

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY



HRA V ROZŠÍRENEJ REALITE - SLOVENSKAR

BAKALÁRSKA PRÁCA

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

HRA V ROZŠÍRENEJ REALITE - SLOVENSKAR

BAKALÁRSKA PRÁCA

Študijný program: Aplikovaná informatika

Študijný odbor: 9.2.9 Aplikovaná informatika

Školiace pracovisko: Katedra aplikovanej informatiky

Vedúci práce: RNDr. Zuzana Berger Haladová, PhD



ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko študenta: Natália Macková

Študijný program: aplikovaná informatika (Jednooborové štúdium, bakalársky I. st., denná forma)

Študijný odbor: informatika

Typ záverečnej práce: bakalárska

Jazyk záverečnej práce: slovenský

Sekundárny jazyk: anglický

Názov: Hra v rozšírenej realite- SlovenskAR

Augmented reality game- SlovakAR

Anotácia: V hre pôjde o AR zobrazovanie 3D modelov historických pamiatok na mape Slovenska, s využitím kamery, veľkej obrazovky/projektora a mapy Slovenska umiestnenej na zemi. Práca bude kombinovať metódy počítačového videnia (pre detekciu pohybu človeka po mape) a prácu s herným enginom pre zobrazovanie 3D obsahu.

1. Naštudovanie problematiky Augmentovaných zrkadiel, Zoznámenie sa so staršou verziou hry (2013) 2. Špecifikácia (výber metód, knižníc, enginov, modelov, výber komponentov) 3. Implementácia hry

Vedúci: RNDr. Zuzana Berger Haladová, PhD.

Katedra: FMFI.KAI - Katedra aplikovej informatiky

Vedúci katedry: prof. Ing. Igor Farkaš, Dr.

Dátum zadania: 11.09.2017

Dátum schválenia: 11.10.2021

doc. RNDr. Damas Gruska, PhD.

garant študijného programu

.....
študent

.....
vedúci práce

Čestné prehlásenie Čestne prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracovala samostatne pod vedením vedúcej bakalárskej práce a s použitím uvedených vzorov.

V Bratislave dňa

Natália Macková

Pod'akovanie Najväčšie d'akujem patrí mojej školiteľke RNDr. Zuzane Berger Haladovej, PhD za jej cenné rady, odborné poznatky a za rýchlu odozvu na všetky moje otázky. Tvoríť bakalársku prácu pod vedením, ktoré je vždy dobre naladené a pripravené pomôcť je snom nejedného študenta, d'akujem.

Pod'akuvanie patrí aj mojím rodičom a priateľom za trpezlivosť, čo so mnou mali pri tvorení bakalárskej práce.

Abstrakt

MACKOVÁ Natália: Hra v rozšírenej realite - SlovenskAR [Bakalárska práca], Univerzita Komenského v Bratislave, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Katedra aplikovanej informatiky; školiteľ: RNDr. Zuzana Berger Haladová, PhD., Bratislava, 2022, X s.

Cieľom tejto bakalárskej práce je vytvoriť program, ktorý bude pomocou kamery detektovať človeka stojaceho na veľkej mape Slovenska. Pomocou Houghovej transformácie nájde hrany mapy a zistí, či človek nie je mimo nej. Následne obraz z kamery spracuje (odstráni šum, zaostrí ...) a určí presnú polohu. Vďaka tomu premietne pomocou dataprojektora objekt z bodu kde zastavil. Napr. ak stojí v blízkosti Košíc zobrazí sa Dóm svätej Alžbety. Hra môže fungovať aj inak: hráč dostane zadanie - Nájdi Trnavský kraj. Podľa polohy kde človek zastaví, program vyhodnotí, či stojí správne, alebo nie a vypíše hodnotenie pomocou dataprojektora.

Kľúčové slová: kamera, Houghova transformácia, spracovanie obrazu, detekovanie, dataprojektor

Abstract

MACKOVÁ, Natália: Augmented reality game - SlovakAR [Bachelor Thesis], Comenius University in Bratislava, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Department of Applied Informatics; Supervisor: RNDr. Zuzana Berger Haladová, PhD., Bratislava, 2011, Xp.

Keywords: camera, Hough transformation, image processing, detection, data-projector

Obsah

Úvod	9
1 Úvod do problematiky	10
1.1 Teória	10
1.1.1 Rozšírená realita	10
1.1.2 Zrkadlá v rozšírenej realite	13
1.1.3 Spracovanie obrazu	13
1.1.4 Houghova transformácia	16
1.2 Podobné riešenia	18
1.2.1 Staršia verzia hry v rozšírenej realite	18
1.2.2 Podobné bakalárske a diplomové práce	19
1.3 Technológie	20
2 Návrh implementácie	20
2.1 Unity	20
2.2 OpenCV	20
2.2.1 OpenCV for Unity	20
2.3 Detekcia hrán mapy	20
2.4 Houghova transformácia	20
2.5 Detekcia človeka	20
2.6 Vyhodnotenie pozície	20
3 Implementácia	20
Záver	21
Zoznam použitej literatúry	22

