



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

AUTOMATICKÁ REGULACE VELIKOSTI PÍSMO PODLE VZDÁLENOSTI ČTENÁŘE

FONT SIZE ADJUSTMENT BASED ON DISTANCE DETECTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

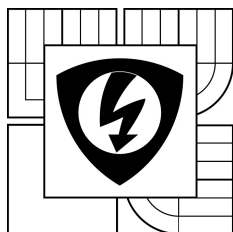
Bc. Robert Brunclík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Oto Janoušek, Ph.D.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Biomedicínské a ekologické inženýrství

Student: Bc. Robert Brunclík

Ročník: 2

ID: 171462

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Automatická regulace velikosti písma podle vzdálenosti čtenáře

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Nastudujte problematiku detekce obličeje ve videosekvenci. 2) Navrhněte způsob odhadu vzdálenosti uživatele od kamery, založený na vyhodnocení parametrů detekovaného obličeje. Preferujte řešení pracující v reálném čase. 3) Navrhněte způsob regulace velikosti písma podle vzdálenosti uživatele tak, aby bylo čitelné nezávisle na vzdálenosti čtenáře. 4) V programovém prostředí Matlab vytvořte aplikaci se vzorovým textem, jehož velikost písma se bude v reálném čase adaptovat podle vzdálenosti čtenáře od kamery. 5) Ověřte funkčnost aplikace na skupině alespoň deseti dobrovolníků. 6) Proveďte diskuzi získaných výsledků a na jejich základě vytvořte doporučení pro zajištění optimálních podmínek snímání videosekvence.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] VIOLA, Paul a Michael J. JONES. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. Proceedings of the 2001 IEEE Computer society conference on computer vision and pattern recognition. 2001, (1): 511-518.

[2] LI, S. a Anil K. JAIN. Handbook of face recognition. 2nd ed. New York: Springer, 2011, 699 s. ISBN 978-085-7299-314.

Termín zadání: 8. 2. 2016

Termín odevzdání: 20. 5. 2016

Vedoucí práce: Ing. Oto Janoušek, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá automatickou regulací velikosti písma podle vzdálenosti čtenáře. Obsahuje teoretické seznámení s detekcí obličeje a následné sledování detekované oblasti v průběhu scény. Dále je zde uvedeno srovnání sledovacích algoritmů. Je zde popsán výpočet vzdálenosti uživatele na základě kalibrace a na bázi výsledku dochází k automatické korekci velikosti písma.

Součástí diplomové práce je popis samostatné aplikace *Automatický regulátor velikosti textu*, s doporučenými možnostmi nastavení programu.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Detekce obličeje, sledování obličeje, Viola – Jones detektor, CAMShift algoritmus, KLT algoritmus, Kalibrace, Automatický regulátor velikosti textu

ABSTRACT

The thesis deals with automatic control the font size by the distance from the reader. It includes theoretical acquaintance with the face detection and subsequent tracking of the detected area during the scene. Furthermore, there is a comparison of the tracking algorithms. Then the calculation of distance is described. It is based on the user's calibration and based on the outcome occurs the font size is automatically corrected.

There is also a description of a separate application *Automatical controller of the text size*, with the recommended settings of the program.

KEY WORDS:

Face detection, face tracking, Viola - Jones detector, CAMShift algorithm, KLT algorithm, Calibration, Automatical controller of the text size

Bibliografická citace práce:

BRUNCLÍK, R. Automatická regulace písma podle vzdálenosti čtenáře. Diplomová práce. Brno: Ústav biomedicínského inženýrství FEKT VUT v Brně, 2016, 66 stran.

Prohlášení

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 20. května 2016

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Otovi Janouškovi, Ph.D. za vstřícnost při konzultacích, ochotu pomoci při řešení dílčích úkolů a za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne 20. května 2016

.....
podpis autora

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	VII
SEZNAM TABULEK	IX
1 ÚVOD.....	1
2 DETEKCE OBLIČEJE	2
2.1 VIOLA JONES.....	2
2.2 INTEGRÁLNÍ OBRAZ	2
2.3 HAAROVY FILTRY	3
2.4 KLASIFIKACE	4
2.5 TRÉNOVÁNÍ	5
3 SLEDOVÁNÍ OBLIČEJE	6
3.1 DETEKCE OBLIČEJE A SLEDOVÁNÍ POMOCÍ CAMSHIFT ALGORITMU	6
3.1.1 DETEKCE TVÁŘE PRO SLEDOVÁNÍ	6
3.1.2 IDENTIFIKACE ZNAKŮ V OBLIČEJI.....	6
3.1.3 SLEDOVÁNÍ OBLIČEJE	6
3.1.4 VÝVOJOVÝ DIAGRAM CAMSHIFT ALGORITMU	7
3.2 DETEKCE OBLIČEJE A SLEDOVÁNÍ POMOCÍ KLT ALGORITMU	8
3.2.1 DETEKCE TVÁŘE PRO SLEDOVÁNÍ	8
3.2.2 IDENTIFIKACE CHARAKTERISTICKÝCH RYSŮ VE TVÁŘI.....	8
3.2.3 SLEDOVÁNÍ OBLIČEJE	8
3.2.4 VYUŽITÍ U ŽIVÉHO VIDEO	9
3.2.5 VÝVOJOVÝ DIAGRAM KLT ALGORITMU.....	10
4 VÝPOČET OBSAHU PLOCHY DETEKOVANÉHO OBLIČEJE.....	11
5 SROVNÁNÍ SLEDOVACÍCH ALGORITMŮ	12
5.1 POPIS GUI	12
5.2 VLIV OSVĚTLENÍ	13
5.2.1 PŘIROZENÉ OSVĚTLENÍ	13
5.2.2 UMĚLÉ OSVĚTLENÍ.....	16
5.3 ZMĚNA VZDÁLENOSTI DETEKOVANÉ ČÁSTI OBLIČEJE.....	18
5.4 NATOČENÍ HLAVY	20
5.5 ZAKRYTÍ ČÁSTI OBLIČEJE	23
5.6 SHRNTÍ.....	24

6 URČENÍ VZDÁLENOSTI UŽIVATELE OD KAMERY	25
6.1 POSTUP PŘI KALIBRACI	25
6.2 PROVEDENÍ KALIBRACE	26
6.3 VÝSLEDEK KALIBRACE.....	27
6.4 VÝPOČET VZDÁLENOSTI UŽIVATELE OD KAMERY	28
6.5 REGULACE VELIKOSTI PÍSMO	28
7 APLIKACE – AUTOMATICKÝ REGULÁTOR VELIKOSTI TEXTU.....	31
7.1 VÝVOJOVÝ DIAGRAM PROGRAMU	33
7.2 REŽIM SPUŠTĚNÍ.....	34
7.3 REŽIM MENU.....	35
7.3.1 TLAČÍTKO NASTAVENÍ	36
7.3.2 TLAČÍTKO TISK KALIBRAČNÍHO ČTVERCE	37
7.4 REŽIM KALIBRACE.....	37
7.4.1 VÝVOJOVÝ DIAGRAM KALIBRACE	38
7.4.2 POSTUP KALIBRACE	39
7.5 REŽIM ÚPRAVA VELIKOSTI TEXTU.....	42
8 TESTOVÁNÍ FUNKČNOSTI APLIKACE.....	45
8.1 VÝSLEDKY TESTOVÁNÍ	46
8.2 LIMITACE APLIKACE	47
8.2.1 NATOČENÍ DETEKOVANÉ OBLASTI	47
8.2.2 ŠPATNÁ DETEKCE OBLASTI OČÍ	48
8.2.3 ODCHYLKA VZDÁLENOSTI VYPOČTENÉ APLIKACÍ OD SKUTEČNÉ VZDÁLENOSTI.....	48
8.2.4 CHYBNÁ AUTOMATICKÁ DETEKCE KALIBRAČNÍHO ČTVERCE PŘI POSTUPU KALIBRACE	49
9 DOPORUČENÉ NASTAVENÍ APLIKACE.....	50
10 ZÁVĚR.....	51
POUŽITÁ LITERATURA	52
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK.....	54
PŘÍLOHA	55
SEZNAM OBSAHU PŘILOŽENÉHO DVD	55

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Výpočet pro jasové hodnoty v obdélníku D. Převzato z [1].</i>	3
<i>Obr. 2. Základní typy Haarových filtrů, A horizontální (hranový) filtr, B vertikální (hranový) filtr, C trojnásobný (čárový) filtr, D čtyřnásobný (diagonální) filtr. Převzato z [1].</i>	4
<i>Obr. 3. Klasifikační schéma. Převzato z [3].</i>	4
<i>Obr. 4. Vývojový diagram algoritmu CAMShift.</i>	7
<i>Obr. 5. Vývojový diagram algoritmu KLT</i>	10
<i>Obr. 6. Srovnání sledovacích algoritmů</i>	12
<i>Obr. 7. Graf sledování KLT algoritmem za přirozeného osvětlení</i>	14
<i>Obr. 8. Sledování obličeje KLT algoritmem při přirozeném osvětlení</i>	14
<i>Obr. 9. Graf sledování CAMShift algoritmem při přirozeném osvětlení</i>	15
<i>Obr. 10. Sledování obličeje CAMShift algoritmem při přirozeném osvětlení</i>	15
<i>Obr. 11. Graf sledování KLT algoritmem při umělého osvětlení</i>	16
<i>Obr. 12. Sledování obličeje KLT algoritmem při umělém osvětlení</i>	17
<i>Obr. 13. Graf sledování CAMShift algoritmem při umělém osvětlení</i>	17
<i>Obr. 14. Sledování obličeje CAMShift algoritmem při umělém osvětlení</i>	18
<i>Obr. 15. Graf sledování změny vzdálenosti u KLT algoritmu</i>	19
<i>Obr. 16. Změna vzdálenosti u KLT algoritmu</i>	19
<i>Obr. 17. Graf sledování změny vzdálenosti u CAMShift algoritmu</i>	20
<i>Obr. 18. Změna vzdálenosti u CAMShift algoritmu</i>	20
<i>Obr. 19. Graf průběhu natočení hlavy u KLT algoritmu</i>	21
<i>Obr. 20. Průběh natočení hlavy u KLT algoritmu</i>	21
<i>Obr. 21. Graf průběhu natočení hlavy u CAMShift algoritmu</i>	22
<i>Obr. 22. Průběh natočení hlavy u CAMShift algoritmu</i>	22
<i>Obr. 23. Zakrytí části obličeje</i>	23
<i>Obr. 24. Kalibrační schéma</i>	25
<i>Obr. 25. Kalibrační čtverec</i>	26
<i>Obr. 26. Závislost velikosti konstantní délky (10cm) na vzdálenost od kamery</i>	27

