



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

**AKCELERACE NEURONOVÉ SÍTĚ PRO DETEKCI OB-
LIČEJE VE ZHORŠENÝCH SVĚTELNÝCH PODMÍNKÁCH**

ACCELERATION OF A NEURAL NETWORK FOR FACE DETECTION IN LOW LIGHT CONDI-
TIONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VOJTĚCH ORAVA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ GOLDMANN

BRNO 2023

Abstrakt

Cílem této práce je vytvořit detektor obličejů v záznamech s důrazem na rychlost a přesnost s využitím technologie neuronových sítí a specializovaného hardwaru pro tyto sítě. Práce obsahuje sumarizaci dosavadních řešení detektorů a navrhuje řešení pro akceleraci detektorů. Toto řešení spočívá v **[[TODO]]**. Navržené řešení bylo implementováno a bylo dosaženo výsledků **[[Výsledky experimentů]]**. Na základě výsledků bylo docíleno **[[zrychlení detekce o XX%]]** Přínosem této práce je hlavně **[[přínos]]**

Abstract

Do tohoto odstavce bude zapsán výtah (abstrakt) práce v anglickém jazyce.

Klíčová slova

Detekce obličeje, akcelerace neuronových sítí, NCS 2, detekce v reálných podmínkách, neuronové sítě, Python, počítačové vidění

Keywords

Face detection, Neural Networks acceleration, NCS 2, detection in real conditions, Neural Networks, Python, Compute Vision

Citace

ORAVA, Vojtěch. *AKCELERACE NEURONOVÉ SÍTĚ PRO DETEKCI OBLIČEJE VE ZHORŠENÝCH SVĚTELNÝCH PODMÍNKÁCH*. Brno, 2023. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Tomáš Goldmann

AKCELERACE NEURONOVÉ SÍTĚ PRO DETEKCI OBLIČEJE VE ZHORŠENÝCH SVĚTELNÝCH PODMÍNKÁCH

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana X... Další informace mi poskytli... Uvedl jsem všechny literární prameny, publikace a další zdroje, ze kterých jsem čerpal.

.....
Vojtěch Orava
6. listopadu 2022

Poděkování

V této sekci je možno uvést poděkování vedoucímu práce a těm, kteří poskytli odbornou pomoc (externí zadavatel, konzultant apod.).

Obsah

1	Úvod	2
2	Kamery a systémy pro detekci obličejů	3
2.1	Kamery	3
2.2	Dostupná řešení	3
3	Detekce obličejů v reálných podmínkách	5
3.1	Detekce obličejů	6
3.2	Problémy a omezení	7
3.3	Detektory obličejů	9
3.4	Detektory zaměřující se na špatné světelné podmínky	12
4	Neuronové sítě pro detekci obličejů	13
4.1	Neuronové sítě	13
4.2	Datasey	13
4.3	Detektory obličejů	13
4.4	Akcelerace detekce	13
5	Implementace algoritmu pro akceleraci detekce obličejů	14
5.1	Použité nástroje	14
5.2	Trénování neuronové sítě	14
5.3	Detekce obličejů natrénovanou sítí	14
6	Porovnání výkonnosti řešení s existujícími detektory	15
6.1	Postup testování	15
6.2	Porovnání výsledků	15
6.3	Shrnutí	15
7	Závěr	16
	Literatura	17
A	Priloha	19

Kapitola 1

Úvod

Neuronové sítě (anglicky neural networks) mají v dnešním světě mnoho využití. Jelikož se jedná o jednu z aplikací umělé inteligence (anglicky artificial intelligence), lze neuronové sítě použít například k rozpoznávání řeči, zpracování přirozeného jazyka či k detekci objektů. Tyto akce jsou pro běžného člověka poměrně snadné, avšak pro počítače znamenají relativně náročnou činnost.

Aby byly počítače schopné tyto akce vykonávat v rozumném čase (případně v reálném čase), je potřeba aby neuronové sítě byly dostatečně rychlé. Tato práce se zabývá akcelerací neuronových sítí v oblasti detekce obličeje. Zrychlení neuronové sítě lze dosáhnout buď optimalizací kódu, lepším trénováním neuronové sítě nebo také využitím speciálních hardwarových zařízení. Jedním z těchto specializovaných zařízení je Intel Neural Compute Stick 2, na něž se v této práci zaměřím.

Následující kapitola se obecně věnuje problematice detekce obličeje v reálných podmínkách s využitím neuronových sítí. Je zde detailně popsáno **[[CO JE DETAILNĚ Popsáno?]]**.

