

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Evidenčné číslo: FEI-100863-111119

AUTENTIFIKÁCIA EMÓCIÍ OPERÁTORA NA ZÁKLADE
VÝRAZU TVÁRE
DIPLOMOVÁ PRÁCA

2025

Bc. Maroš Kocúr

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Evidenčné číslo: FEI-100863-111119

AUTENTIFIKÁCIA EMÓCIÍ OPERÁTORA NA ZÁKLADE
VÝRAZU TVÁRE
DIPLOMOVÁ PRÁCA

Študijný program:	Robotika a kybernetika
Názov študijného odboru:	kybernetika
Školiace pracovisko:	Ústav robotiky a kybernetiky
Vedúci záverečnej práce:	prof. Ing. Jarmila Pavlovičová, PhD.
Konzultant:	Ing. Michal Tölgyessy

Bratislava 2025

Bc. Maroš Kocúr



ZADANIE DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študent: **Bc. Maroš Kocúr**
ID študenta: 111119
Študijný program: robotika a kybernetika
Študijný odbor: kybernetika
Vedúci práce: Ing. Michal Tölgyessy, PhD.
Vedúci pracoviska: prof. Ing. František Duchoň, PhD.
Miesto vypracovania: Ústav robotiky a kybernetiky

Názov práce: **Autentifikácia emócií operátora na základe výrazu tváre**

Jazyk, v ktorom sa práca vypracuje: slovenský jazyk

Špecifikácia zadania:

Pri interakcii človeka s robotickým systémom je dôležité, aby robot vedel aj to, v akom emočnom rozpoložení sa operátor nachádza. Cieľom práce je vytvoriť modul, ktorý robotu takúto informáciu poskytne. Predpokladá sa využitie RGB kamery, ale je možnosť využiť aj RGB-D kameru.

Úlohy práce:

1. Analyzujte existujúce metódy analýzy emócií na základe výrazu tváre.
2. Naštudujte princípy tvorby biometrických modelov tváre a metódy detekcie a rozpoznávania tváre.
3. Navrhňte a implementujte systém pre identifikáciu emócií operátora na základe jeho tváre.
4. Testujte a validujte systém na simulovaných aj reálnych dátach.
6. Vytvorte ROS2 balík pre daný systém.
7. Vyhodnoťte experimenty a dosiahnuté výsledky.

Termín odovzdania diplomovej práce: 16. 05. 2025

Dátum schválenia zadania diplomovej práce: 16. 10. 2024

Zadanie diplomovej práce schválil: prof. Ing. Jarmila Pavlovičová, PhD. – garantka študijného programu

SÚHRN

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Študijný program:	Robotika a kybernetika
Autor:	Bc. Maroš Kocúr
Diplomová práca:	Autentifikácia emócií operátora na základe výrazu tváre
Vedúci záverečnej práce:	prof. Ing. Jarmila Pavlovičová, PhD.
Konzultant:	Ing. Michal Tölgyessy
Miesto a rok predloženia práce:	Bratislava 2025

Interakcia človeka s robotom v dynamickom prostredí si čoraz viac vyžaduje pochopenie emocionálneho stavu operátora s cieľom optimalizovať komunikáciu a rozhodovacie procesy. Cieľom tejto práce je navrhnúť a implementovať modul, ktorý poskytuje robotickému systému emocionálnu spätnú väzbu a umožňuje mu zisťovať výrazy tváre operátora a odvodzovať jeho emocionálne stavy. S využitím kamery RGB s možnosťou integrácie kamery RGB-D bude systém využívať biometrické modely tváre a techniky rozpoznávania tváre na identifikáciu emócií v reálnom čase. Medzi kľúčové úlohy patrí analýza súčasných metód detekcie emócií výrazu tváre, štúdium princípov tvorby biometrických modelov tváre a implementácia robustného systému na detekciu emócií. Systém bude overený prostredníctvom testovania na simulovaných aj reálnych súboroch údajov. Okrem toho bude vyvinutý balík ROS2, ktorý zabezpečí bezproblémovú integráciu v rámci robotických systémov. Výsledky budú kriticky posúdené prostredníctvom experimentov s cieľom zabezpečiť presnosť a efektívnosť výkonu v reálnych aplikáciách.

