

COMENIUS UNIVERSITY IN BRATISLAVA
FACULTY OF MATHEMATICS, PHYSICS AND INFORMATICS

DEEP LEARNING-BASED HUMAN BODY
SEGMENTATION ON 3D BODY SCANS
BACHELOR THESIS

2022

ERIK RÓBERT JÁN JAKUBOVSKÝ

COMENIUS UNIVERSITY IN BRATISLAVA
FACULTY OF MATHEMATICS, PHYSICS AND INFORMATICS

DEEP LEARNING-BASED HUMAN BODY SEGMENTATION ON 3D BODY SCANS

BACHELOR THESIS

Study Programme: Applied Informatics
Field of Study: Applied Informatics
Department: Department of Applied Informatics
Supervisor: Mgr. Dana Škorvánková

Bratislava, 2022

Erik Róbert Ján Jakubovský



Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko študenta: Erik Róbert Ján Jakubovský
Študijný program: aplikovaná informatika (Jednoodborové štúdium, bakalársky I. st., denná forma)
Študijný odbor: informatika
Typ záverečnej práce: bakalárska
Jazyk záverečnej práce: anglický
Sekundárny jazyk: slovenský

Názov: Deep Learning-Based Human Body Segmentation on 3D Body Scans
Segmentácia ľudského tela v 3D skenoch pomocou hlbokého učenia

Anotácia: Segmentácia ľudského tela má dôležitú rolu v kontexte analýzy ľudského tela. Častokrát je využívaná ako medzikrok v procese riešenia komplexnejších úloh, ktoré vyžadujú porozumenie štruktúre ľudského tela. V súčasnosti sa prevažná väčšina výskumu v danej oblasti orientuje na metódy strojového učenia, nakoľko presnosťou výsledkov prekonávajú analytické metódy. Segmentácia tela z 3D vstupných dát môže byť prínosom v porovnaní s použitím 2D vstupných obrazov, keďže pridané hĺbkové informácie ponúkajú potenciálne zlepšenie presnosti.

Cieľ: Účelom tejto práce je využiť nástroje strojového učenia na presnú segmentáciu ľudského tela do jednotlivých oblastí tela, pomocou 3D skenov tela na vstupe. Prvým krokom je generácia správnych anotácií k reálnym 3D dátam, ktoré budú slúžiť ako referenčné požadované výstupy počas tréningu siete. Následne po prieskume v oblasti techník strojového učenia, natrénovať a otestovať vybrané modely neurónových sietí. Konečným cieľom je vyhodnotenie výsledkov a ich porovnanie so súčasnými existujúcimi metódami.

Kľúčové slová: počítačové videnie, segmentácia tela, strojové učenie, neurónové siete, mračná bodov

Vedúci: Mgr. Dana Škorváňková
Konzultant: RNDr. Martin Madaras, PhD.
Katedra: FMFI.KAI - Katedra aplikovanej informatiky
Vedúci katedry: prof. Ing. Igor Farkaš, Dr.
Dátum zadania: 01.10.2021

Dátum schválenia: 06.10.2021

doc. RNDr. Damas Gruska, PhD.
garant študijného programu

.....
študent

.....
vedúci práce



Comenius University Bratislava
Faculty of Mathematics, Physics and Informatics

THESIS ASSIGNMENT

Name and Surname: Erik Róbert Ján Jakubovský
Study programme: Applied Computer Science (Single degree study, bachelor I. deg., full time form)
Field of Study: Computer Science
Type of Thesis: Bachelor's thesis
Language of Thesis: English
Secondary language: Slovak

Title: Deep Learning-Based Human Body Segmentation on 3D Body Scans

Annotation: Human body part segmentation has an important role in the context of human body analysis. It is often used as an intermediate step in order to solve more complex tasks, which require understanding of human body structure. These days, most of the related research is oriented on machine learning methods, since they proved to outperform the analytical approaches. Performing a body segmentation on 3D input data might be beneficial in comparison to using 2D input images, offering a potential improvement in accuracy by providing the depth information.