V kapitole ?? je nastíněn návrh akcelerace neuronové sítě pro detekci obličeje. **[[Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.]]**

Kapitola 5 se věnuje implementaci programu ke zrychlení detekce, také obsahuje informace o využitých prostředcích.

Předposlední kapitola (kapitola č.6) poskytuje přehled experimentů a testů provedených s implementovaným řešením a s řešeními již existujícími. Hlavním tématem v této části je porovnání výkonnosti a zobrazení dosažených výsledků.

Kapitola 2

Kamery a systémy pro detekci obličejů

Detekci obličejů s využitím počítačových programů lze provádět nad snímkem (fotografií, obrázkem), sadou snímků, videozáznamem nebo tzv. real–timově pomocí kamer a kamerových systémů. V této kapitole jsou popsány aktuálně využívané prostředky pro vytváření podkladů k detekci obličejů (kamery) a také dostupná řešení zabývající se detekcí, a to jak placené komerční, tak neplacené open-source systémy.

2.1 Kamery

Nezbytnou součástí oboru detekce obličejů jsou kamery a kamerové systémy. Existují kamery specializované k detekci či rozpoznávání obličejů a kamery obyčejné, které pouze zprostředkovávají obraz dále ke zpracování.

Specializované kamery se používají například k zabezpečení objektů nebo jako domovní videozvonky, kdy kamera (respektive její software) v zachyceném obraze detekuje a rozpozná obličej, a následně může vykonat přiřazenou akci (spustit alarm, poslat notifikaci, umožnit osobě vstup...) [9].

Další oblastí, kde se kamery s detekcí a rozpoznáváním obličejů uplatní je bezesporu dohled ve veřejných prostorech (anglicky CCTV surveillance). Detekce obličeje může sloužit k hledání podezřelých osob v záznamech z dohledových kamer. Tyto záznamy jsou shromažďovány na serveru, pomocí detekce jsou z obrazu vyřezány fragmenty s obličejem lidí a poté jsou tyto fragmenty porovnány rozpoznávacím algoritmem s obličejem hledaných osob. Při shodě dochází k informování administrátora systému, který podnikne další kroky [13].

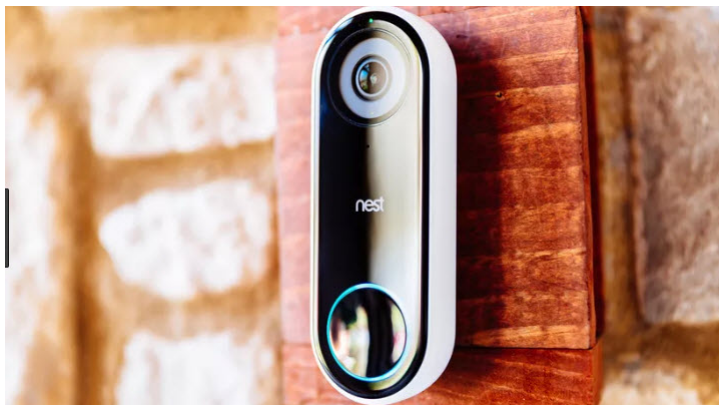
Kamery tedy mají v doméně detekce obličejů nezastupitelnou roli, na jejich praktické využití v systémech a řešení pro detekci se zaměřuje následujících podkapitola.

2.2 Dostupná řešení

Řešení umožňující detekci (a často i rekognici) obličejů lze rozdělit do dvou kategorií: komerční (placené, profesionální) a nekomerční (zdarma, open-source, amatérské). V následujících dvou podkapitolách jsou popsány konkrétní systémy poskytující detekci obličejů s jejich výhodami a nevýhodami.

Komerční

Komerčně využívaná zařízení pro detekci, případně rekognici lze běžně zakoupit a používat ve firemním nebo domácím prostředí. Mezi zástupce těchto zařízení patří například produkty firem Netatmo, Google, Nest [10].



Obrázek 2.1: Nest Hello [10]

Nekomerční

Nekomerční řešení pro detekci obličejů zahrnují frameworky s otevřeným zdrojovým kódem (open-source). Tyto frameworky využívají neuronové sítě, které jsou trénovány pomocí datasetů a následně je framework využit k detekci obličeje [5]. Frameworky TinaFace [2] a MTCNN [1] mají zdrojové kódy volně dostupné na webu GitHub.com.