Úvod

Výber vysokej školy je pre väčšinu mladých ľudí prvé väčsie životné rozhodnutie. Študenti si vyberajú zameranie podľa svojich záujmov, predošlého štúdia a možného uplatnenia v budúcnosti. Keď už vedia čo chcú študovať, zameriavajú sa na jednotlivé univerzity s vhodnými odbormi. Googlia recenzie, chodia na veľtrhy vysokých škôl, na dni otvorených dverí. Univerzity navzájom súperia o pozornosť študentov a snažia sa zaujať a byť čo najatraktívnejšie. Preto som sa rozhodla pracovať na hre v rozšírenej realit, aby sme záujemcom mohli ukázať, že informatika nie je len bezhlavé tukanie do klávesnice, ale niečo čo sa dá jednoduchou a hravou formou implementovať do bežného života.

Jednou z nie prvoplánových možností ako prilákať žiakov by mohla byť práve hra v rozšírenej realite. Samotná hra by mala donútiť hráča zamyslieť sa nad tým ako funguje a vzbudiť v ňom záujem po vedomostach zo sveta informatiky. Študent sa postaví na slepú mapu Slovenska a na plátne sa pomocou dataprojektora zobrazí zadanie úlohy. Program musí počkať nejaký čas, aby dal priestor hráčovi sa zamyslieť a presunúť sa na správne miesto na mape. Program pracuje s obrazom z kamery, ktorý je potrebné zaospraviť a odstrániť z neho šum. Následne nájde okraj mapy a polohu hráča na nej. Vďaka tomu dokáže vyhodnotiť, či hráč stojí na správnom bode (alebo území) a informuje ho opäť pomocou dataprojektoru.

V prvej kapitole *1 Úvod do problematiky* je uvedená teória na bližšie priblíženie problematiky nášho programu. Sú tu spomenuté podobné staršie riešenia a opísané technológie, ktoré sa používali počas vývoja. V druhej kapitole (*?? Návrh implementácie*) sa čitateľovi predkladá návrh riešenia hry v rozšírenej realite, podľa ktorého sa postupovalo pri tvorbe nášho programu. Samotné riešenie problematiky je bližšie opísané v tretej kapitole s názvom *3 Implementácia*. V poslednej kapitole je uvedené zhrnutie práce.

Málo študentov má vedomosti o tom, čo všetko dokáže pokryť odbor aplikovanej informatiky, aké programovacie jazyky existujú a ktorý je na čo vhodný, ako sa rôzne súčasti programovania navzájom prepájajú tak, aby vytvorili jeden funkčný celok. Záujemcov presvedčíme práve tým, že im dáme ochutnať kúsok z nášho sveta, ale necháme ich do statočne hladných na to, aby mali záujem o štúdium práve na našej fakulte.

1 Úvod do problematiky

V nasledujúcej kapitole je opísaná základná teória, ktorá je potrebná na uskutočnenie bakalárskej práce. Okrem nej sú tu uvedené odkazy na staršie bakalárské práce, ktoré aspoň z časti riešia podobnú problematiku ako aj odkazy na už existujúce staršie riešenia, ktoré problematiku riešili po svojom. Ako posledné je v kapitole uvedený prehľad technológií použitých pri riešení bakalárskej práce.

1.1 Teória

Pri vytváraní hry v rozšírenej realite je potrebné sa zamyslieť nad tým, aké všetky komponenty budeme potrebovať. V tomto projekte to bude: kamera, dataprojektor, zariadenie, na ktorom sa program spustí, plátно na premietanie a slepá mapa. Akonáhle vieme, čo všetko potrebujeme na realizáciu začneme riešiť otázku: *Ako jednotlivé komponenty prepojiť*. Záznam z kamery bude potrebné najprv očistiť od nedokonalostí a práve týmto problémom sa zaoberá počítačové videnie, konkrétnie jeho podmnožina spracovanie obrazu. V nej zistíme ako odstrániť šum, zaostríť obraz, hľadať hranice pomocou Haughovej transformácie a zaznamenávať pozíciu človeka na mape.

1.1.1 Rozšírená realita

Pre správne pochopenie fungovania hry v rozšírenej realite, treba rozumieť samotnému pojmu *rozšírená realita*. [12] Ide o priame a autentické prepojenie našej existencie s virtuálnymi informáciami o nej. Inak povedané, je používateľským rozhraním do elektronicky vylepšeného fyzického sveta. Okrem rozšírenej reality existuje aj

- virtuálna realita
- zmiešaná realita.

V pomyslenom *používateľskom rozhraní* je na obraz skutočného sveta nanesená digitálna vrstva pomocou aplikácie v telefóne, či tablete, alebo pomocou programu bežiacom na počítači. Vďaka tomu je najdostupnejšou zo spomínaných realít. Tvorí jednu z najviac fascinujúcich na budúcnosť zameraných oblastí počítačovej vedy. Novými neobyčajnými

spôsobmi dokáže upútať ľudskú pozornosť, čo má za výsledok, že dokážeme informácie vstrebávať efektívnejšie ako tie počítačom generované.