Aim: The aim of the thesis is to use machine learning tools to accurately segment a human body into particular body regions, using 3D body scans as an input. As a preliminary step, it is necessary to correctly annotate the real-world 3D data to generate the ground truth for network training. Then, study the machine learning techniques, train and validate selected neural models. Finally, the goal is to evaluate the results and compare the performance to state-of-the-art methods.

Keywords: computer vision, body segmentation, machine learning, neural networks, point clouds

Supervisor: Mgr. Dana Škorvánková
Consultant: RNDr. Martin Madaras, PhD.
Department: FMFI.KAI - Department of Applied Informatics
Head of department: prof. Ing. Igor Farkaš, Dr.

Assigned: 01.10.2021

Approved: 06.10.2021

doc. RNDr. Damas Gruska, PhD.
Guarantor of Study Programme

.....
Student

.....
Supervisor

Acknowledgments: Tu môžete poďakovať školiteľovi, prípadne ďalším osobám, ktoré vám s prácou nejako pomohli, poradili, poskytli dáta a podobne.

Abstrakt

Slovenský abstrakt v rozsahu 100-500 slov, jeden odstavec. Abstrakt stručne sumarizuje výsledky práce. Mal by byť pochopiteľný pre bežného informatika. Nemal by teda využívať skratky, termíny alebo označenie zavedené v práci, okrem tých, ktoré sú všeobecne známe.

Kľúčové slová: počítačové videnie, segmentácia tela, storjové učenie, neurónové siete, mračná bodov

Abstract

Abstract in the English language (translation of the abstract in the Slovak language).

Keywords: computer vision, body segmentation, machine learning, neural networks, point clouds

Contents

Úvod	1
1 Jadro a členenie práce	3
1.1 Členenie	3
1.1.1 Súčasný stav	3
1.1.2 Cieľ práce	4
1.1.3 Metodika práce a metódy skúmania	4
1.1.4 Výsledky práce a diskusia	4
2 LaTeX	5
2.1 Obrázky	5
3 Lorem Ipsum	7
4 A Sample Text	9

List of Figures

2.1 Ukážka hry Červík	6
---------------------------------	---

List of Tables

2.1	Doba výpočtu a operačná pamäť potrebná na spracovanie vstupu XYZ	6
-----	--	---

Úvod

Cieľom tejto práce je poskytnúť študentom posledného ročníka bakalárskeho štúdia informatiky kostru práce v systéme LaTeX a ukážku užitočných príkazov, ktoré pri písaní práce môžu potrebovať. Začneme stručnou charakteristikou úvodu práce podľa smernice o záverečných prácach [6], ktorú uvádzame ako doslovný citát.

Úvod je prvou komplexnou informáciou o práci, jej cieľi, obsahu a štruktúre. Úvod sa vzťahuje na spracovanú tému konkrétne, obsahuje stručný a výstižný opis problematiky, charakterizuje stav poznania alebo praxe v oblasti, ktorá je predmetom školského diela a oboznamuje s významom, cieľmi a zámermi školského diela. Autor v úvode zdôrazňuje, prečo je práca dôležitá a prečo sa rozhodol spracovať danú tému. Úvod ako názov kapitoly sa nečísluje a jeho rozsah je spravidla 1 až 2 strany.

V nasledujúcej kapitole nájdete ukážku členenia kapitoly na menšie časti a v kapitole 2 nájdete príkazy na prácu s tabuľkami, obrázkami a matematickými výrazmi. V kapitole 3 uvádzame klasický text Lorem Ipsum a na koniec sa budeme venovať záležitostiam záveru bakalárskej práce.