Kapitola 3

Detekce obličeje v reálných podmínkách

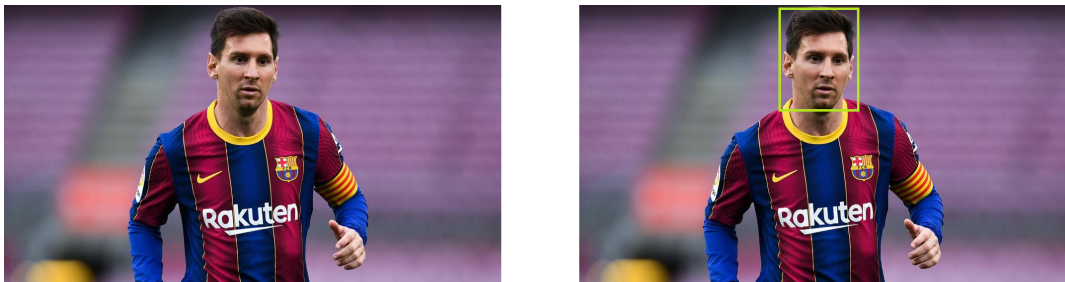
Detekce obličeje (anglicky face detection) [7, 11] je technologie, která umožňuje v digitálním obrázku lokalizovat lidský obličej. Detekce obličeje patří do skupiny technologií HCI (Human–Computer interaction). Detekovat obličej je poměrně jednoduchý úkol pro lidi, ale zároveň se jedná o relativně náročný úkol pro počítače. Detekce obličeje je výchozím bodem pro další algoritmy analyzující lidský obličej, jako je například (v závorce za pojmem následuje anglický překlad):

- rozpoznávání obličeje (face recognition),
- zarovnání obličeje (face alignment),
- ověřování pomocí obličeje (face verification/authentication),
- sledování pohybu hlavy (head pose tracking),
- určování věku nebo pohlaví (age/gender recognition),

a mnoho dalších.

Samotná detekce obličeje se v reálném prostředí využívá například v oblasti fotografování (automatické ostření na tvář), marketingu (zjišťování zájmu zákazníku o produkty podle počtu výskytu obličejů) nebo bezpečnosti (bezpečnostní kamery a systémy).

Následující podkapitoly se zabývají principem fungování detekce obličeje v reálných podmínkách a problémy a omezeními, které se v běžném světě vyskytují a detekce by si s nimi měla umět poradit (špatné světelné podmínky, příliš členité pozadí, přílišný počet obličejů v obrázku, barva kůže, nízké rozlišení atd.). Na konci této kapitoly se nachází popis algoritmů a detektorů, které ke svému fungování nepoužívají přímým způsobem neuronové sítě.



Obrázek 3.1: Příklad detekce obličeje

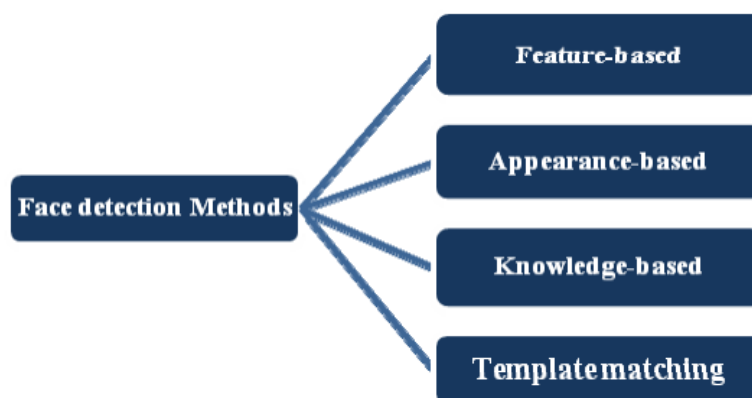
3.1 Detekce obličeje

Detekci obličeje lze rozdělit do několika přístupů, vědecké práce na toto téma se liší a nelze jasně říci zda to či ono dělení je jediné korektní.

Dle [7] existují 2 různé přístupy k hledání tváří v obrázcích, a to **přístup založený na vlastnostech** (anglicky feature based approach) a **přístup založený na obrázku** (anglicky image based approach). **Přístup založený na vlastnostech** nepoužívá přímo k detekci obličeje umělou inteligenci a neuronové sítě. Využívá vlastností obličeje jako takového (rysy, pozice očí, uší, obočí, barvu kůže. . .). Efektivita tohoto přístupu se snižuje s výskyty problémů popsaných v sekci 3.2, protože může docházet například k zakrytí nebo špatné viditelnosti některých vlastností obličeje.