Kľúčové slová: RGB kamera, neurónová sieť

ABSTRACT

SLOVAK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY IN BRATISLAVA

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND INFORMATION TECHNOLOGY

Study Programme:	Robotics and cybernetics
Author:	Bc. Maroš Kocúr
Master's thesis:	Operator Emotion Authentication Based on Facial Expression
Supervisor:	prof. Ing. Jarmila Pavlovičová, PhD.
Consultant:	Ing. Michal Tölgyessy
Place and year of submission:	Bratislava 2025

Human-robot interaction in dynamic environments increasingly requires an understanding of the operator's emotional state to optimize communication and decision-making processes. This work aims to design and implement a module that provides emotional feedback to a robotic system, enabling it to detect the operator's facial expressions and infer emotional states. Leveraging an RGB camera, with the option to integrate an RGB-D camera, the system will employ biometric facial models and facial recognition techniques to identify emotions in real-time. Key tasks include analyzing current facial expression emotion detection methods, studying the principles of facial biometric model creation, and implementing a robust system for emotion detection. The system will be validated through testing on both simulated and real datasets. Additionally, a ROS2 package will be developed to ensure seamless integration within robotic systems. The outcomes will be critically assessed through experiments to ensure accuracy and performance efficiency in real-world applications.

Keywords: RGB camera, neural network

Pod'akovanie

I would like to express a gratitude to my thesis supervisor.

Obsah

Úvod	1
1 Úvod	2
1.1 Motivácia	2
1.2 Ciele práce	3
2 Teoretické základy	4
2.1 Emócie a ich prejav	4
2.1.1 Univerzálne emócie	4
2.1.2 Kultúrne rozdiely v prejave emócií	4
2.1.3 Výrazy tváre ako indikátory emócií	4
2.2 Analýza obrazu	4
2.2.1 Detekcia tváre	4
2.2.2 Extrakcia príznakov	5
2.2.3 Klasifikácia	5
2.3 Biometria	5
2.3.1 Princípy biometrických systémov	5
2.3.2 Identifikácia vs. verifikácia	5
3 Existujúce metódy analýzy emócií	6
3.1 Ručne značenie	6
3.2 Automatická analýza emócií	6
3.2.1 Konvolučné neurónové siete	6
3.2.2 Typy vhodných neurónových sietí	6
3.2.3 Príklady použitia počítačového videnia	7
4 Návrh riešenia	8
4.1 Architektúra systému	8
4.2 Výber dát	8
4.3 Extrakcia príznakov	8
4.4 Klasifikácia	8
4.5 Vyber hyperparametrov	8
5 Implementácia riešenia	9
5.1 Výber nástrojov	9

5.2	Implementácia jednotlivých komponentov	9
5.3	Vizualizácia výsledkov	9
6	Implementácia v ROS2	10
6.1	Konverzia modelu	10
6.2	Integrácia do robotického systému	10
7	Exprerimenty a vyhodnotenie	11
7.1	Dátová sada	11
7.2	Metriky	11
7.3	Výsledky	11
7.4	Analýza výsledkov	11
8	Záver	12
8.1	Zhodnotenie práce	12
8.2	Obmedzenia práce	12
8.3	Budúce smerovanie	12
9	Doplňujece poznamky	13
	Záver	14
	Zoznam použitej literatúry	15
	Prílohy	15
A	Štruktúra elektronického nosiča	16
B	Algoritmus	17
C	Výpis subline	18

Zoznam obrázkov a tabuliek

Zoznam algoritmov

B.1	Vypočítaj $y = x^n$	17
-----	-------------------------------	----

Zoznam výpisov

C.1 Ukážka sublime-project	18
--------------------------------------	----

Úvod

Ukazka upraveného šablony FEIStyle.cls (<https://github.com/Kyslik/FEIStyle>) s použitím Times New Roman fontu. Nastavenie fontov som prebral z oficiálneho IEEE šablony, vložil som ho do FEIStyle.cls na riadky 228-230.

Tu bude krásny úvod s diakritikou atď.

A možno aj viac riadkový úvod.