<i>Obr. 27. Ukázka aplikace.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 28. Vývojový diagram program</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 29. Režim snímání - první varianta.....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 30. Režim snímání - druhá varianta.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 31. Tlačítko Menu</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 32. Nastavení programu.....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 33. Vývojový diagram kalibrace</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 34. Ukázka kalibrace 1.</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 35. Ukázka kalibrace 2.</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 36. Ukázka kalibrace 3.</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 37. Ukázka kalibrace 4.</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 38. Konec kalibrace</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 39. Výsledek kalibrace</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 40. Režim úprava velikosti textu 1.</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 41. Režim úprava velikosti textu 2.</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 42. Režim úprava velikosti textu 3.</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 43. Natočení detekované oblasti</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 44. Špatná detekce oblasti očí.....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 45. Chybná automatická detekce kalibračního čtverce</i>	<i>49</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1. Srovnání detektorů</i>	<i>24</i>
<i>Tabulka 2. Regulační tabulka.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabulka 3. Nastavení velikosti písma</i>	<i>30</i>
<i>Tabulka 4. Testování aplikace.....</i>	<i>46</i>

1 ÚVOD

Detekce obličeje a jeho jednotlivých oblastí (zahrnuty jsou zde oči, nos, ústa atd.) nachází uplatnění v mnoha aplikacích číslicového zpracování a analýzy obrazu. Může zde být zařazena biometrickou identifikaci člověka, která se může využívat například v kriminalistice nebo může pomoci s rozpoznáním emočních stavů u detekované osoby. Díky rozvoji informačních technologií v současné době lze pro tuto problematiku nalézt uplatnění v počítačích, mobilních telefonech, tabletech i vestavěných systémech, které mají zabudované, nebo mají možnost externě připojit snímací zařízení.

Obecně lze aplikace detekce obličeje rozdělit do dvou kategorií v závislosti na typu zpracovávaných dat. Buďto se jedná o statické obrazy nebo video-sekvence, přičemž u obou je přístup k detekci podobný. V případě video-sekvence je první snímek uvažován jako statický obraz, v němž je provedena počáteční detekce tváře a jejích jednotlivých částí, a následně jsou využity algoritmy odhadu pohybu.

Náplní této práce je vytvořit program, který dokáže rozpoznat vzdálenost čtenáře od kamery a na základě detekované vzdálenosti volit automaticky velikost písma podle potřeby. Díky určení vzdálenosti a následnému nastavení velikosti písma je možné usnadnit čtení textů čtenářům pohybujícím se v prostoru. Není potřeba se tedy zabývat úpravou velikosti písma, vše je provedeno automaticky. Je docíleno zkrácení doby nastavení velikosti textu na čtecím zařízení.

V prvních dvou kapitolách této práce je čtenář seznámen s problematikou detekce obličeje ve videosekvenci. Je zde popsán algoritmus detekce obličeje, jeho princip a také jsou vysvětleny principy dvou přístupů k detekci a následnému sledování obličeje.

Ve třetí kapitole je popsáno, jak byl spočítán obsah plochy v detekované oblasti obličeje. Hodnotu obsahu plochy pak využijeme pro objektivní hodnocení sledovacích algoritmů.

Čtvrtá kapitola se zabývá hodnocením stability detekce obličeje a schopnosti sledovat obličej pohybující se ve scéně bez ztráty či chybné detekce. Pro hodnocení kritérií je v programovacím jazyce Matlab vytvořena aplikace k praktickému ověření detekční schopnosti. Výsledek je stanoven na základě objektivního měření a testování.

Pátá kapitola je věnována návrhu odhadu vzdálenosti od kamery na základě předešlého vyhodnocení. Nakonec je zmíněn návrh volby velikosti písma podle vzdálenosti uživatele tak, aby bylo čitelné nezávisle na vzdálenosti čtenáře.

V šesté kapitole je podrobně popsán vytvořený program, pojmenovaný Automatický regulátor textu. Součástí popisu je i návod k použití.

V posledních dvou kapitolách je aplikace otestována a popsané doporučené nastavení aplikace pro správný chod programu.

2 DETEKCE OBLIČEJE

2.1 Viola Jones

Pro detekci obličeje je využíván detektor Viola-Jones, který je zařazen do skupiny metod založených na vzhledu [3]. Jedná se o detektor objektů pracující s šedo-tónovými obrazy (popř. jasovou složkou obrazu), který se skládá ze tří základních částí: vypočtení integrálního obrazu, určení Haarových příznaků a klasifikačního algoritmu AdaBoost. Mezi výhody tohoto detektoru patří rychlost, dostatečná spolehlivost a značná nezávislost na osvětlení a rozměrech sledovaného objektu [2].

Princip algoritmu je založen na výpočtu informativních příznaků, na základě kterých je rozhodnuto, jestli se objekt nachází v obraze či nikoliv. Zde jsou využívány příznaky jako odezva na Haarovy filtry. Nalezení konkrétních Haarových filtrů, za jejichž pomoci jsou příznaky vypočteny, je nazýván procesem trénování.

Postup detekce obecného objektu je založen na principu, že je vybrán sub-obraz ze vstupního obrazu. Dále jsou vypočteny příznaky a vybraný sub-obraz je následně označen za hledaný objekt nebo jako pozadí. Celý proces je opakován, jsou vybrány další subobrazy, které se neustále třídí.

Proces je ukončen po prohledání celého vstupního obrazu. Velikost vybraného subobrazu souhlasí s velikostí objektu ve vstupním obraze. Pokud chceme v obraze objekt o obecném rozměru, musíme několikrát změnit rozměr subobrazu - detektoru [3].

2.2 Integrální obraz

U detektoru Viola Jones pro výpočet příznaků je zaveden, pro zlepšení efektivity, tzv. integrální obraz. Integrální obraz byl rovněž zaveden z důvodu, aby se nemusela počítat suma jasových hodnot pro každý filtr (snížení výpočetní náročnosti). Představuje tedy reprezentaci vstupního obrazu, v níž jsou jasové hodnoty jednotlivých pixelů kumulativně sečteny v řádcích a sloupcích. Tato skutečnost je vyjádřena rovnicemi [1][4].

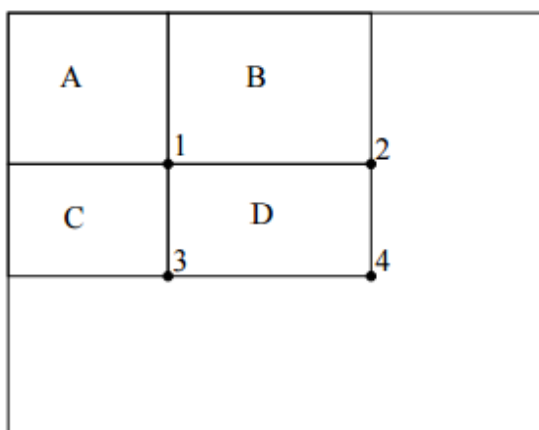
$$\begin{aligned} s(x, y) &= s(x, y - 1) + i(x, y), \\ ii(x, y) &= ii(x - 1, y) + s(x, y), \end{aligned} \tag{2.1}$$

kde $s(x, y)$ je kumulovaný součet jasových hodnot v řádku a $i(x, y)$ jsou hodnoty původního vstupního obrazu. Výsledný integrální obraz je reprezentován hodnotou $ii(x, y)$. Na pozici x, y v integrálním obraze je součet všech jasových hodnot původního obrazu od pozice x, y k levému

hornímu rohu obrazu. Pro výpočet hodnot v obdélníku D, nám postačí znát hodnoty ležící v rozích obdélníka D. Viz Obr. 1.

Hodnota integrálního obrazu na pozici 1 je suma hodnot v obdélníku A, 2 je suma hodnot z A+B, 3 je suma hodnot A+C [4].

Suma v D může být vypočtena jako $4 + 1 - (2 + 3)$ [1].

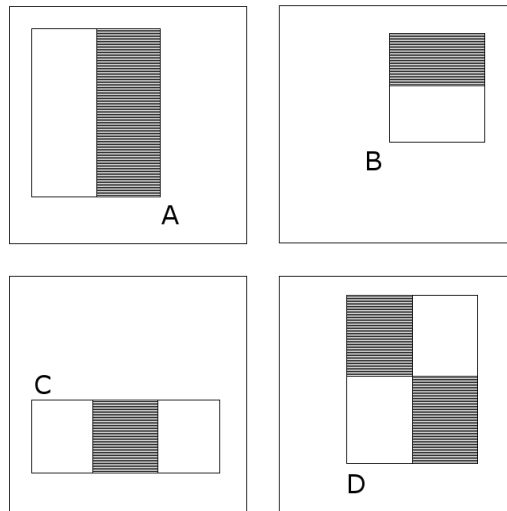


Obr. 1. Výpočet pro jasové hodnoty v obdélníku D. Převzato z [1].