Naproti tomu **obrazový přístup** uplatňuje schopnosti neuronových sítí a umělé inteligence k natrénování modelu neuronové sítě a následné přímé detekci pomocí tohoto modelu.

Podle [12] lze rozdělit metody detekce obličeje do 4 základních kategorií (viz obrázek 3.2) a 2 zvláštních kategorií (Haarovy vlastnosti a umělá inteligence).



Obrázek 3.2: Dělení metod detekce obličeje dle [12]

Feature-based methods (metody založené na vlastnostech) opět pracují s vlastnostmi obličeje. Vyhledávají v obraze rysy obličeje, což může výrazně ztížit či znemožnit neviditelnost některých rysů. Výhodou těchto metod je rychlost v porovnání s ostatními metodami.

Appearance-based methods (metody založené na vzhledu/obrázku) využívají klasifikace vlastností tváře do 2 tříd v podobě obrázku celého obrázku. Klasifikátory podle nichž se daná metoda rozhoduje, zda se jedná o tvář či nikoli, mají různé váhy, metoda postupuje od slabých klasifikátorů k silnějším.

Metody založené na znalostech (**Knowledge-based methods**) se uplatňují při detekci obličeje v obrázku s čelním/komplexním pozadím. Znalosti které k detekci pomáhají jsou například ty, že obličej má 2 uši, jeden nos, jedno ústa nebo vzdálenosti mezi jednotlivými rysy obličeje.

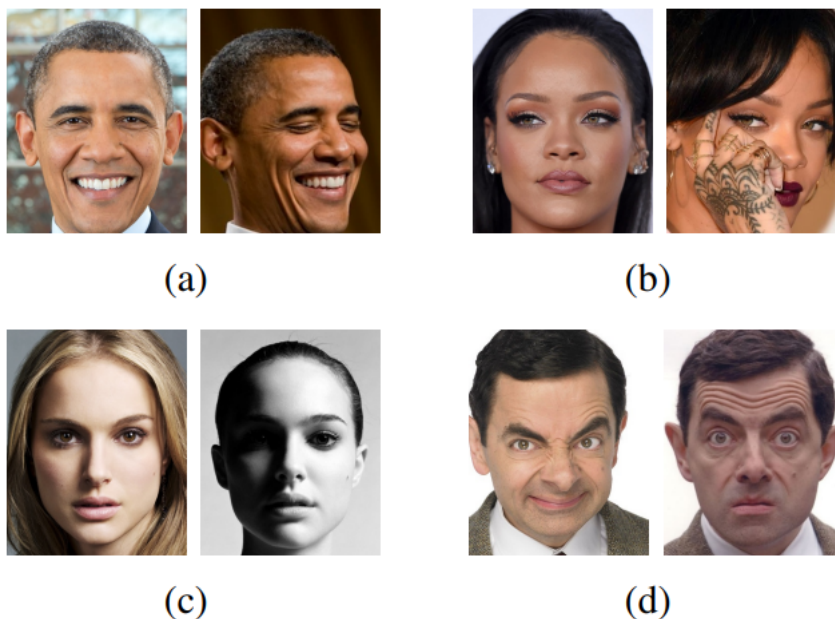
Templatematching (šablonování, maskování) aplikuje na obrázek předem danou masku obličeje a snaží se detekovat obličej pomocí postupného maskování. Tato metoda je snadná na implementaci, jejím nedostatkem je však závislost na přímém pohledu tváře na obrázku.

Haarovy vlastnosti a budou popsány později. Detekce pracující na principu rozpoznávání vlastností v obraze jsou popsány v sekci 3.3, detektory s využitím neuronových sítí popisuje sekce 4.3.

3.2 Problémy a omezení

Algoritmy pro detekci obličejů čelí několika výzvám a omezením spojených s ne vždy perfektním zobrazením obličeje v obrázku. Lidské obličeje na fotografiích a obrázcích mohou být částečně zakryté (např. sluneční brýle), mohou být pořízené za nevhodných světelných podmínek (např. zastínění části tváře) nebo mohou nabývat nedostatečné kvality (nízké rozlišení).