1 Úvod

S rozvojom umelej inteligencie a strojového učenia sa otvárajú nové možnosti pre interakciu medzi človekom a strojom. Jednou z najdôležitejších oblastí výskumu je rozpoznávanie emócií na základe výrazu tváre, ktoré umožňuje strojom porozumieť emocionálnemu stavu používateľ'a. V kontexte robotických systémov je dôležité, aby roboty boli schopné rozoznať emócie človeka, čo môže zlepšiť komunikáciu, kooperáciu a bezpečnosť pri spoločnej práci. [SAXENA202239]

Emócie zohrávajú dôležitú úlohu v procese rozhodovania, riadenia a interakcie. Schopnosť robotického systému porozumieť emocionálnemu stavu používateľ'a umožňuje jeho prispôbenie konkrétnym podmienkam a potrebám operátora. Napríklad v priemysle môžu robotické systémy identifikovať stres alebo únavu operátora, čím prispievajú k zvýšeniu bezpečnosti a efektivity. Okrem toho, v oblasti zdravotnej starostlivosti môže rozpoznávanie emócií pomôcť monitorovať psychický stav pacientov a prispieť k ich lepšej starostlivosti. [9674818] [8718656]

Rozpoznávanie emócií je možné dosiahnuť rôznymi metódami, ktoré zahŕňajú spracovanie obrazu, analýzu textu, reč a gestá. Výraz tváre je však najvýznamnejším a najpresnejším indikátorom emócií, pretože vyjadruje okamžitý emocionálny stav človeka. Emócie, ako sú šťastie, smútok, hnev alebo prekvapenie, sú viditeľné prostredníctvom zmien vo svaloch tváre, ktoré sú merateľné a analyzovateľné pomocou technológií strojového učenia, najmä pomocou hlbokých neurónových sietí (CNN). [SAXENA202239]

Súčasná metódy na rozpoznávanie emócií zahŕňajú viacero prístupov. Tradičné prístupy, ako napríklad metódy založené na geometrických črtách a textúrach, boli doplnené modernými metódami založenými na hlbokom učení, ktoré dosahujú vysokú presnosť. Neurónové siete sú schopné automaticky extrahovať črty tváre bez potreby manuálnej zásahu, čo výrazne zvyšuje efektívnosť systému. Tieto pokročilé modely dosahujú vysokú mieru úspešnosti v rôznych aplikáciách, ako sú zdravotná starostlivosť, priemyselná automatizácia alebo monitorovanie únavy vodičov. [9674818] [Martinez2016]

1.1 Motivácia

Motiváciou pre rozpoznávanie emócií tváre je jeho potenciál zlepšiť interakciu medzi človekom a počítačom, zlepšiť monitorovanie duševného zdravia a vytvoriť adaptívne systémy pre rôzne oblasti, ako je vzdelávanie, marketing a robotika. [CANAL2022593]

1.2 Ciele práce

Táto práca sa zameriava na návrh systému na rozpoznávanie emócií operátora pomocou RGB kamery, ktorý umožní robotickým systémom analyzovať a prispôbiť sa emocionálnemu stavu používateľa v reálnom čase. Systém bude testovaný na simulovaných aj reálnych dátach a integrovaný do robotických platforiem cez ROS2 pre jeho nasadenie v priemyselných a zdravotných aplikáciách.

Cieľom práce je vytvoriť systém, ktorý bude schopný rozpoznať emócie v reálnom čase.

2 Teoretické základy

2.1 Emócie a ich prejav

Emócie sú komplexné psychologické stavy, ktoré zahŕňajú subjektívne zážitky, fyziologické reakcie a behaviorálne prejavy. V priebehu výskumu boli emócie definované rôznymi spôsobmi, ale všeobecne sa považujú za reakcie na podnety, ktoré ovplyvňujú ľudské správanie a myslenie. Emócie môžu byť pozitívne alebo negatívne a ovplyvňujú naše rozhodovanie, pamäť a vnímanie sveta okolo nás. [CANAL2022593]