2.3 Haarovy filtry

Haarovy filtry jsou plošné detektory charakteristických rysů daného objektu. Mezi Haarovy filtry patří mnoho variant. Základní sada je vyobrazena na Obr. 2. Existují i složitější Haarovy filtry, díky jejichž využití jsme schopni detekovat objekty v obecnějších podmínkách a polohách. Odezvou u zmíněného filtru je příznak. Je to číslo, které udává výsledek rozdílu sum jasových hodnot, pod světlou a tmavou částí Haarova filtru, viz Obr. 2.

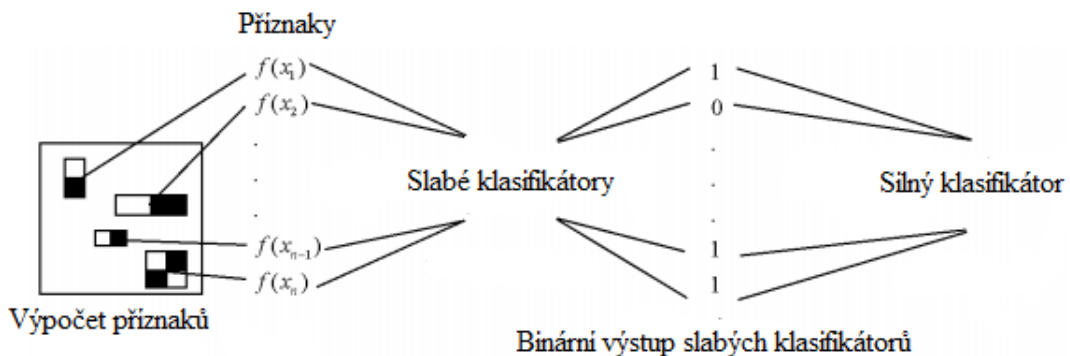
Ve zvoleném sub-obrazu je vypočteno mnoho odezev, na jejichž základě je vlastně rozhodnuto o přítomnosti námi hledaného objektu, tedy přítomnosti tváře. [3].



Obr. 2. Základní typy Haarových filtrů, A horizontální (hranový) filtr, B vertikální (hranový) filtr, C trojnásobný (čárový) filtr, D čtyřnásobný (diagonální) filtr. Převzato z [1].

2.4 Klasifikace

Detekce spočívá ve výpočtu informativních příznaků, díky jejich pomoci je možné rozlišit tvář od pozadí s úspěšností 50 %. Klasifikátor, kde jsou využity informativní příznaky, je nazýván jako slabý klasifikátor. Při využití více slabých klasifikátorů může být docíleno vysoké klasifikační schopnosti. Spojením slabých klasifikátorů (jejich zvažováním) jsou získány silné klasifikátory. Zobrazeno na Obr. 3.



Obr. 3. Klasifikační schéma. Převzato z [3].

U detektoru Viola – Jones se využívá kaskády silných klasifikátorů. Pro každý klasifikátor jsou typické jiné klasifikační schopnosti, jelikož využívá rozdílné slabé klasifikátory s rozdílnými příznaky. Kaskáda je využita pro úsporu času. První klasifikátor v kaskádě zamítne ty subobrazy, ve kterých se nenachází obraz. Následně další klasifikátory ohledávají pouze subobrazy, které ještě nebyly vyřazeny jako pozadí. Na závěr po průchodu kaskádou klasifikátorů zbyde subobraz (hledaná oblast zájmu) - detekovaný obličej [4].

2.5 Trénování

Trénovací algoritmy využíváme k určení klasifikátorů, které jsou použity pro členění. U algoritmu Viola – Jones je přímo využito konkrétních informativních příznaků (pozice a rozměr Haarova filtru) a prahové hodnoty a váhy slabých klasifikátorů. K trénování je využit algoritmus AdaBoost [3].

AdaBoost je klasifikační algoritmus, který vychází z metody strojového učení zvaného boosting. Pro učení u zmíněného algoritmu jsou využívány slabé klasifikátory, které jsou vybírány z určité množiny klasifikátorů. Následnou lineární kombinací slabých klasifikátorů vzniká nelineární silný klasifikátor [2].

Aby bylo možné algoritmus natrénovat, je nutná trénovací databáze vstupních obrazů, kde jsou obsaženy tisíce obrazů obsahujících obličeje. Obrazy obsahující obličeje jsou označeny jako pozitivní obrazy. Dále databáze obsahuje tisíce obrazů pozadí, které jsou označeny jako negativní obrazy. AdaBoost vybírá jednotlivé informativní příznaky podle toho, jakou mají chybovost při klasifikaci obrazů z trénovací databáze [3].

V případě této práce je využíván detektor Viola – Jones, který byl natrénován na detekci obličeje a jenž je implementován v programovém prostředí Matlab.

3 SLEDOVÁNÍ OBLIČEJE

Pro sledování obličeje ve videosekvenci se využívají dva druhy algoritmů CAMShift algoritmus a KLT algoritmus.

3.1 Detekce obličeje a sledování pomocí CAMShift algoritmu

Popis CAMShift algoritmu je pro lepší porozumění nejprve rozdělen do samostatných třech oddílů (detekce tváře pro sledování, identifikace znaků v obličeji, sledování obličeje) a následně je sestaven vývojový diagram CAMShift algoritmu.

3.1.1 Detekce tváře pro sledování

Před zahájením sledování obličeje je nejdříve provedena detekce obličeje. K detekci obličeje ve videosnímku využíváme detektor Viola – Jones, který je popsán v předcházející kapitole. Dojde k vytvoření ohraničeného rámečku (čtýřúhelníku) okolo detekovaného obličeje. Kaskáda je zde využita pro sledování několika po sobě jdoucích snímků videa. V případě k naklonění obličeje, nebo pokud osoba otočí hlavou, může vést až ke ztrátě sledování. Algoritmus při implementaci není moc stabilní. Provádění detekce obličeje pro každý video snímek je výpočetně náročné, proto se tento příklad využívá k jednoduchému procesu pro sledování obličeje.

3.1.2 Identifikace znaků v obličeji

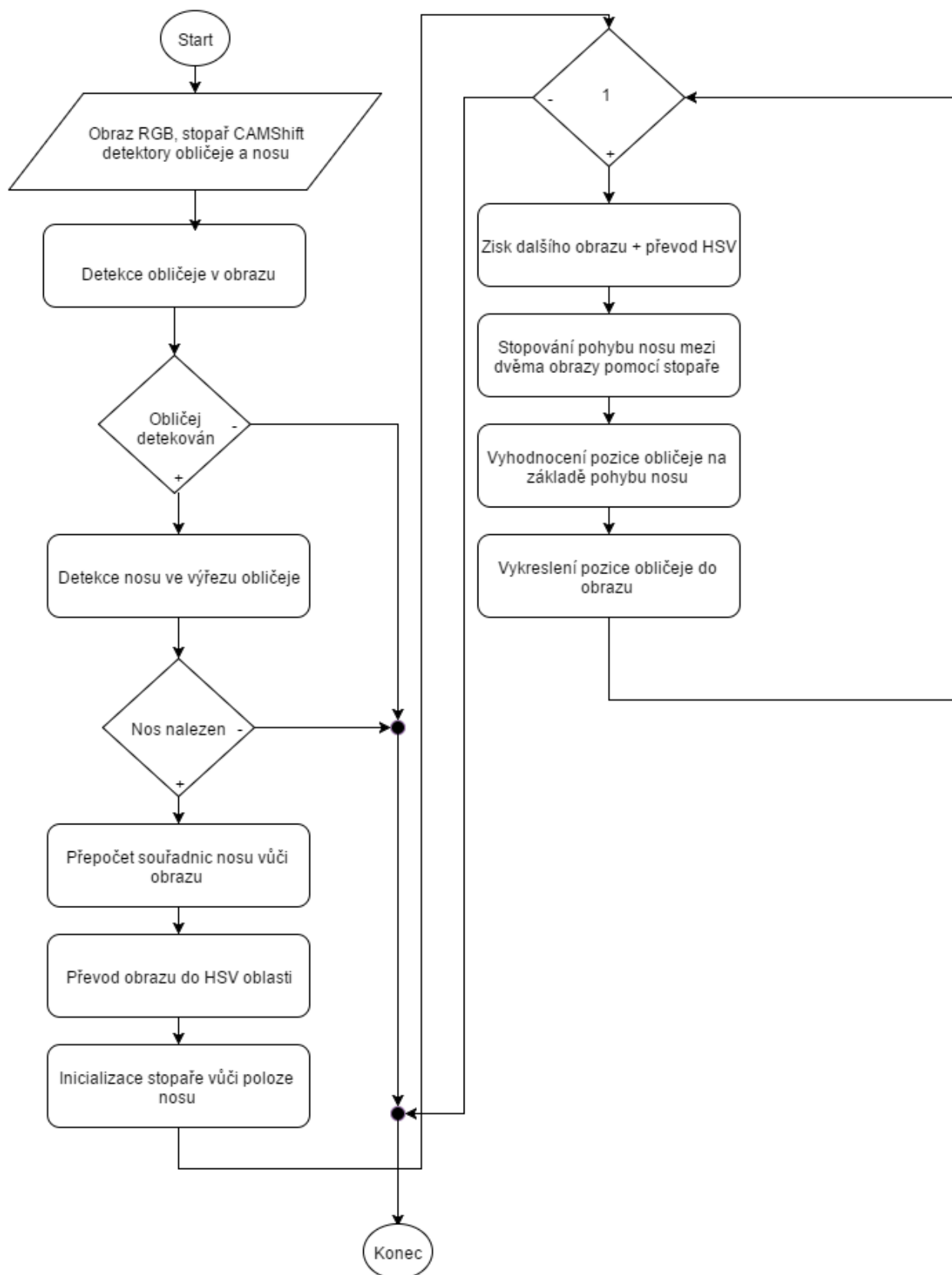
V případě, že je správně detekovaný obličej, musejí se identifikovat znaky, které využíváme pro sledování obličeje. Příkladem znaků, které můžeme použít jsou - *tvar*, *textura*, nebo *barva*. Poté je obraz převeden do barevného prostoru HSV. Nejlepší volbou je výběr vlastnosti, které jsou jedinečné pro objekt a zůstávají neměnné, i když se objekt pohybuje. Při mé vlastní implementaci používám tón pleti, jako znak pro sledování obličeje. Tón pleti poskytuje velmi dobrý kontrast mezi obličejem a pozadím a nemění se s pohybem tváře.