Jelikož tedy vstupní obrázek detekce obličeje nemusí být vždy ideální, nemusí být obličej vždy správně detekován. V této sekci jsou popsány některé problémy [12, 7], které mohou bránit v úspěšné detekci. Minimalizace dopadu těchto jevů na detekci je klíčem k navýšení úspěšnosti detekce. Mezi problémy a omezení (viz obrázek 3.3) pro detekci patří pozice hlavy, zakrytí části/částí obličeje, špatně osvětlená scéna nebo výraz tváře.



Obrázek 3.3: Vybrané problémy při detekci obličejů. Převzato z [11]. (a) Pozice hlavy; (b) Zakrytí části obličeje; (c) Špatné světelné podmínky; (d) Výraz tváře

Pozice hlavy

Hlava může být na fotografii různě natočena, takže obličej nemusí být zachycen v přímém pohledu do kamery, ale může být zaznamenán z profilu nebo ze šikma (poloprofil) jako na obrázku 3.3 část (a).

Zakrytí části obličeje

Výsledek detekce může být ovlivněn i zakrytím části obličeje (rukou, brýlemi, vlasy, šátkem apod.).

Výraz tváře

Výraz lidského obličeje mohou ovlivnit emoce a nálady. Detektor zabývající se detekcí a rozpoznáváním emocí [8] dosahuje přesnosti 96 %.

Orientace obrázku

Problémem pro detekci může být různá orientace obrázku (vzhůru nohama, zrcadlově otočený, natočený do strany apod.). Na obrázek je tak nutno aplikovat některé transformační operace pro zarovnání.

Nedostatečně výkonná detekce

Velmi důležitým faktorem při detekci obličejů, zvláště v real-timových aplikacích, je rychlost detekce. Pokud má algoritmu vysokou účinnost, ale je příliš pomalý pro vybranou aplikaci,

stává se nepoužitelným. Zrychlováním detekčních algoritmů se zabývá několik vědeckých studií.

Příliš členité pozadí

Pokud se v o brázku nachází příliš mnoho objektů, může dojít ke snížení přesnosti a rychlosti detekce.

Přílišný počet obličejů v obrázku

Výskyt velkého počtu obličejů v jednom obrázku, často překrývajících se, může představovat výzvu pro detekční algoritmus.

Nízké rozlišení

Obrázky a fotografie s nízkým rozlišením nemusejí obsahovat dostatek informace nutné ke správnému detekování tváře.

Špatné světelné podmínky

Na detekci mohou mít vliv světelné podmínky panující při pořizování zkoumané fotografie či videa. Aspekty jež světlo ovlivňuje jsou mj. jas, kontrast, barvy, stíny, ostrost. Tato práce se zabývá detekcí obličejů v záznamech, v nichž některý z těchto faktorů omezuje detekci.



Obrázek 3.4: Příklad stejného obličeje vyfoceného při různých světelných podmínkách. Převzato z [12]

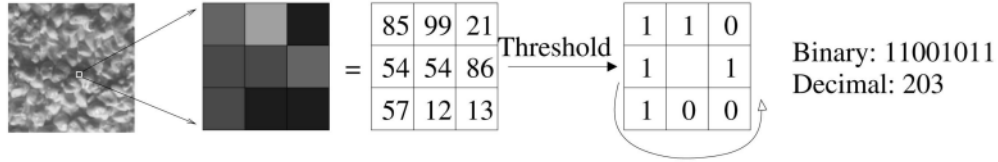
3.3 Detektory obličejů

Existuje několik různých přístupů k detekci obličeje. Tato sekce se zaměřuje na detekci s využitím detektorů nezaložených primárně na neuronových sítích (neuronová síť není použita vůbec, nebo není použita k přímé detekci). Detektory obličeje využívající principy neuronových sítí k přímé detekci budou popsány v další kapitole.

Local Binary Patterns

Algoritmus využívající **lokální binární vzory** (anglicky Local Binary Patterns – dále jen LBP) pro popis struktury/textury obrázku má mnoho aplikací [3]. Jedná se o jeden z nejvýkonnějších algoritmů pro popis textur v obrazech. LBP algoritmus má vysokou účinnost detekce (89 %) [6] a nízkou výpočetní náročnost. LBP pracuje s černobílými (anglicky gray-scale) obrázky a v originální verzi funguje tak, že každému pixelu přiřadí binární číselnou