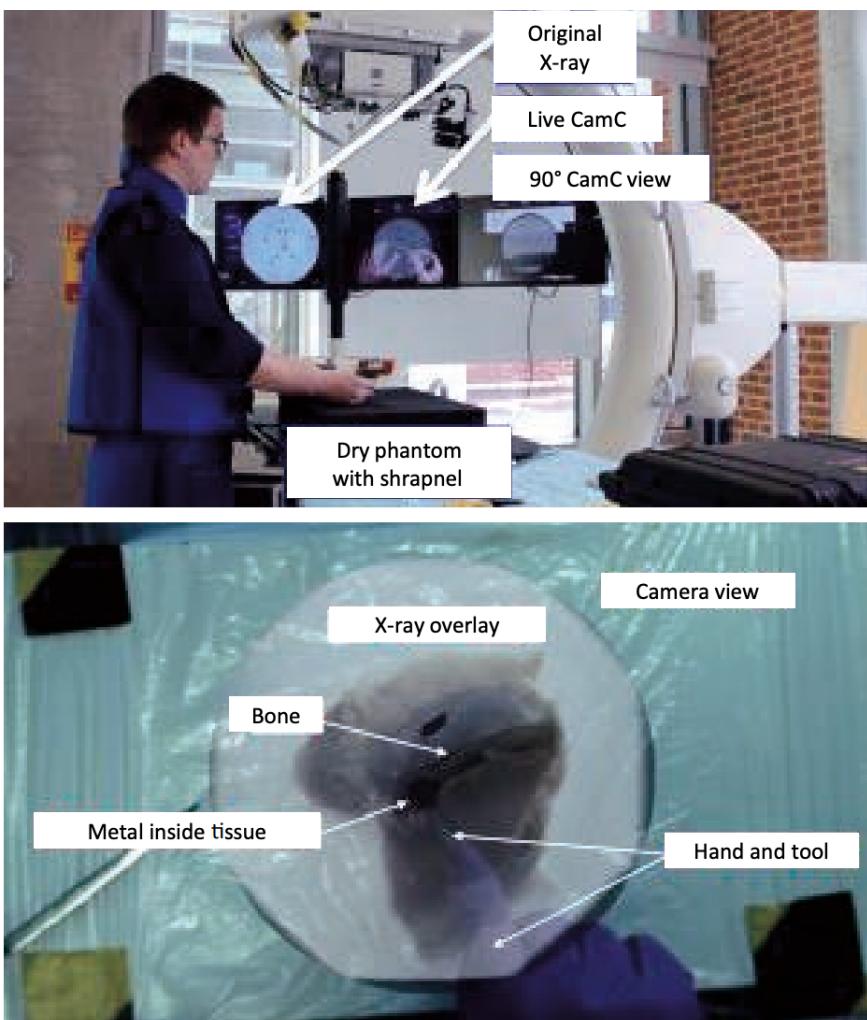
Ďalej je vhodné spomenúť, že rozšírená realita je čoraz viac používaná v rôznych pracovných a edukačných odvetviach. Pre predstavu spomenieme pár príkladov [9], [12]:

- priemysel a stavebníctvo
- medicína
- vzdelávanie
- navigácia
- televízia
- reklama
- údržby a školenia
- hry

Rozšírená realita v medicíne. Niekedy dávno nebolo možné nahliadnuť do ľudského vnútra bez operácie, ale vďaka pokroku vedy vieme pomocou röntgenových snímkov niečo také uskutočniť. Mnohé tomografické prístroje však oddelujú externý a interný pohľad na ľudské telo. Naštastie tieto dva pohľady vieme spojiť za pomoci rozšírenej reality, to umožňuje doktorom lepsí pohľad na konkrétny snímok.



Obr. 1: Virtuálna realita v medicíne [10]



Obr. 2: Röntgenový snímok premietaný spolu s výstupom z kamery [12]

Rozšírená realita v hrách. V tejto bakalárskej práci tiež ide o prepojenie rozšírenej reality, hry aj učenia. Pripomeňme si rok 2016 [5], kedy vyšla jedna konkrétna hra v rozšírenej realite a pobláznila celý svet. Táto aplikácia nesie názov po detskom seriáli **Pokémon Go** a priniesla kontakt s hybridnou realitou masám. Donútila hráčov vyjsť do ulíc a začať loviť pokémonov, bojovať s inými používateľmi a to počas prechádzky na čerstvom vzduchu. Na jednej strane to bolo výborné, pretože priviedla mladú generáciu k pohybu, ale na druhej strane spôsobila aj pár nešťastí. [1] Hráči pozabudli na fyzický svet okolo seba a dostávali sa do život ohrozujúcich situácií, či už ako šoféri motorových vozidiel alebo chodci, ktorí vošli do premávky.