Chapter 1

Jadro a členenie práce

V tejto kapitole si povieme niečo o jadre práce a o jej členení. V zdrojovom kóde v súbore `kapitola.tex` nájdete ukážku použitých príkazov LaTeXu potrebných na písanie nadpisov a podnadpisov a číslovaných a nečíslovaných zoznamov. Zvyšok textu tejto kapitoly je prebratý zo smernice o záverečných prácach [6, článok 5].

Jadro je hlavná časť školského diela a člení sa na kapitoly, podkapitoly, odseky a pod., ktoré sa vzostupne číslujú.

1.1 Členenie

Členenie jadra školského diela je určené typom školského diela. Vo vedeckých a odborných prácach má jadro spravidla tieto hlavné časti:

- súčasný stav riešenej problematiky doma a v zahraničí,
- cieľ práce,
- metodika práce a metódy skúmania,
- výsledky práce,
- diskusia.

1.1.1 Súčasný stav

V časti súčasný stav riešenej problematiky doma a v zahraničí autor uvádza dostupné informácie a poznatky týkajúce sa danej témy. Zdrojom pre spracovanie sú aktuálne publikované práce domácich a zahraničných autorov. Podiel tejto časti práce má tvoriť približne 30 % práce.

1.1.2 Cieľ práce

Časť cieľ práce školského diela jasne, výstižne a presne charakterizuje predmet riešenia. Súčasťou sú aj rozpracované čiastkové ciele, ktoré podmieňujú dosiahnutie cieľa hlavného.

1.1.3 Metodika práce a metódy skúmania

Časť metodika práce a metódy skúmania spravidla obsahuje:

1. charakteristiku objektu skúmania,
2. pracovné postupy,
3. spôsob získavania údajov a ich zdroje,
4. použité metódy vyhodnotenia a interpretácie výsledkov,
5. štatistické metódy.

1.1.4 Výsledky práce a diskusia

Časti výsledky práce a diskusia sú najvýznamnejšími časťami školského diela. Výsledky (vlastné postoje alebo vlastné riešenia), ku ktorým autor dospel, sa musia logicky usporiadať a pri opisovaní sa musia dostatočne zhodnotiť. Zároveň sa komentujú všetky skutočnosti a poznatky v konfrontácii s výsledkami iných autorov. Výsledky práce a diskusia môžu tvoriť aj jednu samostatnú časť a spoločne tvoria spravidla 30 až 40 % školského diela.

Chapter 2

Ukážky užitočných príkazov v systéme LaTeX

V tejto kapitole si ukážeme príklady niektorých užitočných príkazov, ako napríklad správne používanie tabuliek a obrázkov, číslovanie matematických výrazov a podobne. Konkrétne príkazy použité v tejto kapitole nájdete v zdrojovom súbore `latex.tex`. Všimnite si, že pre potreby obsahu a hlavičky stránky je v zdrojovom súbore uvedený aj skrátený názov tejto kapitoly. Ďalšie užitočné príkazy nájdete aj v kapitole 1, na ktorú sme sa na tomto mieste odvolali príkazom `\ref`.

2.1 Obrázky

Vašu prácu ilustrujte vhodnými obrázkami. Pri použití programu `pdflatex` je potrebné pripraviť obrázky vo formáte `pdf`, `jpg` alebo `png`. Vektorové obrázky (napr. `eps`, `svg`) je najvhodnejšie skonvertovať do formátu `pdf`, napríklad programom `Inkscape`.

Na vkladanie obrázkov použite prostredie `figure`, ktoré obrázok umiestni na vhodné miesto, väčšinou na vrch alebo spodok stránky a tiež sa stará o automatické číslovanie obrázkov. Na každý obrázok sa treba v hlavnom texte odvolať. Napríklad ilustráciu hry Červík vidíme na obrázku 2.1. Pri odvolávaní sa na číslo obrázku používame príkaz `\ref`. Pri vložení alebo zmazaní obrázku tak nemusíme ručne všetky ostatné obrázky prečíslovať.