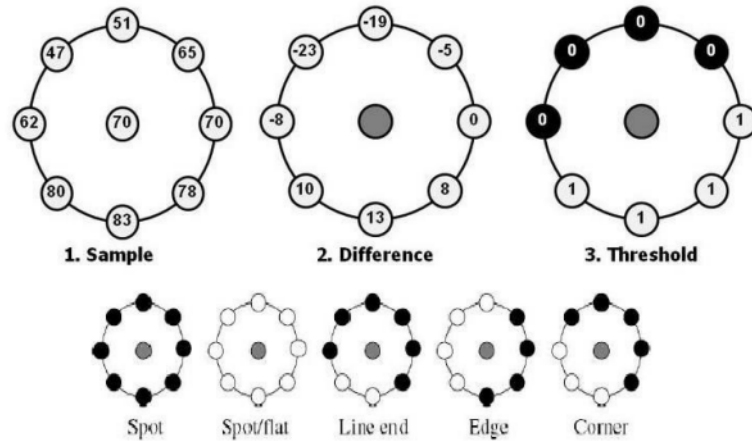
hodnotu, vypočítanou dle hodnot pixelů v 3×3 okolí daného pixelu. Každý tento pixel v okolí je ohodnocen buď 1 nebo 0 v závislosti na tom, zda jeho hodnota překročila stanovený práh (anglicky threshold), kterým je hodnota prostředního pixelu (obrázek 3.5).



Obrázek 3.5: Ukázka ohodnocení pixelu algoritmem LBP. Převzato z [3]

Algoritmus byl později vylepšen tak, aby uměl pracovat s různě velkým okolím, které navíc nemusí mít čtvercový tvar. Používané okolí ve tvaru kružnice je popsáno dvojicí (P, R) , kde P je počet vzorkovacích bodů a R je poloměr kružnice. Další vylepšení LBP algoritmu se týkalo definování tzv. uniformních vzorů (anglicky uniform patterns). Tyto vzory jsou ty vzory v nichž se vyskytují nejvýše 2 přechody z 1 na 0 a opačně. Příkladem uniformního vzoru na okolí $(8, 2)$ je 11100000 (1 přechod), či 00111000 (2 přechody).

Lokální primitiva (obrázek 3.6) a histogramy vytvořené z takto získaných hodnot se využívají například k detekci obličejů.



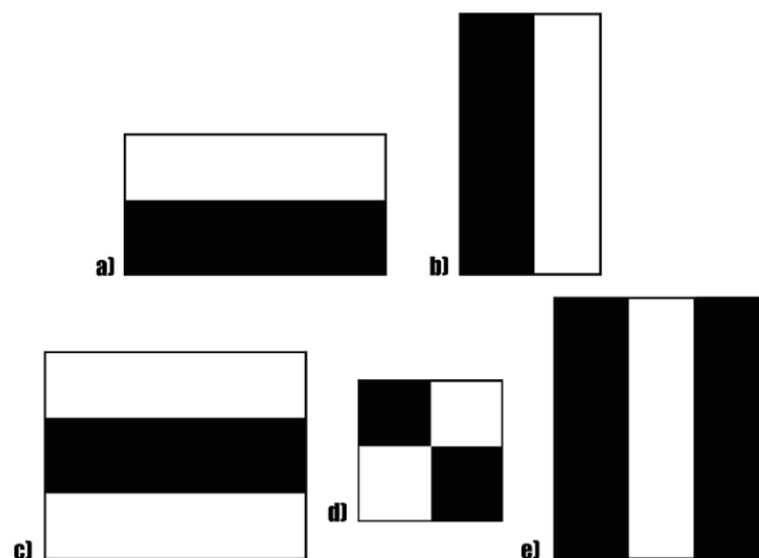
Obrázek 3.6: Lokální primitiva detekované algoritmem LBP. Převzato z [6]

Viola–Jones algoritmus

Algoritmus **Viola–Jones** [4, 14], někdy také nazývaný **Haar Cascades**, je obecně technika pro detekci objektů, vytvořená před vynalezením metody hlubokého učení. Používá se k detekci obličejů, částí těla, očí, úst atd. Dosahuje přesnosti detekce kolem 90 % [14].

Princip fungování algoritmu spočívá v detekci hran a čar (obecně vlastností) v černo-bílém obrázku (hodnoty pixelů jsou na intervalu $< 0; 1 >$). Vybere se jedna z vlastností (některé z nich zobrazuje obrázek 3.7) a vypočítá se průměrná hodnota pixelů ve všech obdélnících (obdélníky jsou dva, tři nebo čtyři). Rozdíl těchto hodnot pak určuje zda se

jedná o hranu, čáru tzn. zda je daná vlastnost detekována. Pokud například budeme hledat vlastnost *b*) z obrázku 3.7 a vypočtený rozdíl hodnot je blízký 1, detekce byla úspěšná (viz ukázka v obrázku 3.8).