3.1.3 Sledování obličeje

Při výběru tónu pleti, jako znaku pro stopování, můžeme detekovaný obličej sledovat. Sledování obličeje je založeno na bázi histogramu. Algoritmus CAMShift umožňuje sledovat objekt za použití histogramových hodnot pixelů v obličeji.

Nejdříve je rozeznán nos v regionu obličeje. Nos poskytuje přesnější měření tónu pleti, protože neobsahuje žádné body pozadí. Tyto hodnoty pixelů z odstínu nosu jsou následně použity k vytvoření histogramu pro sledování obličeje ve scéně. Například je sledován objekt a po sobě jdoucí snímky videa, pomocí zmiňovaného histogramu.

3.1.4 Vývojový diagram CAMShift algoritmu



Obr. 4. Vývojový diagram algoritmu CAMShift

3.2 Detekce obličeje a sledování pomocí KLT algoritmu

KLT (Kanade-Lucas-Tomasi) algoritmus umožňuje automaticky detekovat a sledovat obličej pomocí určitých bodů ve videosnímku. Popis KLT algoritmu je pro lepší porozumění rozdělen do samostatných čtyř oddílů (detekce tváře pro sledování, identifikace charakteristických rysů ve tváři, sledování obličeje, využití u živého videa) a následně je sestaven vývojový diagram algoritmu KLT.

3.2.1 Detekce tváře pro sledování

Nejdříve je detekován obličej ve videosnímku pomocí Viola – Jones detektoru. Ve výchozím modelu je automaticky nastaven, aby detekoval obličej. KLT algoritmus sleduje změnu pozice obličeje ve scéně v průběhu času. Je možné detekovat obličej pro každý snímek, ale to je výpočetně velmi náročné. KLT algoritmus detekuje obličej, i když osoba nakloní svou hlavu nebo se pohybuje směrem ke kameře nebo se vzdaluje. Nejčastěji se detekuje obličej pouze jednou a dále je využíván algoritmus pro trackování (sledování).

3.2.2 Identifikace charakteristických rysů ve tváři

KLT algoritmus sleduje řadu hranových bodů ve snímku videa. Nejprve je detekován obličej. Dalším krokem je identifikace rohových bodů ve tváři, které dále můžeme spolehlivě sledovat. KLT algoritmus používá standart zvaný *good features to track* (dobré rysy pro sledování) navržený Shi a Tomasi [10].

3.2.3 Sledování obličeje

Sledování je zahájeno pokud jsou správně identifikované body. KLT algoritmus je nastaven k přímému sledování zvolených bodů. Pro každý bod v předchozím snímku se KLT algoritmus snaží najít odpovídající bod v aktuálním snímku videosekvence. Mezi další schopnosti KLT algoritmu patří odhad přemístování a natočení sledované scény. Dále je do vlastností této funkce zahrnuto i měřítko poměru mezi starými a novými body. Tato transformace je aplikována na ohraničený rámeček kolem obličeje. V rámečku jsou sledovány body od okrajů. V případě, že došlo k chybě při sledování, musíme obličej nastavit do zvoleného rámu pro detekci.

3.2.4 Využití u živého videa

Algoritmus KLT se využívá pro detekci obličeje a jeho následného sledování v reálném čase.

System pro sledování obličeje může být rozdělen do dvojího režimu.

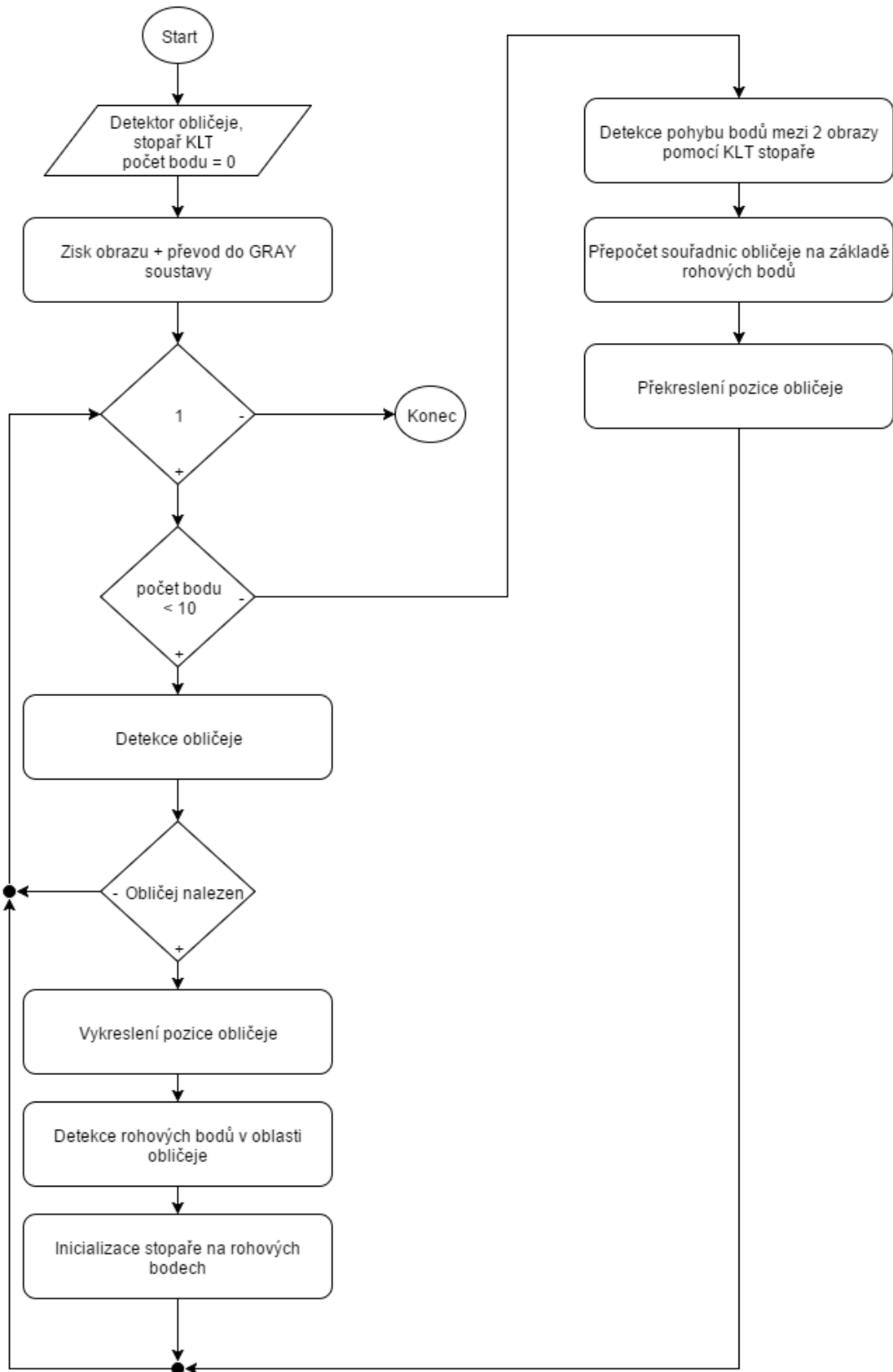
A) Detekce

V detekčním režimu je využíván klasicky Viola – Jones detektor a pokaždé je detekován objekt v aktuálním snímku. Pokud je již obličej detekován, zajistí se rohové body na obličejí a následně dochází k přepnutí do režimu pro sledování obličeje.

B) Sledování

V režimu sledování je nutné sledovat body pomocí tzv. *the point tracker* (zvolené body pro sledování). Při sledování bodů může dojít k jejich ztrátě (pohlčení bodů v průběhu sledování scény). Body můžeme ztratit v důsledku odchyly v osvětlení, otáčení roviny, nebo kloubového pohybu. Pokud počet bodů klesne pod prahovou hodnotu (10 bodů, nastavená hranice), není možné nadále pokračovat ve sledování obličeje. Musíme opět přepnout do módu detekce a znovu detekovat obličej.

3.2.5 Vývojový diagram KLT algoritmu



Obr. 5. Vývojový diagram algoritmu KLT

4 VÝPOČET OBSAHU PLOCHY DETEKOVANÉHO OBLIČEJE

Při detekci obličejů a jeho následném sledování se vytvoří kolem detekované oblasti čtyřúhelník, který určuje hranice obličejů. Čtyřúhelník mění velikost na základě vzdálenosti obličejů od kamery nebo úhlu natočení obličejů vzhledem ke kameře. Vypočtením obsahu čtyřúhelníku je možné pro každý snímek odhadnout velikost obličejů ve scéně. Hodnota obsahu může být použita v reálném čase pro hodnocení stability detekce obličejů. Obsah plochy je využit pro objektivní hodnocení při rozhodování, který algoritmus je stabilnější.