Podobne tabuľky vkladajte pomocou prostredia `table`, pričom samotnú tabuľku vytvoríte príkazom `tabular`. Každú tabuľku potom spomeňte aj v hlavnom texte. Napríklad v tabuľke 2.1 vidíme porovnanie časov niekoľkých fiktívnych programov.

V texte môžete tiež potrebovať dlhšie matematické výrazy, ako napríklad tento

$$\sum_{k=0}^n q^k = \frac{q^{n+1} - 1}{q - 1}. \quad (2.1)$$

Použitím prostredia `equation` bol tento výraz zarovnaný na stred na zvláštnom riadku

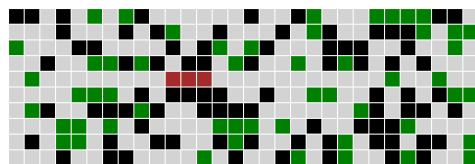


Figure 2.1: Ukážka hry Červík. Červík je znázornený červenou farbou, voľné políčka sivou, jedlo zelenou a steny čiernou. Hoci tento popis obrázku je dlhší, v zdrojovom texte je aj kratšia verzia, ktorá sa zobrazí v zozname obrázkov.

Table 2.1: Doba výpočtu a operačná pamäť potrebná na spracovanie vstupu XYZ. V tomto popise môžeme vysvetliť detaily potrebné pre pochopenie údajov v tabuľke.

Meno programu	Čas (s)	Pamäť (MB)
Môj super program	25.6	120
Speedy 3.1	32.1	100
VeryOld	244.1	200

a očíslovaný. Na toto číslo sa tiež môžeme odvolať príkazom `\ref`. Napríklad rovnica (2.1) predstavuje súčet geometrickej postupnosti.

V práci tiež možno budete uvádzať úryvky kódu v niektorom programovacom jazyku. Môže vám pomôcť prostredie `lstlisting` z balíčka `listings`, v ktorom môžete nastaviť aj jazyk a kód bude krajšie sformátovaný. Ukážku nájdete ako Algoritmus 2.1.

Napokon, v texte nezabudnite citovať použitú literatúru pomocou príkazu `\cite`. Napríklad ďalšie detaily o systéme LaTeX nájdete v knihe od Tobiasa Oetikera a kolektívu [5]. Pre ukážku citujeme aj článok z vedeckého časopisu [3] a článok z konferencie [2], technickú správu [4], knihu [1] a materiál z internetu [6].

Algoritmus 2.1: Algoritmus na výpočet faktoriálu v jazyku C

```

int factorial = 1;
for(int i = 1; i <= n; i++) {
    faktorial *= i;
}

```

Chapter 3

Lorem Ipsum

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Sed mollis nisi eget arcu dictum posuere. Praesent ullamcorper malesuada magna ut viverra. Aenean bibendum turpis a sagittis rhoncus. Morbi tristique, dolor a mollis malesuada, eros nibh laoreet massa, placerat tempor purus magna et enim. Fusce tempus, nibh sed vehicula semper, nibh justo semper quam, posuere varius ante arcu ac nunc. Cras tincidunt lacus pretium tellus porta aliquet. Suspendisse faucibus porta dolor ac lobortis. Donec molestie erat nec molestie commodo. Phasellus cursus tempus convallis. Cras nec placerat dui, in congue quam.

Suspendisse eu consectetur ante. Proin dapibus efficitur convallis. Sed viverra, libero vitae tincidunt malesuada, ante felis tempus ipsum, a rhoncus turpis lacus ut arcu. Phasellus tristique non lectus in vehicula. Sed id nibh metus. Duis et magna ac neque mollis volutpat ac non leo. Nulla imperdiet vulputate nisi, eget mattis leo bibendum non.