2.1.1 Univerzálne emócie

Jednou z najvýznamnejších teórií o emóciách je teória univerzálnych emócií, ktorú vyvinul psychológ Paul Ekman. Podľa tejto teórie existuje šesť základných emócií, ktoré sú univerzálne rozpoznateľné na základe výrazu tváre: radosť, smútok, hnev, prekvapenie, strach a odpor. Tieto emócie sú nezávislé od kultúrnych vplyvov a prejavujú sa podobným spôsobom naprieč rôznymi kultúrami a etnickými skupinami. [9674818]

2.1.2 Kultúrne rozdiely v prejave emócií

Napriek existencii univerzálnych emócií existujú významné kultúrne rozdiely v tom, ako sú emócie prejavované a vnímané. Niektoré kultúry, ako napríklad západné, sú viac orientované na individualizmus, kde je prejav emócií otvorenejší a priamy, zatiaľ čo v kolektivistických kultúrach, ako sú východné ázijské krajiny, sú emócie častejšie potláčané alebo prejavované menej intenzívne. [CANAL2022593]

2.1.3 Výrazy tváre ako indikátory emócií

Výraz tváre je jedným z hlavných spôsobov, ako sú emócie vonkajšie prejavované. Svalové pohyby tváre, ktoré zahŕňajú zmeny v oblasti očí, obočia, úst a líc, sú kľúčovými indikátormi emočných stavov. Tento typ neverbálnej komunikácie je extrémne efektívny, pretože umožňuje okamžitý a intuitívny prenos emocionálnych informácií [8614755]. Výskum ukázal, že až 55 % emočných informácií je prenášaných prostredníctvom výrazov tváre, čo zdôrazňuje ich význam v sociálnej interakcii. [9674818]

2.2 Analýza obrazu

Analýza obrazu je kľúčová pre proces rozpoznávania emócií na základe tváre. Tento proces zahŕňa detekciu tváre, extrakciu príznačkov a následnú klasifikáciu emócií

2.2.1 Detekcia tváre

Detekcia tváre je prvým krokom v procese rozpoznávania emócií. Tento krok zahŕňa lokalizáciu tváre v obraze a je rozhodujúci pre ďalšie spracovanie. Moderné metódy detekcie

tváre, ako je algoritmus Viola-Jones, používajú rýchle a efektívne prístupy k lokalizácii tvárových oblastí, čo je nevyhnutné pre následné kroky. Vývoj hlbokých neurónových sietí, ako sú konvolučné neurónové siete (CNN), výrazne zlepšil presnosť detekcie tváre, čo umožnilo rozpoznávať tváre aj v rôznych svetelných podmienkach a uhloch.[9674818]

2.2.2 Extrakcia príznakov

Po detekcii tváre nasleduje extrakcia príznakov, kde sú identifikované kľúčové črty tváre, ako sú oči, nos, ústa a obočie. Tieto črty sú dôležité pre analýzu výrazov tváre, pretože zmeny v ich polohe alebo napätí súvisia s rôznymi emočnými stavmi. [8614755] Typické algoritmy používané pri extrakcii príznakov zahŕňajú Gaborove filtre a histogramy orientovaných gradientov (HOG), ktoré zameriavajú pozornosť na zmeny v textúre a tvaroch.[9674818].

2.2.3 Klasifikácia

Klasifikácia emócií je záverečným krokom, kde sú extrahované príznaky spracované a priradené k určitým emočným kategóriám. Moderné metódy klasifikácie používajú algoritmy strojového učenia, ako sú Support Vector Machines (SVM), ale najúčinnjšie sú konvolučné neurónové siete (CNN), ktoré dokážu automaticky klasifikovať výrazy do kategórií, ako sú šťastie, smútok alebo hnev. [8614755] [9674818]

2.3 Biometria

Biometria sa zaoberá rozpoznávaním osôb na základe jedinečných fyziologických alebo behaviorálnych charakteristík. V oblasti rozpoznávania tváre ide o identifikáciu alebo verifikáciu osôb na základe tvárových črt. [8614755] [9674818]

2.3.1 Princípy biometrických systémov

Biometrické systémy sú založené na zhromažďovaní a analýze údajov, ktoré sú pre jednotlivca jedinečné, ako sú odtlačky prstov, dúhovka alebo tvár. Tieto systémy musia byť schopné spoľahlivo identifikovať alebo overiť osobu na základe týchto údajov. V kontexte rozpoznávania tváre systém spracováva obraz tváre, extrahuje relevantné črty a porovnáva ich s uloženými údajmi. [CANAL2022593]