Obr. 3: ukážka hry Pokémon GO [14]

1.1.2 Zrkadlá v rozšírenej realite

1.1.3 Spracovanie obrazu

Pri snímaní pohybu človeka po mape kamerou dochádza k poškodeniam obrazu, čo neskôr môže viesť k nepresným výsledkom. Preto je potrebné obraz očistiť, čo nám pomôžu metódy počítačového videnia a to konkrétnie podmnožina, ktorá nesie názov *spracovanie obrazu*. Presná definícia hovorí o tom, že táto podmnožina sa zameriava na vylepšenie obrazov, alebo predspracovanie vstupných obrazov pre ďalšie úlohy [13]. Záznam z kamery bude pravdepodobne zašumený, neostrý a nízko kontrastný. Pomocou predspracovania obrazu potlačíme nežiadúci šum a zdokonalíme črty, ktoré sú potrebné pre ďalšie etapy práce.

Predspracovanie

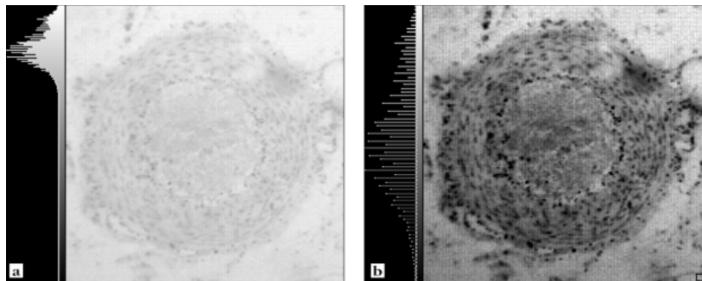
- v priestorovej oblasti
- vo frekvenčnej oblasti

Roztiahnutím jasového intervalu vieme z nízko kontrastného obrazu dostať vysoko kontrasný. Pri vstupnom obraze označíme minimálnu hodnotu jasu ako a a maximálnu ako b . Použijeme transformáciu $q = T(p)$ v tvare

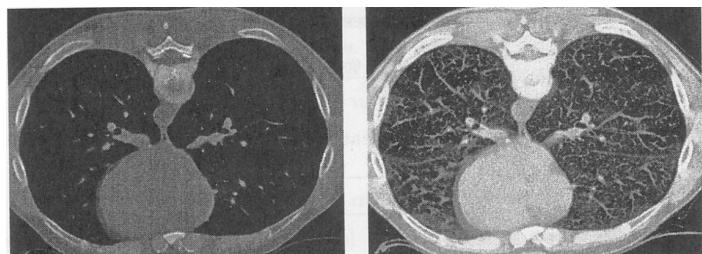
$$q = (q_k - q_0) \frac{(p - a)}{(b - a)} + q_0$$

kde q_k, q_0 sú maximálna (255) a minimálna (0) hodnota celého jasového intervalu. Podobný efekt vieme docieliť aj *ekvalizáciou histogramu*, ktorej cieľom je vytvoriť histogram

s rovnako rozloženými jasovými úrovňami. Nepridáva do obrazu novú informáciu, ale umožní ho lepšie vnímať.



Obr. 4: Pred a po roztahnutí jasového intervalu [13]



Obr. 5: Ekvalizácia histogramu [13]

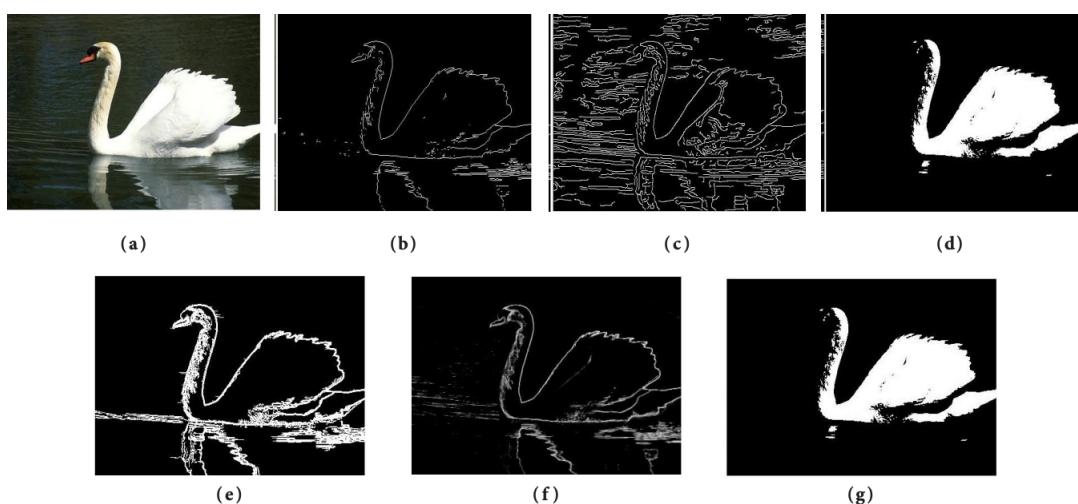
Vďaka *ostreniu* obrazu zvýrazňujeme miesta kde sa obrazová funkcia prudko mení. K tomu dochádza najmä na hrane, ktorá má zložku veľkosti a smeru, ktorý je kolmý na smer zmeny (veľkosti). Hľadanie hrán zodpovedá deriváciu, teda zmene priebehu funkcie. V obraze nahradzame derivácie rozdielom hodnôt susedných pixlov. V prípade, že je rozdiel nenulový, zaznamenávame zmenu obrazovej funkcie. Pomocou priemerovania, ktoré je analogické integrovaniu, obraz vyhľadíme.