Obsah čtyřúhelníku je vypočten podle vzorce:

$$S = \frac{1}{2} ef \sin \varphi, \quad (4.1)$$

kde e , f jsou délky úhlopříček a φ je libovolný úhel, který svírají.

Délky úhlopříček jsou vypočteny pomocí euklidovské vzdálenosti na základě vzdálenosti dvou bodů v rovině. Vzdálenost $|AB|$ dvou bodů $A [x_1 ; y_1]$, $B [x_2 ; y_2]$ v rovině je dána vzorcem:

$$|AB| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (4.2)$$

Libovolný úhel φ , který úhlopříčky svírají je vypočten pomocí vzorce:

$$\varphi = \cos \alpha = \frac{u_1 v_1 + u_2 v_2}{\sqrt{u_1^2 + u_2^2} \sqrt{v_1^2 + v_2^2}}, \quad (4.3)$$

kde čitatel označuje vektory a jmenovatel délku vektorů. Vektory u a v jsou rozdíly souřadnic dvou bodů na dané úhlopříčce.

Délky vektorů známe, stejně jako délku úhlopříček, proto můžeme do vzorce pro zjednodušení výpočtu dosadit předešlé výsledky pro výpočet úhlu φ .

Po dosazení do programu Matlab dochází k automatickému výpočtu obsahu plochy pro každý detekovaný snímek.

5 SROVNÁNÍ SLEDOVACÍCH ALGORITMŮ

Tato kapitola je zaměřena na porovnání sledovacích algoritmů CAMShift a KLT. Na základě výsledků bude rozhodnuto, který algoritmus bude dále použit pro návrh odhadu vzdálenosti (webkamera – uživatel).

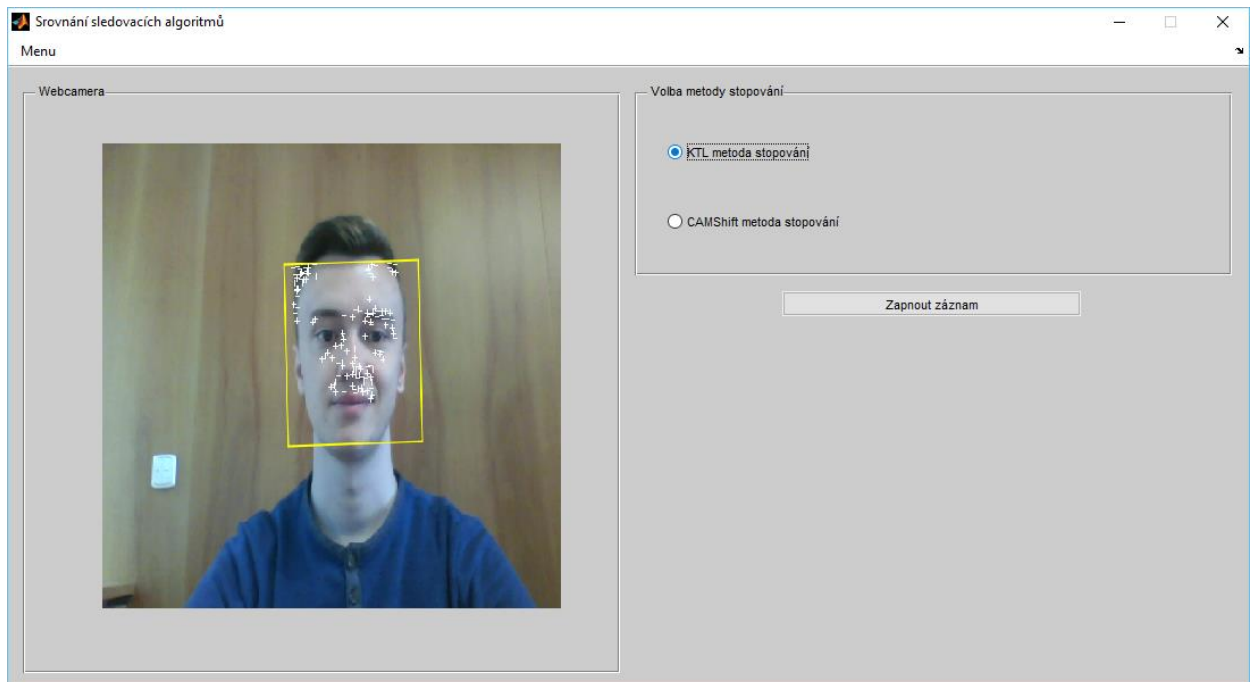
Hlavním parametrem pro určení spolehlivosti detektorů je zde volen obsah plochy v detekované oblasti (viz předchozí kapitola). Pro hodnocení je využit rozdíl vypočítaného obsahu od prvního detekovaného snímku vyjádřen v procentech. Tedy první detekovaný snímek má hodnotu obsahu rovnou 100 % a následně v průběhu času je pozorován rozdíl změny velikosti detekované plochy vůči prvnímu snímku.

Testování je rozděleno na objektivní a subjektivní hodnocení a jsou vyzkoušeny různé zkušební podmínky, které mohou ovlivnit výsledek při stopování obličeje. Například:

- změna osvětlení
- změna vzdálenosti detekované části obličeje
- natočení hlavy
- zakrytí části obličeje

5.1 Popis GUI

K hodnocení parametrů byly oba algoritmy implementovány v programovém prostředí Matlab a pro přehlednější ovládání byly umístěny do grafického uživatelského rozhraní (GUI).



Obr. 6. Srovnání sledovacích algoritmů

Webcamera – snímá reálný (živý) obraz, kde probíhá detekce obličeje a následné stopování detekované oblasti (obličeje).

Volba metody stopování – výběr algoritmu KLT nebo CAMShift pro sledování obličeje.

Zapnout/Vypnout záznam – slouží k objektivnímu vyhodnocení algoritmů na základě vypočítání obsahu detekované plochy. Výsledek je vyneseno ve formě grafu. Na x ose je počet snímků v čase a na y ose obsah plochy vůči prvnímu detekovanému snímku v procentech.

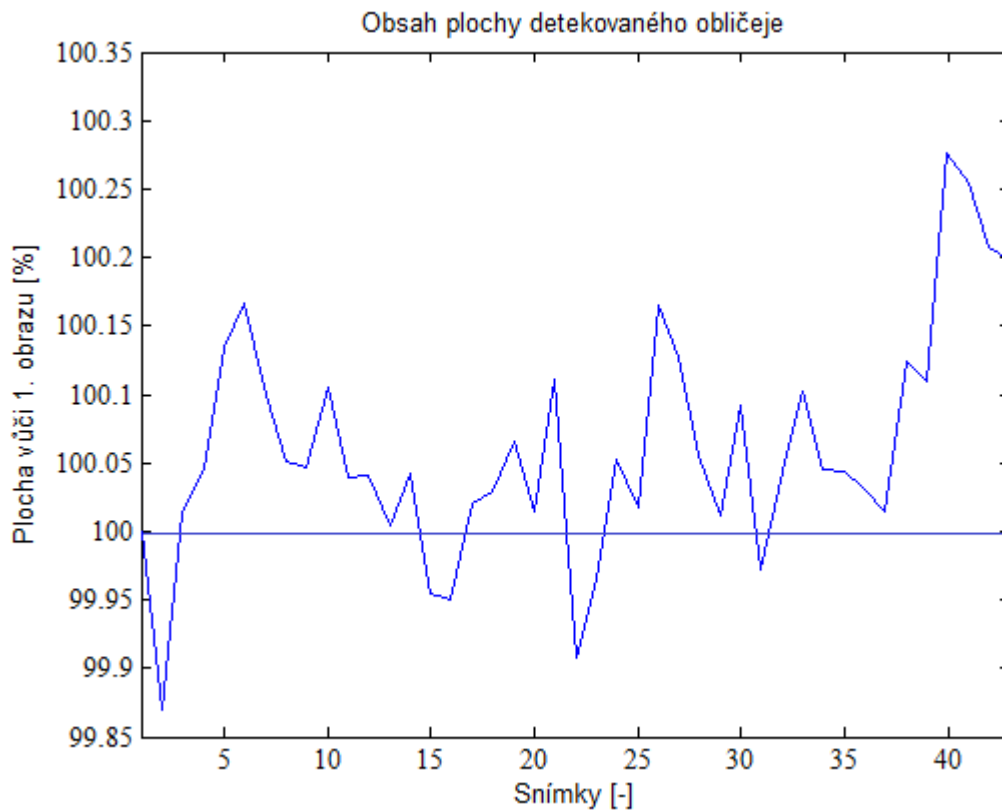
5.2 Vliv osvětlení

Prvním testovaným parametrem, který může ovlivnit funkci sledovacích algoritmů, je nasvícení pozorované scény. Nasvícení scény bylo snímáno ve dvou režimech: přirozené světlo (snímáno ve dne), umělé světlo (snímáno v noci).

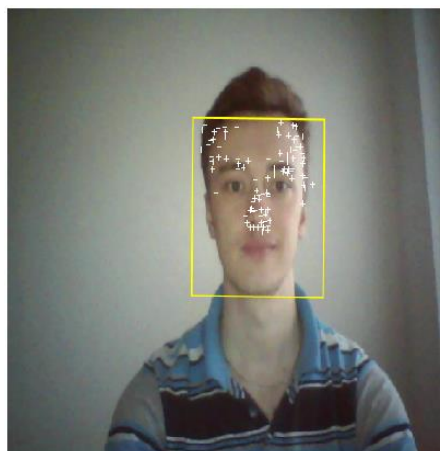
5.2.1 Přirozené osvětlení

U KLT algoritmu při sledování přirozeně osvětlené statické scény je rozdíl výpočtu obsahu plochy od prvního detekovaného snímku nepatrný.