2.3.2 Identifikácia vs. verifikácia

Identifikácia a verifikácia sú dva hlavné prístupy v biometrických systémoch. Identifikácia zahŕňa určenie identity osoby na základe údajov o tvári v porovnaní s databázou, zatiaľ čo verifikácia porovnáva údaje jednej osoby s predtým zaznamenanými údajmi, aby potvrdila, či ide o tú istú osobu[8614755]. Rozpoznávanie tváre je často používané v aplikáciách na bezpečnosť, kde verifikácia hrá kľúčovú úlohu pri autentifikácii používateľov, zatiaľ čo identifikácia sa používa na vyhľadávanie osôb v rozsiahlych databázach.[9674818]

3 Existujúce metódy analýzy emócií

V oblasti rozpoznávania emócií na základe výrazu tváre existuje mnoho prístupov, ktoré môžeme rozdeliť na manuálne a automatizované metódy. Kým tradičné manuálne prístupy spočívajú v ručnom označovaní výrazov tváre, moderné metódy využívajú automatické algoritmy, často založené na neurónových sieťach (NN).

3.1 Ručne značenie

Ručne značenie (manuálna anotácia) spočíva v označovaní kľúčových bodov na tvári a následnom priradení výrazov tváre k určitým emočným kategóriám. Tento proces je časovo náročný a vyžaduje expertov na interpretáciu dát. Avšak, ručné značenie je stále dôležité pre tvorbu datasetov, ktoré sú nevyhnutné na tréovanie automatických systémov. Dôležité datasetové projekty, ako sú Cohn-Kanade alebo AffectNet, sa opierajú o ručné značenie výrazov tváre. Manuálna anotácia má významnú úlohu v počiatočných fázach výskumu, ale pre aplikácie, ktoré vyžadujú veľké množstvo dát, je neefektívna. [CANAL2022593]

3.2 Automatická analýza emócií

Automatická analýza emócií využíva pokročilé algoritmy počítačového videnia a strojového učenia, aby bola schopná rozpoznať emócie na základe výrazu tváre bez potreby manuálneho zásahu. Moderné systémy rozpoznávania emócií sa vo veľkej miere spoliehajú na neurónové siete (NN), najmä na konvolučné neurónové siete (CNN), ktoré dokážu automaticky extrahovať a klasifikovať príznaky výrazu tváre.

3.2.1 Konvolučné neurónové siete

Neurónové siete sú inšpirované biologickými mozgovými štruktúrami a sú schopné učiť sa z obrovských množstiev dát. Pre úlohy rozpoznávania obrazu, vrátane rozpoznávania emócií, sú najbežnejšie využívané konvolučné neurónové siete (CNN). CNN majú schopnosť automaticky extrahovať črty tváre bez potreby manuálnej definície a v kombinácii s ďalšími typmi sietí, ako sú rekurentné neurónové siete (RNN) alebo dlhodobé pamäte (LSTM), umožňujú ešte lepšiu interpretáciu časovo premenlivých dát, ako sú sekvencie výrazov tváre. [CANAL2022593] [roy2024resemotenetbridgingaccuracyloss]

3.2.2 Typy vhodných neurónových sietí

Pre aplikácie rozpoznávania emócií sa osvedčili rôzne typy neurónových sietí:

Konvolučné neurónové siete (CNN): CNN sa často používajú na extrakciu priestorových príznakov z obrazov tváre, ako sú oči, ústa a obočie. CNN sú obzvlášť účinné pri identifikácii týchto príznakov z rôznych uhlov a svetelných podmienok. [electronics12173595]

Rekurentné neurónové siete (RNN) a LSTM: Tieto siete sú vhodné pre analýzu sekvencií, ako sú videozáznamy alebo opakujúce sa výrazy tváre. Použitím týchto sietí je možné zohľadniť časové zmeny v tvári, čo je dôležité pre interpretáciu dynamických emócií. [s18020401]

Deep Convolutional Neural Networks (DCNN): DCNN je špeciálny typ CNN, ktorý dosahuje vysokú presnosť v úlohách rozpoznávania emócií, najmä pri kombinácii s technológiami počítačového videnia.