Akonáhle očistíme obraz od neželaných defektov, budeme sa snažiť rozoznať, čo sa na kamerovom výstupe nachádza. Konkrétnie budeme hľadať hrany mapy a pozíciu človeka. V tom nám pomôže *segmentácia*, ktorá je najdôležitejšou časťou spracovania obrazu [15]. Na základe jej špecifických charakteristík pri aplikácii a dôležitosti v počítačovom videní a využití pri spracovaní obrazu, sa za posledných pár desaťročí vyvinulo množstvo techník segmentácie, pričom momentálne o nej stále prebiehajú rôzne výskumné práce [11]. Princíp spočíva v tom, že rozdelíme obraz na viacero častí, čo zjednoduší ďalší proces. Hlavným mottom je zredukovať informácie, aby sme obsah obrazu mohli jednoducho analyzovať. Segmentovať môžeme podľa rôznych požiadaviek [13]

- metódy založené na prahovaní
- metódy založené na hraniciach
- metódy založené na oblastiach
- iné (porovnávanie so vzorom, princíp povodí ...)

Metódy hraničnej segmentácie sú založená na vlastnosti diskontinuity pixelov a *metódy segmentácie založené na oblasti* sú založené na vlastnosti podobnosti pixlov. Každá uzavretá hranica môže popisovať oblasť [11]. Problém však nastáva pri nejednoznačnosti obrazových dát a nadmerného šumu, preto najlepšie výsledky dosiahneme za prítomnosti dostatku apriórnej informácie.

[13] Metóda, ktorú budeme využívať v tejto práci, patrí do skupiny *metód založených na hraniciach*. Lokálne hrany sa vyznačujú na mieste, kde dochádza k zmene v úrovni jasu, farby alebo textúry. Metódy využívajú tieto hrany, ktoré boli detegované gradientnými operátormi. Ako sa už spomína vyššie, šum spôsobuje viacero problémov. Konkrétnie pri týchto metódach sú lokálne hrany určené aj na miestach, kde nie je globálne hranica a niekedy na globálnej hranici chýbajú. Za predpokladu, že silnejšie hrany sú súčasťou globálnej hranice metóda prahuje hrany vhodným prahom funguje iba v situáciách, kedy je dosť veľký kontrast medzi objektom a pozadím. Ak to lokálne neplatí, dostávame neúplnú hranicu. Medzi metódy hraničnej segmentácie zaradíme *sobel*, *canny and susan*, *Houghovu transformáciu*.



Obr. 6: Segmentácia labute [11]

1.1.4 Houghova transformácia

Je dlho uznávaná ako jedinečná technika na analýzu tvaru v obrazoch obsahujúcich zašumené, chýbajúce a neidentifikovateľné dátu. Jej používanie malo pomalý rozbeh najmä kvôli zložitému výpočtu, problémom týkajúcich sa uloženia pre jej veľkosť a pre nedostatočné pochopenie jej vlastností [6], [7]. Naštastie to už je dávnou minulosťou. Houghova transformácia sa používa najmä na detekciu objektov s analyticky známym priebehom hranice [13]