Pohybuje se v rozmezí cca + 0,3 až - 0,15 % od původní hodnoty naměřené v prvním snímku, jak je vidět v grafu na Obr. 7. Výsledek nám dokazuje, že KLT algoritmus je stabilní při sledování obličeje ve stacionární scéně a nedochází k zásadnímu rozdílu ve výpočtu obsahu plochy v průběhu měření.



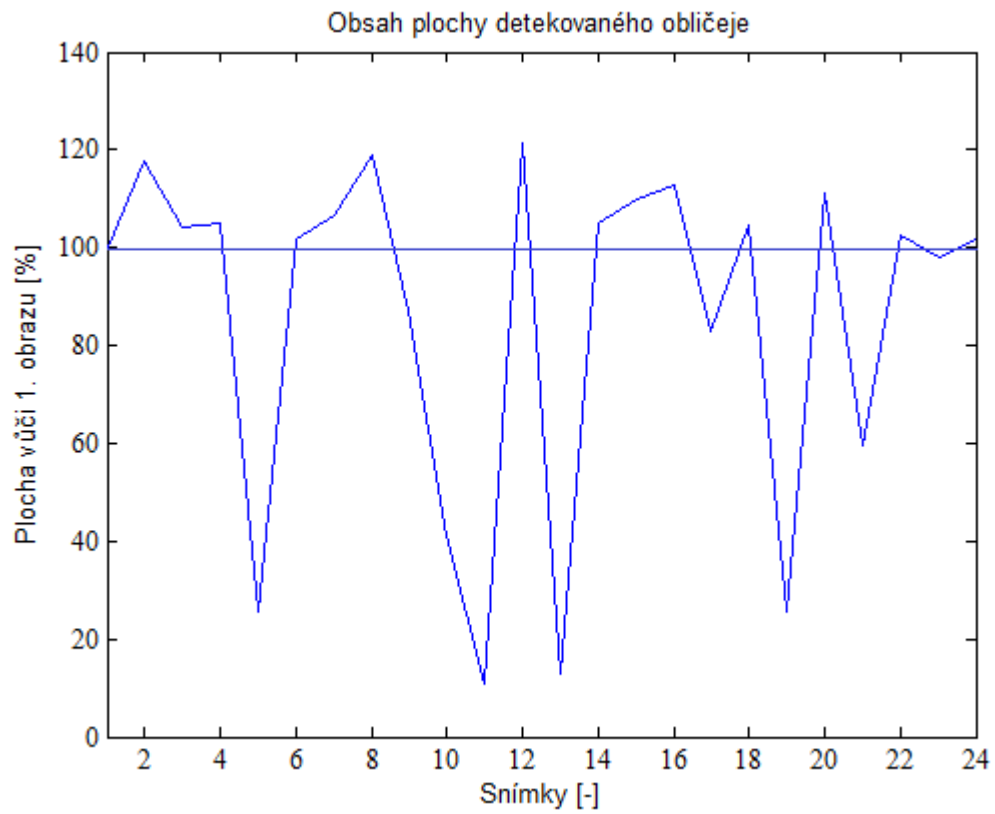
Obr. 7. Graf sledování KLT algoritmem za přirozeného osvětlení



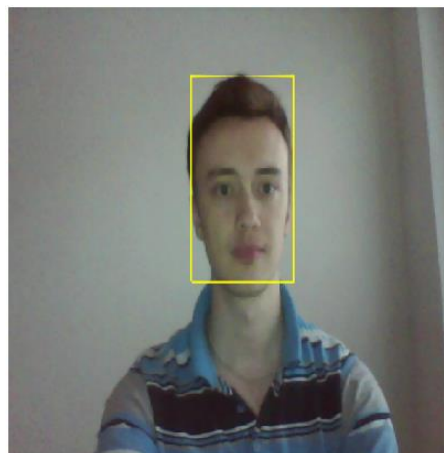
Obr. 8. Sledování obličeje KLT algoritmem při přirozeném osvětlení

Naproti tomu u CAMShift algoritmu, při sledování neměnné scény, je rozdíl ve výpočtu obsahu plochy od prvního detekovaného snímku dosti citelný.

Jeho hodnota se pohybuje v rozmezí cca + 20 % až – 80 % od původní hodnoty naměřené v prvním snímku. Graf průběhu je vyobrazen na Obr. 9. Zde výsledek dokazuje, že CAMShift algoritmus v průběhu času zásadně mění tvar čtyřúhelníku, který se vytváří kolem detekované oblasti.



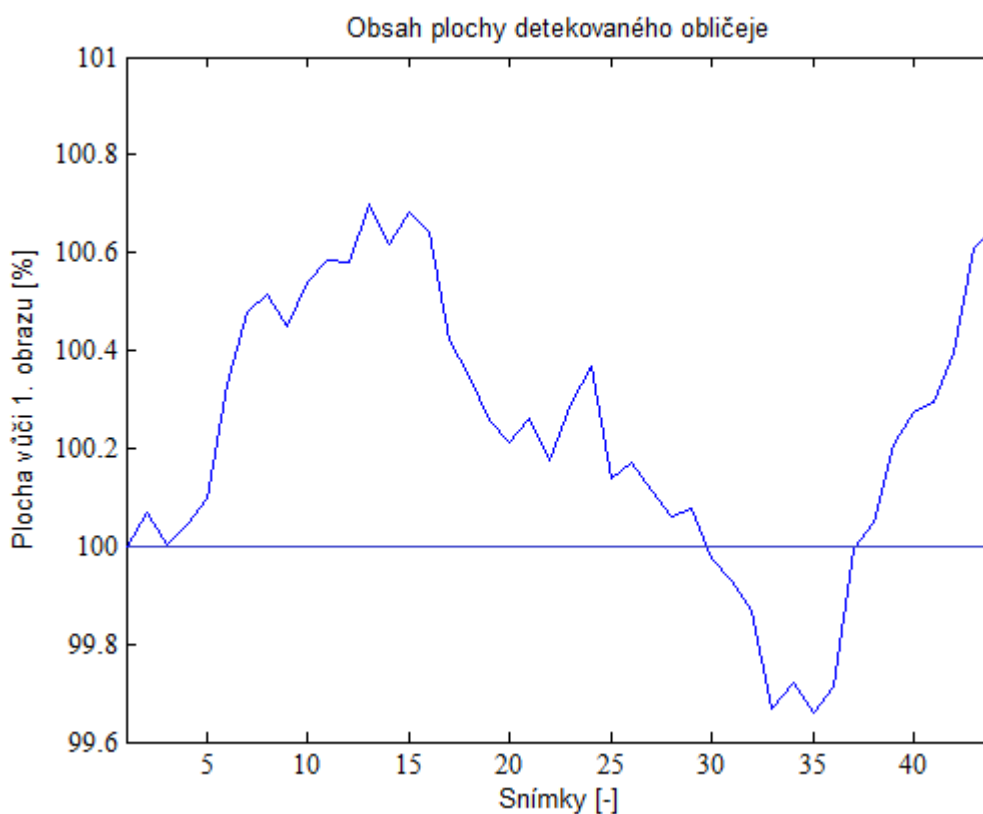
Obr. 9. Graf sledování CAMShift algoritmem při přirozeném osvětlení



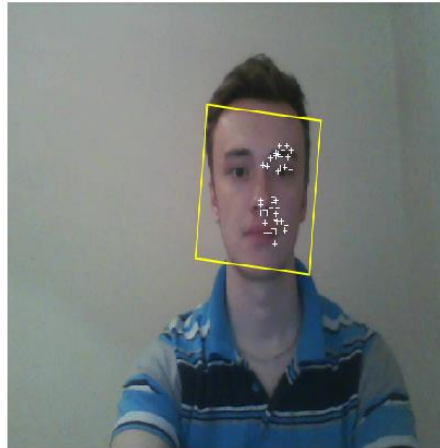
Obr. 10. Sledování obličeje CAMShift algoritmem při přirozeném osvětlení

5.2.2 Umělé osvětlení

Při měření v noci za umělého osvětlení KLT algoritmus podává stejně kvalitní výkon jako u měření přes den. Zde je rozdíl hodnot opět nepatrný. Pohybuje se v rozmezí cca + 0,7 % až - 0,4 % od původní naměřené hodnoty v prvním detekovaném snímku. Výsledný graf je vyobrazen na Obr. 11. KLT algoritmus má tedy vynikající sledovací parametry při různém druhu osvětlení detekované scény.