Obrázek 3.7: Haarovy vlastnosti. Převzato z [4] a) horizontální hrana; b) horizontální hrana; c) horizontální čára d) diagonála e) vertikální čára

0.1	0.2	0.2	0.4	0.2	0.4
0.1	0.8	0.7	0	0.1	1
0.3	1	0.6	0.2	0	0.4
0.5	0.7	0.9	0.1	0	0.5
0.7	1	1	0.1	0.3	0.6
0.2	0.3	0.7	0.4	0.5	1

Suma pixelů v černém obdélníku =
 $0.8 + 0.7 + 1 + 0.6 + 0.7 + 0.9 + 1 + 1$
 $= 6.7$

Suma pixelů v červeném obdélníku =
 $0 + 0.1 + 0.2 + 0 + 0.1 + 0 + 0.1 + 0.3$
 $= 0.8$

Průměrná hodnota v černém obdélníku =
 $6.7 / 8 = 0.8375$

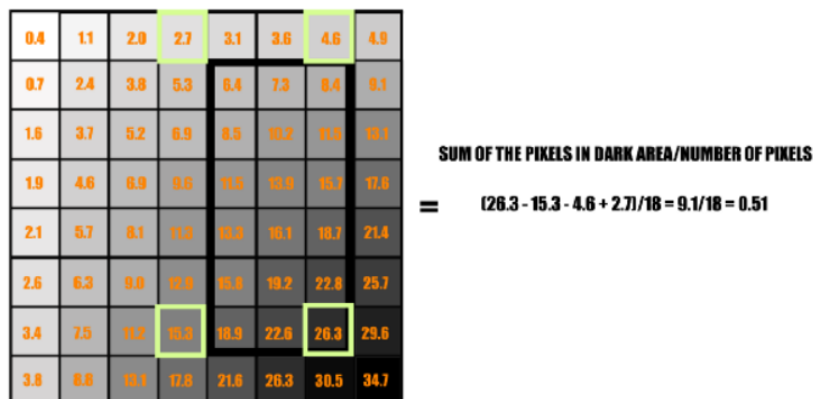
Průměrná hodnota v červeném obdélníku =
 $0.8 / 8 = 0.1$

$0.8375 - 0.1 = 0.7375$
DETEKOVÁNA HRANA

Obrázek 3.8: Příklad výpočtu detekce hrany dle vlastnosti b) z obrázku 3.7. Bílý obdélník je nahrazen červeným pro lepší viditelnost.

Algoritmus postupně prochází celý obrázek a hledá výskyt některé z vlastností. Toto procházení u obrázků s velkým počtem znamená enormní výpočetní nároky, protože je potřeba vždy počítat s hodnotami všech dotčených pixelů. Proto Viola a Jones [14] navrhli vylepšení nazvané anglicky **Integral Image**. To spočívá v tom, že všechny pixely stačí projít

pouze 1x, a každý tento pixel lze ohodnotit sumou hodnot pixelů směrem nalevo a nahoru (důsledkem je, že pixel s nejnižším ohodnocením se nachází v levém horním rohu a pixel s nejvyšším ohodnocením v pravém dolním rohu). Následný výpočet průměrné hodnoty ukazuje obrázek 3.9.



Obrázek 3.9: Ukázka výpočtu hodnoty obdélníku v Haarově vlastnosti za pomoci vylepšení Integral Image. Převzato z [4].

Jelikož Haarových vlastností může být velké množství, bylo vybráno 6000 nejvíce vyhovujících, které se k detekci obličejů používají. Detekce je rozdělena na několik etap, v každé etapě je vyhledáván v části obrázku výskyt několika vlastností (počet s každou etapou roste), pokud se vyhledání nezdaří, není již dále daná část obrázku prohledávána.

3.4 Detektory zaměřující se na špatné světlené podmínky

Tématem této práce je detekce obličejů ve špatných světelných podmínkách. Detekci za těchto okolností se zabývala řada prací a bylo vytvořeno několik detektorů [?]. V této sekci jsou popsány metody a algoritmy zabírající se touto problematikou, včetně jejich úspěšnosti detekce při stanovených podmínkách.