- čiary, priamky
- krivky
- kružnice

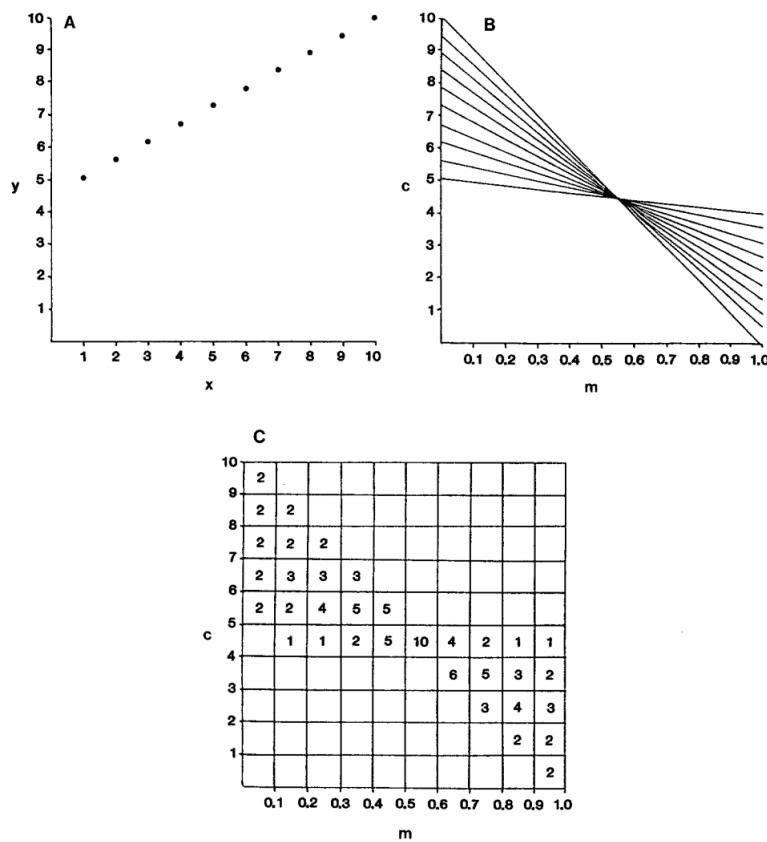
aj keď pôvodne bola navrhnutá na zaznamenávanie rovných čiar.

Houghova transformácia (*skrátene HT*), bola prvýkrát predstavená ako metóda na detekovanie zložitých reťazcov bodov v binárnych obrazových dátach [6], [7]. Jej cieľom je previesť zložitý problém globálnej detekcie v obrazovom priestore na jednoduchšie riešiteľný problém lokálnej detekcie vrcholov v priestore parametrov. Za klúčové myšlienky metódy možno považovať identifikáciu množín kolineárnych bodov na obrázku. Množinu bodov (x, y) , ktorá leží na na priamke môžeme definovať ako f nasledujúcim vzťahom:

$$f((m^{'}, c^{'}), (x, y)) = y - m^{'}x - c^{'} = 0 \quad (1)$$

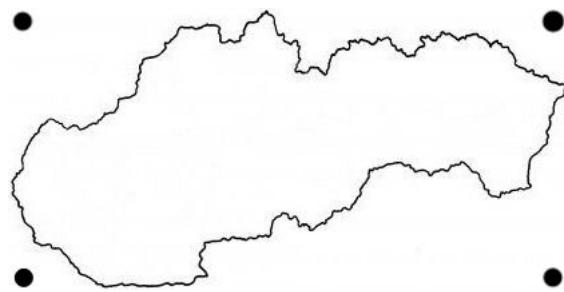
kde $m^{'}, c^{'}$ sú dva parametre, smernica a priesečník, ktoré charakterizujú čiaru. Rovnica (1) mapuje každú hodnotu kombinácie parametrov $(m^{'}, c^{'})$ na množinu obrazových bodov. Symbol ' \cdot ' je použitý na označenie množstva v mapovanej doméne. Podľa HT rovnicu (1), možno považovať za vzájomné obmedzenie medzi bodmi obrazu a parametrickými bodmi, a preto ju možno interpretovať ako definovanie od jedného k viacerým bodom mapovania obrazu na množinu prístupných hodnôt parametrov. To vedie k výpočtu parametrov všetkých priamok, ktoré patria do množiny prechádzajúcich daným bodom obrazu $(x^{'}, y^{'})$. Túto operáciu nazývame **spätná projekcia bodu obrazu** a je reprezentovaná nasledovne:

$$f((x^{'}, y^{}), (m, c)) = y^{'} - mx^{'} - c = 0 \quad (2)$$



Obr. 7: Houghova transformácia pre detekciu čiar: **A** - (x, y) bodový priestor obrazu **B** - (m, c) priestor parametrov **C** - priestor akumulátora zodpovedajúci obrázku B [7]

Pri bakalárskej práci budeme pomocou Houghovej transformácie detektovať štyri body umiestnené v rohoch plátna, na ktorom sa bude nachádzať slepá mapa Slovenska. Dlhá bude cca 3 metre, nakreslená na bielom plátnе čiernej farbou.



Obr. 8: Návrh slepej mapy

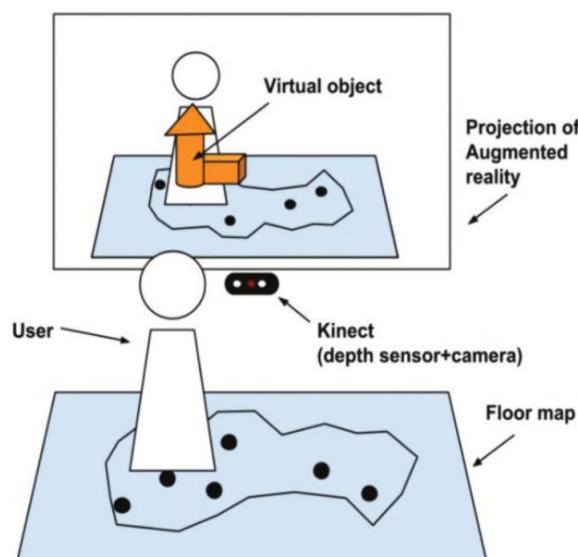
1.2 Podobné riešenia

V tejto časti je spomenuté staršie riešenie, ktoré rovnakú problematiku detekovania hraníc mapy a pohybu človeka po nej rieši iným spôsobom ako je tomu v tejto práci. V ďalšom texte sa budú spomínať staršie bakalárské práce, ktoré sa priamo nezaoberajú rovnakou problematikou, ale z časti do nej zasahujú.