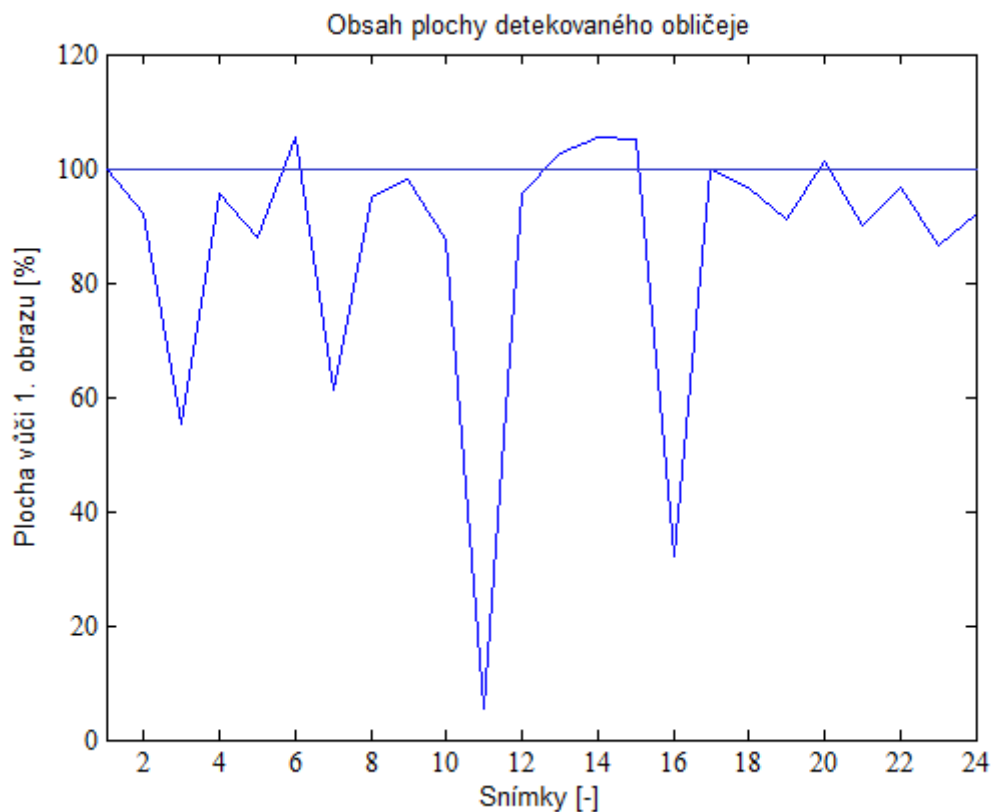


Obr. 11. Graf sledování KLT algoritmem při umělého osvětlení

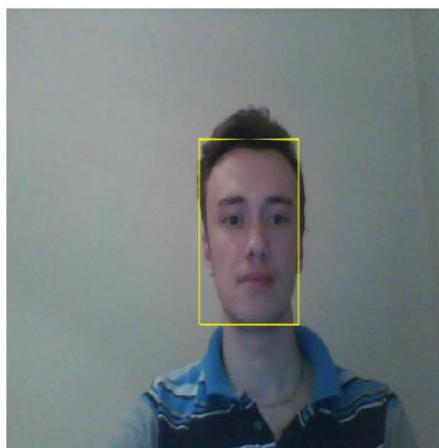


Obr. 12. Sledování obličeje KLT algoritmem při umělém osvětlení

Při testování funkce u CAMShift algoritmu za umělého osvětlení naopak nevyhází optimální výsledky jako u KLT algoritmu. Jak je vidět v grafu na Obr. 13, umělé osvětlení nemá podstatný vliv na funkčnost algoritmu, ale rozdíl ve vypočítaném obsahu plochy od prvního detekovaného snímku je znovu markantní. Pohybuje se v rozmezí + 10 % až - 90 % od původní hodnoty. Velikost detekované oblasti, která se vytváří kolem obličeje, neustále mění svůj tvar. Detekovaná oblast u CAMShift algoritmu není konstantní.



Obr. 13. Graf sledování CAMShift algoritmem při umělém osvětlení

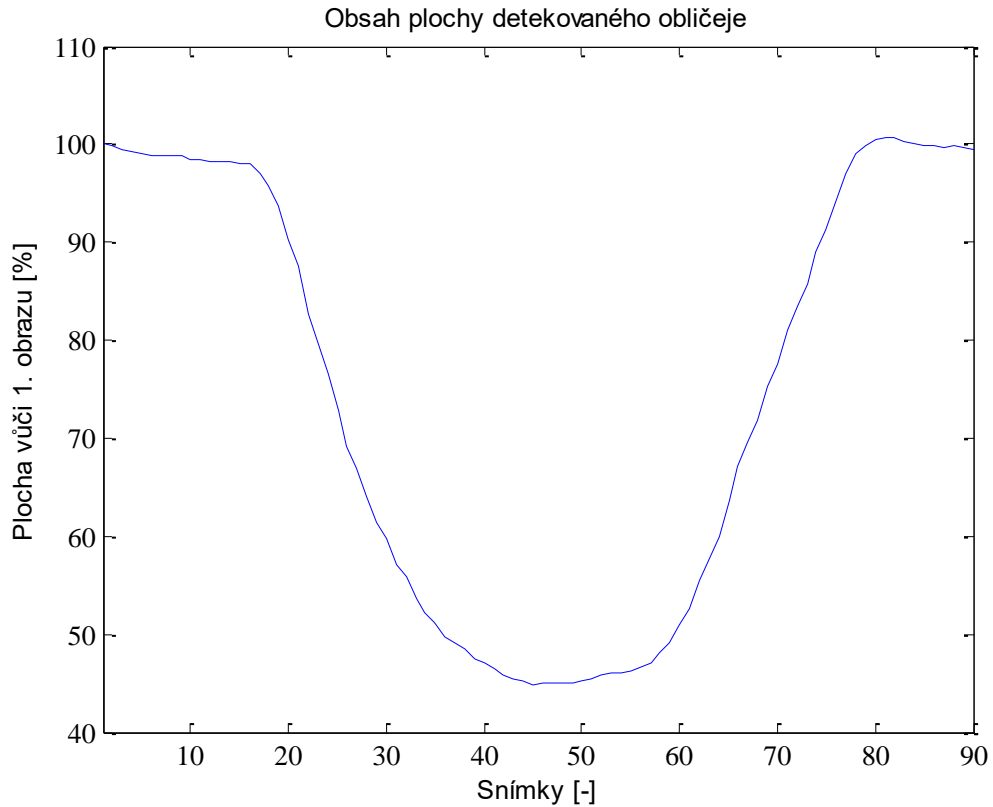


Obr. 14. Sledování obličeje CAMShift algoritmem při umělém osvětlení

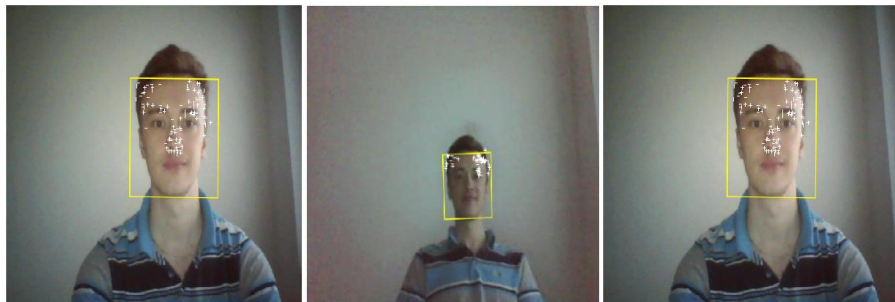
5.3 Změna vzdálenosti detekované části obličeje

Druhým testovacím kritériem je vliv schopnosti stopovat detekovaný obličej s měnící se vzdáleností od webkamery. Testování proběhlo při přirozeném osvětlení (tedy ve dne). Nejprve je sledován obličej ve stacionární scéně, kdy je obličej vzdálený od webkamery 65 cm. Dále dochází k postupnému vzdalování obličeje od webkamery do vzdálenosti 110 cm a následnému přiblížení na počáteční úroveň vzdálenosti před začátkem vzdalování.

U KLT algoritmu, jak je vidět v grafu na Obr. 15, s rostoucí vzdáleností dochází k zmenšení čtyřúhelníku, který se vytváří kolem obličeje. To má za následek snížení hodnoty vypočítaného obsahu plochy oproti prvnímu snímku, který je pořízen ve stacionárním snímání. Při návratu obličeje do původní pozice se hodnota obsahu vrátí na původní hodnotu. KLT algoritmus velmi přesně sleduje detekovanou scénu (obličej) i v případě oddalování obličeje od webkamery.