Kapitola 4

Neuronové sítě pro detekci obličeje

4.1 Neuronové sítě

Model neuronu

Aktivační funkce

4.2 Datasety

4.3 Detektory obličeje

Detektory zaměřující se na špatné světlené podmínky

4.4 Akcelerace detekce

Intel Neural Compute Stick 2

Kapitola 5

Implementace algoritmu pro akceleraci detekce obličeje

5.1 Použité nástroje

5.2 Trénování neuronové sítě

5.3 Detekce obličejů natrénovanou sítí

Kapitola 6

Porovnání výkonnosti řešení s existujícími detektory

6.1 Postup testování

6.2 Porovnání výsledků

6.3 Shrnutí

Kapitola 7

Závěr

Literatura

- [1] *MTCNN* [online]. [cit. 2022-10-19]. Dostupné z: <https://github.com/ipazc/mtcnn>.
- [2] *TinaFace: Strong but Simple Baseline for Face Detection* [online]. [cit. 2022-10-19]. Dostupné z: <https://github.com/Media-Smart/vedadet/tree/main/configs/trainval/tinaface>.
- [3] AHONEN, T., HADID, A. a PIETIKAINEN, M. Face Description with Local Binary Patterns: Application to Face Recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2006, sv. 28, č. 12, s. 2037–2041. DOI: 10.1109/TPAMI.2006.244.
- [4] BEHERA, G. S. *Face Detection with Haar Cascade* [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <https://www.aitimejournal.com/@alessandro.eric.russo/best-wifi-security-cameras-with-face-recognitionhttps://towardsdatascience.com/face-detection-with-haar-cascade-727f68dafd08>.
- [5] DAVID WANYONYI, T. C. Open-Source Face Recognition Frameworks: A Review of the Landscape. Květen 2022, sv. 10. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3170037. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9762647>.
- [6] KADIR, K., KAMARUDDIN, M. K., NASIR, H., SAFIE, S. I. a BAKTI, Z. A. K. A comparative study between LBP and Haar-like features for Face Detection using OpenCV. In: *2014 4th International Conference on Engineering Technology and Technopreneuship (ICE2T)*. 2014, s. 335–339. DOI: 10.1109/ICE2T.2014.7006273.
- [7] KUMAR, A., KAUR, A. a KUMAR, M. Face detection techniques: a review. *Artificial Intelligence Review*. Aug 2019, sv. 52, č. 2, s. 927–948. DOI: 10.1007/s10462-018-9650-2. ISSN 1573-7462. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10462-018-9650-2>.
- [8] MEHENDALE, N. Facial emotion recognition using convolutional neural networks (FERC). *SN Applied Sciences*. Feb 2020, sv. 2, č. 3, s. 446. DOI: 10.1007/s42452-020-2234-1. ISSN 2523-3971. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2234-1>.
- [9] RUSSO, A. E. *Are Face Recognition Security Cameras Worth It?* [online]. [cit. 2022-10-18]. Dostupné z: <https://www.aitimejournal.com/@alessandro.eric.russo/are-face-recognition-security-cameras-worth-it>.
- [10] RUSSO, A. E. *Best Home Security Cameras with Face Recognition* [online]. [cit. 2022-10-18]. Dostupné z: <https://www.aitimejournal.com/@alessandro.eric.russo/best-wifi-security-cameras-with-face-recognition>.

- [11] SAEZ-TRIGUEROS, D., MENG, L. a HARTNETT, M. Face Recognition: From Traditional to Deep Learning Methods. *CoRR*. 2018, abs/1811.00116. Dostupné z: <http://arxiv.org/abs/1811.00116>.
- [12] SHARIFARA, A., MOHD RAHIM, M. S. a ANISI, Y. A general review of human face detection including a study of neural networks and Haar feature-based cascade classifier in face detection. In: *2014 International Symposium on Biometrics and Security Technologies (ISBAST)*. 2014, s. 73–78. DOI: 10.1109/ISBAST.2014.7013097.
- [13] V D, A. K., KUMAR, V., SUBRAMANIAN, M., VENGATESAN, K. a RAMAKRISHNAN, M. Facial Recognition System for Suspect Identification Using a Surveillance Camera. *Pattern Recognition and Image Analysis*. Červenec 2018, sv. 28, s. 410–420. DOI: 10.1134/S1054661818030136.
- [14] VIOLA, P. a JONES, M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In: *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001*. 2001, sv. 1, s. I–I. DOI: 10.1109/CVPR.2001.990517.

Příloha A

Priloha