1.2.1 Staršia verzia hry v rozšírenej realite

Tento Starší projekt zaoberajúci sa rovnakou problematikou od RNDr. Zuzany Berger Haladovej, PhD [4] et. al.

V tejto práci sa využila slepá mapa Slovenska, dataprojektor, plátno a Kinect. Na slepej mape boli zaznačené body, na ktoré ked' sa človek postavil sa pomocou Kinectu zobrazili na plátne pred ním. Pomocou homografie sa vyrátali polohy bodov. V momente ako sa človek postavil na bod, zobrazil sa pred ním 3D model zaznačenej pamiatky 9. Pomocou gestikulácie sa pamiatky mohli rotovať, alebo meniť veľkosť. Vďaka tejto práci je návrh riešenia jednoduchší, napriek tomu, že sa v ňom používajú odlišné technológie. Máme k dispozícii databázu 3D modelov, ktoré môžeme "zrecyklovať". Princíp staršej hry je podobný, ale v novej verzii pôjde o plnenie zadaní, kde používateľ bude musieť hľadať oblasti Slovenska a až po nájdení správnej odpovede sa mu zobrazí 3D model alebo fotografia prislúchajúcu k zadanej úlohe.



Obr. 9: Schéma realizácie staršieho riešenia [4]

1.2.2 Podobné bakalárske a diplomové práce

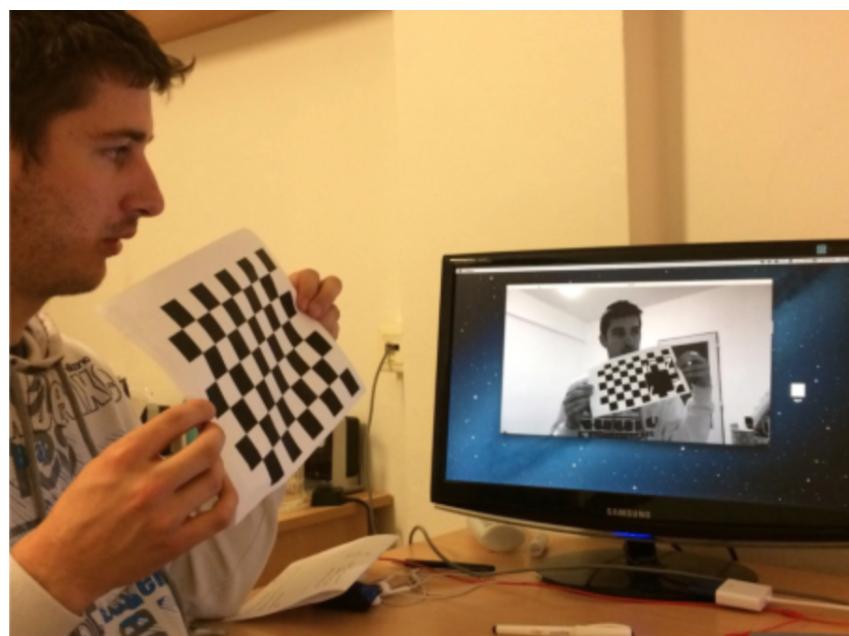
Bakalárska práca Izabely Dobšovičovej s názvom: *Applikácia na meranie dĺžky a šírky chodidla* [3] opisuje aplikáciou na snímaním chodidla pomocou kamery telefónu, ktorá dokáže, zo snímky vypočítať veľkosť nohy 10. Z tejto práce vieme čerpať dobre spracované informácie o Houghovej transformácii a hľadaní hrán, čo sa využíva aj pri tejto bakalárskej práci na hľadanie mapy z kamerového záznamu.



Obr. 10: Dizajn aplikácie a kalibrovaný vstup z kamery [3]

Ďalej v diplomovej práci *Návrh, analýza a testovanie systému pre rozšírenou realitu*, Bc. Martin Lepko [8] podrobne, v obsiahlokom rozsahu spracováva tému o rozšírenej realite. V práci je uvedené rozdelenie rozšírenej reality, jej využitie v bežnom živote a opis implementácie reálneho riešenia pre mobilné zariadenia s operačným systémom Android. Ako je uvedené v kapitole 1.1.1, pre pochopenie princípu tejto bakalárskej práce, treba rozumieť o čom rozšírená realita je.

