/d5/dae/tutorial_aruco_detection.html.
- [10] About Opencv. https://docs.opencv.org/4.x/d0/de3/tutorial_py_intro.html.
- [11] Patrik Modrovský. *Vyuzitie eye tracker pre vyhodnocovanie registracie 3D skenov*. Bakalárska práca, 2021.