Maecenas maximus rutrum enim quis cursus. Curabitur dolor erat, bibendum nec facilisis a, congue ac turpis. Nullam ex urna, iaculis ut dui at, auctor dictum lacus. Pellentesque at pellentesque mi. Aliquam pretium vestibulum felis ut facilisis. In hac habitasse platea dictumst. Nam felis mi, convallis at tempus id, faucibus sed odio. Suspendisse sit amet arcu fermentum, lobortis massa ultrices, auctor metus. Nulla eu metus ante. Suspendisse potenti. Sed pellentesque augue et ultricies lobortis. Nunc id lorem sit amet nisl lobortis semper eget ut massa. Nam tristique gravida est, sed pretium ipsum convallis dictum.

Nam urna eros, porttitor et vehicula a, sodales sed est. Vestibulum non porttitor justo, ut pellentesque nisl. Donec a sem nulla. Maecenas mi lacus, consectetur nec lacus quis, mollis convallis nunc. Vestibulum auctor tellus et gravida scelerisque. Sed porttitor consectetur aliquam. Pellentesque tempor rutrum elit id consequat. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Pellentesque volutpat, erat quis scelerisque molestie, ex lectus facilisis ante, ut ultricies sem elit id diam. Fusce sit amet

dui nec ex eleifend vehicula vitae eu nisl. Integer lorem elit, tempor et sollicitudin et, blandit vel ante.

Morbi facilisis massa quis dolor pharetra, fringilla volutpat ligula ullamcorper. Praesent blandit pellentesque neque, condimentum porta felis suscipit volutpat. In sit amet nulla maximus, viverra nibh eu, lacinia odio. Sed a odio at purus egestas cursus. Nulla facilisi. Pellentesque non leo mollis ligula consequat volutpat quis in augue. Vivamus luctus diam a felis fringilla, id egestas nibh venenatis. Ut ligula libero, vehicula vel pulvinar et, convallis eget tortor. Donec tincidunt est a nisi rhoncus placerat.

Chapter 4

A Sample Text

Chapters in Slovak language are commented out, but use them as a guide to write chapters in English. Here we only cite some references, such as a book about LaTeX [5], a scientific journal article [3], a conference paper [2], a technical report [4], a book [1], and a resource from the Internet [6].

Bibliography

- [1] X. Autor1 and Y. Autor2. *Názov knihy*. Vydavateľstvo, 1900.
- [2] X. Autor1 and Y. Autor2. Názov článku (väčšinou z konferencie). In *Názov zborníka (väčšinou názov konferencie spolu s ročníkom)*, pages 1–100. Vydavateľstvo, 1900.
- [3] X. Autor1 and Y. Autor2. Názov článku z časopisu. *Názov časopisu, ktorý článok uverejnil*, 4(3):1–100, 1900.
- [4] X. Autor1 and Y. Autor2. Názov technickej správy. Technical Report TR123/1999, Inštitút vydávajúci správu, June 1999.
- [5] Tobias Oetiker, Hubert Partl, Irene Hyna, and Elisabeth Schlegl. *Nie príliš stručný úvod do systému LaTeX2e*. 2002. Preklad Ján Buša ml. a st.
- [6] Univerzita Komenského v Bratislave. Vnútorňý predpis č. 7/2018, Úplné znenie vnútorného predpisu č. 12/2013 Smernice rektora Univerzity Komenského v Bratislave o základných náležitostiach záverečných prác, rigorózných prác a habilitačných prác, kontrole ich originality, uchovávaní a sprístupňovaní na Univerzite Komenského v Bratislave v znení dodatku č. 1 a dodatku č. 2 smernica rektora Univerzity Komenského v Bratislave o základných náležitostiach záverečných prác, rigorózných prác a habilitačných prác, kontrole ich originality, uchovávaní a sprístupňovaní na Univerzite Komenského v Bratislave, 2013. [Citované 2020-10-19] Dostupné z https://uniba.sk/fileadmin/ruk/legislativa/2018/Vp_2018_07.pdf.