3.2.3 Príklady použitia počítačového videnia

rozpoznávanie emócií je úzko prepojené s oblasťou počítačového videnia. Počítačové videnie používa algoritmy na interpretáciu vizuálnych informácií. V súčasnosti sa CNN často kombinujú s technológiami, ako sú techniky extrakcie príznakov (napr. HOG alebo SIFT), aby sa zlepšila presnosť rozpoznávania výrazu tváre. Tieto systémy sú schopné identifikovať a klasifikovať tvárové príznaky aj v náročných podmienkach, ako sú premenlivé svetelné podmienky alebo čiastočné zakrytie tváre.[Huang2023]

4 Návrh riešenia

4.1 Architektúra systému

4.2 Výber dát

4.3 Extrakcia príznakov

4.4 Klasifikácia

4.5 Vyber hyperparametrov

5 Implementácia riešenia

5.1 Výber nástrojov

Programovací jazyk, knižnice (OpenCV, TensorFlow, PyTorch).

5.2 Implementácia jednotlivých komponentov

Podrobný popis implementácie.

5.3 Vizualizácia výsledkov

Vizualizácia výsledkov analýzy. Grafy, tabuľky.

6 Implementácia v ROS2

6.1 Konverzia modelu

Konverzia trénovaného modelu do formátu vhodného pre ROS2.

6.2 Integrácia do robotického systému

Popis integrácie do ROS2, komunikácia s ostatnými modulmi.

7 Experimenty a vyhodnotenie

7.1 Dátová sada

Popis použitého dataset-u (veľkosť, rozdelenie tried, kvalita).

7.2 Metriky

Výber vhodných metrik (presnosť, úplnosť, F1-skóre, ROC krivka).

7.3 Výsledky

Vyhodnotenie výsledkov experimentov. Prehľadné zhrnutie výsledkov, porovnanie s inými prácami.

7.4 Analýza výsledkov

Analýza výsledkov, príčiny chýb, možné zlepšenia.

8 Záver

8.1 Zhodnotenie práce

Zhodnotenie dosiahnutých výsledkov.

8.2 Obmedzenia práce

Obmedzenia práce, možné zlepšenia.

8.3 Budúce smerovanie

Možné smerovanie ďalej práce.

9 Doplnujece poznamky

Literatúra: Pravidelne citujte relevantnú literatúru. Obrázky a diagramy: Používajte obrázky a diagramy na ilustráciu komplexných konceptov. Kód: Ak je to možné, pridajte ukážky kódu. Tabuľky: Používajte tabuľky na porovnanie výsledkov. Táto štruktúra poskytuje komplexný rámec pre vašu prácu. Môžete ju prispôbiť podľa svojich konkrétnych potrieb a zistení.

Záver

Conclusion is going to be where?

Here.

Prílohy

A	Štruktúra elektronického nosiča	16
B	Algoritmus	17
C	Výpis subline	18

A Štruktúra elektronického nosiča

/CHANGELOG.md

- file describing changes made to FEIstyle

/example.tex

- main example *.tex* file for diploma thesis

/example_paper.tex

- example *.tex* file for seminar paper

/Makefile

- simply Makefile – build system

/fei.sublime-project

- is project file with build in Build System for Sublime Text 3

/img

- folder with images

/includes

- files with content

/bibliography.bib

- bibliography file

/attachmentA.tex

- this very file

B Algoritmus

Algoritmus B.1 Vypočítaj $y = x^n$

Require: $n \geq 0 \vee x \neq 0$

Ensure: $y = x^n$

$y \leftarrow 1$

if $n < 0$ **then**

$X \leftarrow 1/x$

$N \leftarrow -n$

else

$X \leftarrow x$

$N \leftarrow n$

end if

while $N \neq 0$ **do**

if N is even **then**

$X \leftarrow X \times X$

$N \leftarrow N/2$

else { N is odd }

$y \leftarrow y \times X$

$N \leftarrow N - 1$

end if

end while

C Výpis sublime

```
../.. ./ fei .sublime-project
```

Výpis C.1: Ukážka sublime-project