V diplomovej práci *Rozšírená realita na platorme android*, ktorú napísal Bc. Dominik Baranec [2], sú spracované dostupné knižnice pre tvorbu aplikácií v rozšírenej realite a podrobnejšie rozobrané algoritmy využívané v spomínaných knižničach (obr 11). Opis populárnych knižníc pre prostredie Unity3D je dobrou pomôckou aj pre túto bakalársku prácu, keďže je vyvíjaná v spomínanom prostredí a využíva knižnicu OpenCV, ktorá je tiež v diplomovej práci spracovaná.



Obr. 11: Rozšírená realita OpenCV [2]

1.3 Technológie

2 Návrh implementácie

2.1 Unity

2.2 OpenCV

2.2.1 OpenCV for Unity

2.3 Detekcia hrán mapy

2.4 Houghova transformácia

2.5 Detekcia človeka

2.6 Vyhodnotenie pozície

3 Implementácia

Záver

Zoznam použitej literatúry

- [1] Ayers, J. W., Leas, E. C., Dredze, M., Allem, J. P., Grabowski, J. G., Hill, L.: *Pokémon GO—a new distraction for drivers and pedestrians*, JAMA internal medicine, 176.12 (2016), 1865-1866, dostupné na internete (11.01.2022): <https://jamanetwork.com/journals/jamainternalmedicine/article-abstract/2553331> Rozšírená realita na platforme android, ktorú napísal Bc. Dominik Baranec
- [2] Baranec D.: *Rozšírená realita na platforme android*, diplomová práca (2017)
- [3] Dobšovičová I.: *Aplikácia na meranie dĺžky a šírky chodidla*, bakalárska práca (2017)
- [4] Haladová, Z. B., Samuelčík, M., Varhaníková, I.: *Augmented map presentation of cultural heritage sites.*, In Current Issues of Science and Research in the Global World: Proceedings of the International Conference on Current Issues of Science and Research in the Global World 5.1 (Vienna, Austria; 27-28 May 2014), CRC Press, dostupné na internete (1.11.2021): https://books.google.sk/books?hl=sk&lr=&id=SA7NBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA345&ots=yRwd9DMsYK&sig=N4sG-aeSgZZhp9zw7_wK-M4L9yI&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- [5] Hjorth, L., Richardson, I: *Pokémon GO: Mobile media play, place-making, and the digital wayfarer.*, Mobile Media and Communication 5.1 (2017), 3-14, dostupné na internete (11.01.2022): <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2050157916680015>
- [6] Illingworth, J., Kittler, J.: *The adaptive Hough transform*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (1987), 690-698.
- [7] Illingworth, J., Kittler, J.: *A survey of the Hough transform.* , Computer vision, graphics, and image processing 44.1 (1988), 87-116, dostupné na internete (13.01.2022): <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734189X88800331>
- [8] Lepko M.: *Návrh, analýza a testovanie systému pre rozšírenou realitu.*, diplomová práca (2017)

- [9] Molnár, G., Szűts, Z., Biró, K: *Use of augmented reality in learning*. Acta Polytechnica Hungarica,Acta Polytechnica Hungarica 15.5 (2018), 209-222 , dostupné na internete (10.01.2022): https://www.researchgate.net/profile/Gyoergy-Molnar-2/publication/329310032_Use_of_Augmented_Reality_in_Learning/links/5c2c05c3458515a4c7066043/Use-of-Augmented-Reality-in-Learning.pdf
- [10] nanalyze.com: *Augmented Reality for Digital Surgery*, 3 Startups Using Augmented Reality in Surgery (2018), dostupné na internete (11.01.2022): <https://www.nanalyze.com/2018/09/startups-augmented-reality-surgery/>
- [11] Prabha, D. S., Kumar, J. S. : *Performance evaluation of image segmentation using objective methods.*, Indian J. Sci. Technol 9.8 (2016), 1-8, dostupné na internete (13.01.2022): <https://sciresol.s3.us-east-2.amazonaws.com/IJST/Articles/2016/Issue-8/Article33.pdf>
- [12] Schmalstieg, D., Hollerer, T.: *Augmented reality: principles and practice*, Addison-Wesley Professional, 2016, p.528
- [13] Šikudová E., Černeková Z., Benešová W., Haladová Z., Kučerová J.: *Počítačové videnie Detektia a rozpoznávanie objektov*, Praha: Wikina Praha, 2013, p. 397.
- [14] Whitwam R.: *Enhanced Augmented Reality Coming to Pokémon GO on iOS*, ExtremeTech (21.12. 2017), dostupné na internete (11.01.2022): <https://www.extremetech.com/mobile/260951-enhanced-augmented-reality-coming-pokemon-go-ios>
- [15] Yogamangalam, R., Karthikeyan, B:*Segmentation techniques comparison in image processing*, International Journal of Engineering and Technology (IJET), 5.1 (2013), 307-313, dostupné na internete (12.01.2022): http://faratarjome.ir/u/media/shopping_files/store-EN-1485851260-5979.pdf