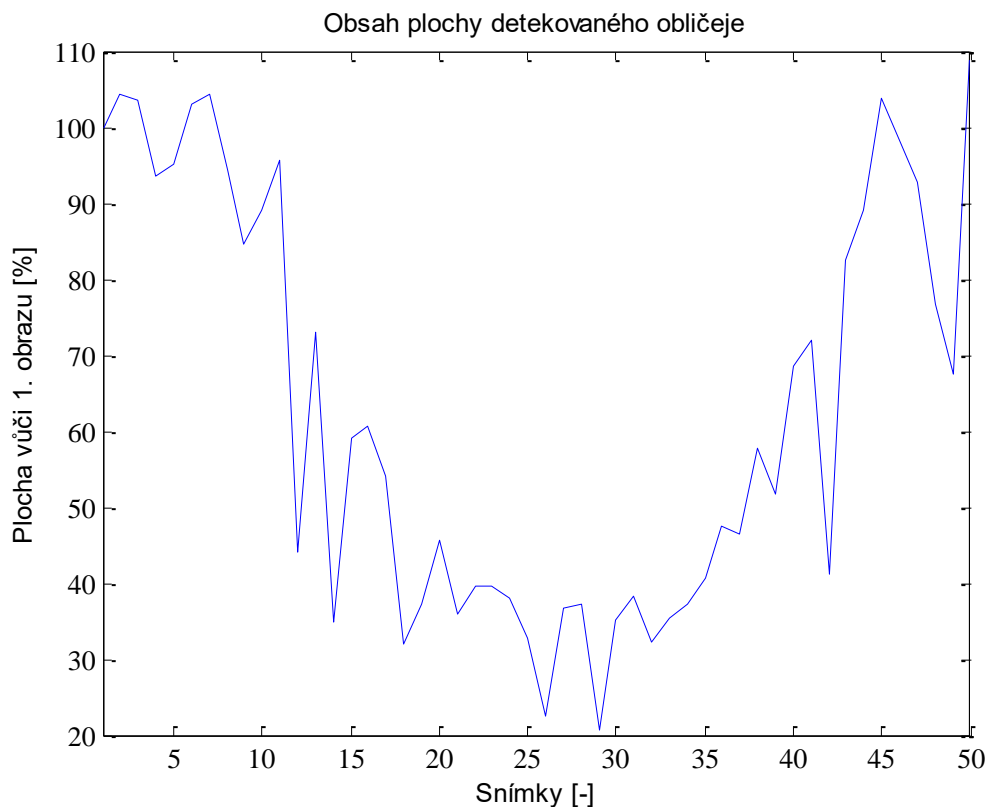


Obr. 15. Graf sledování změny vzdálenosti u KLT algoritmu

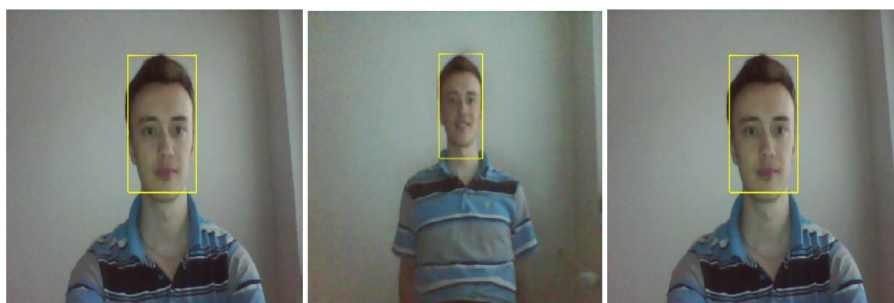


Obr. 16. Změna vzdálenosti u KLT algoritmu

Při testování CAMShift algoritmu na měnící se vzdálenost obličeje od webkamery je průběh výsledného grafu znatelně horší, viz Obr. 17. Jak bylo již zmíněno, velikost detekované oblasti, která se vytváří kolem obličeje, neustále mění svůj tvar. Z výsledného grafu s obtíží poznáme měnící se vzdálenost. Zde nedochází k postupnému zmenšování detekované oblasti. Výsledná oblast zájmu se nesymetricky mění s narůstající vzdáleností.



Obr. 17. Graf sledování změny vzdálenosti u CAMShift algoritmu

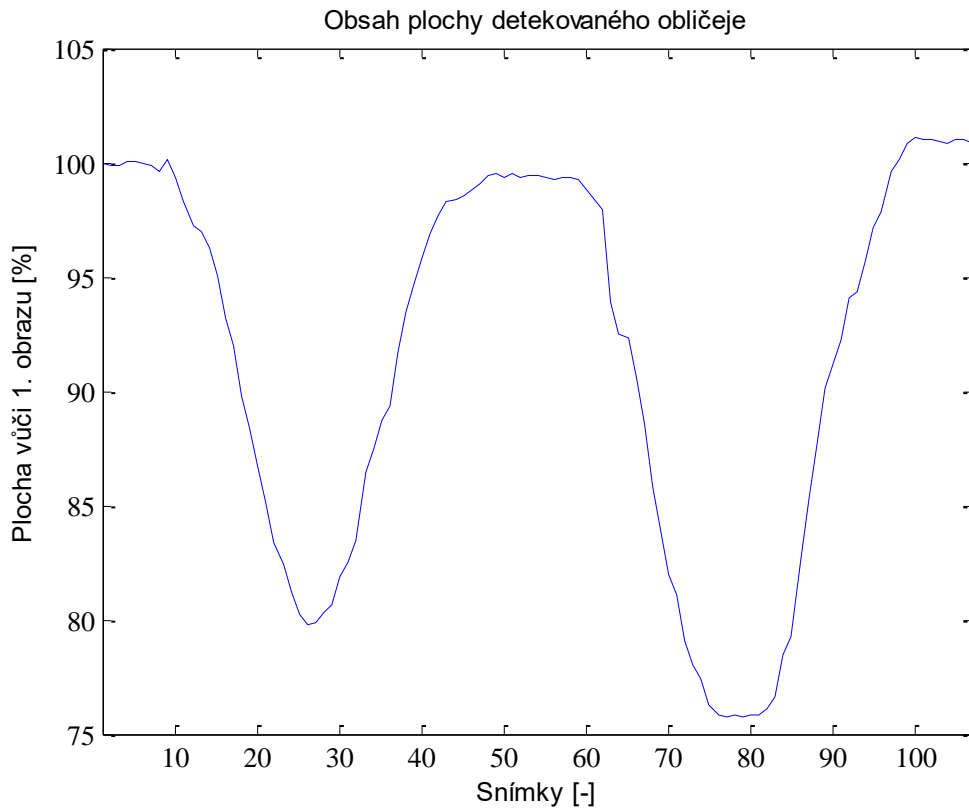


Obr. 18. Změna vzdálenosti u CAMShift algoritmu

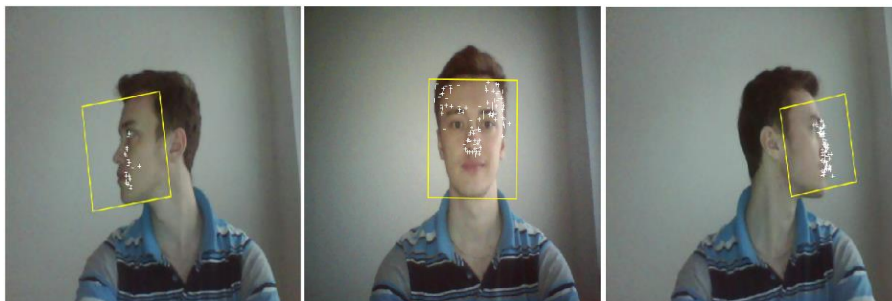
5.4 Natočení hlavy

U třetího měření bude zaměřeno na vytočení detekovaného obličeje kolem osy krku o 90° od pozice webkamery. I zde je měření provedeno při přirozeném osvětlení (ve dne). Nejprve je sejmuta scéna opět v ustálené poloze (obličej – webkamera). Poté je hlava vykloněna o 90° směrem doprava a navracena do původní polohy. Dále se pokračuje otočením hlavy o 90° doleva a opět se vrací do původní polohy, měření je ukončeno.

Při testování KLT algoritmu, jak je vidět z grafu na Obr. 19, lze krásně vypořadovat dráhu změny velikosti obsahu plochy díky vychýlení obličeje od původní hodnoty. Při otočení obličeje o 90° doprava dochází k poklesu schopnosti detekovat obličej (= snížení obsahu plochy). Poté, co je obličej navrácen do počáteční pozice, je dosažena hodnota obsahu původní velikosti. Dále je opět otočen obličej o 90° doleva (= snížení obsahu plochy). Při návratu dochází znovu k navýšení (rozdíl cca 3 %) velikosti obsahu k začínající hodnotě, která byla pořízena při první detekci obličeje. KLT algoritmus kvalitně detekuje obličej i při různém vytočení sledované oblasti od původní polohy.

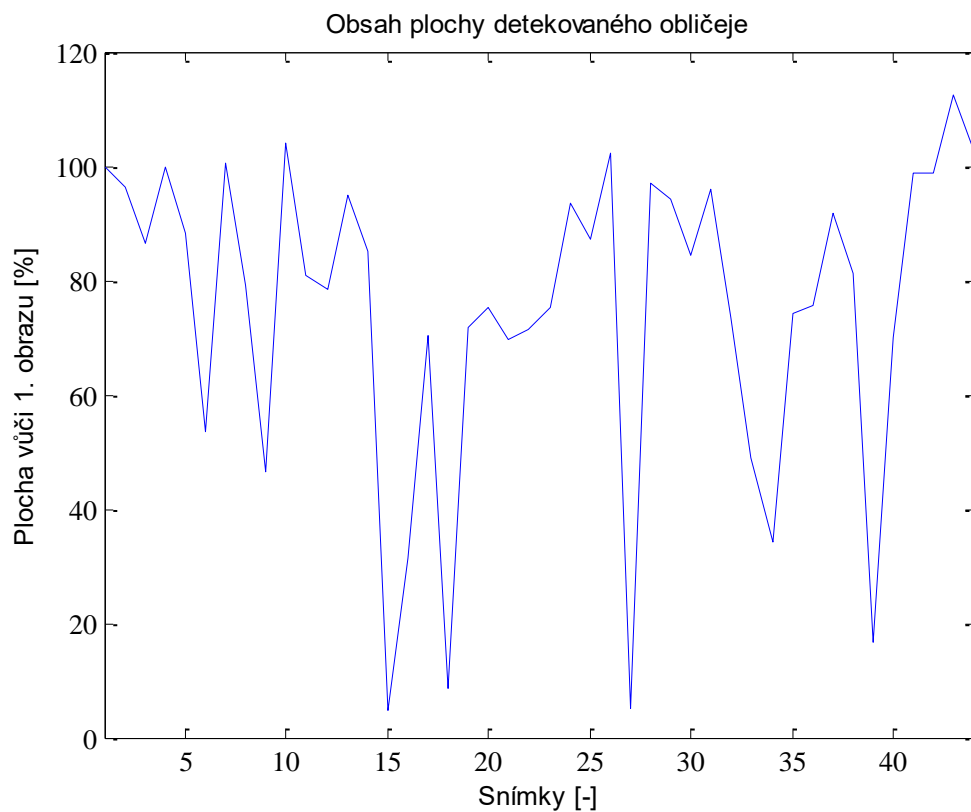


Obr. 19. Graf průběhu natočení hlavy u KLT algoritmu

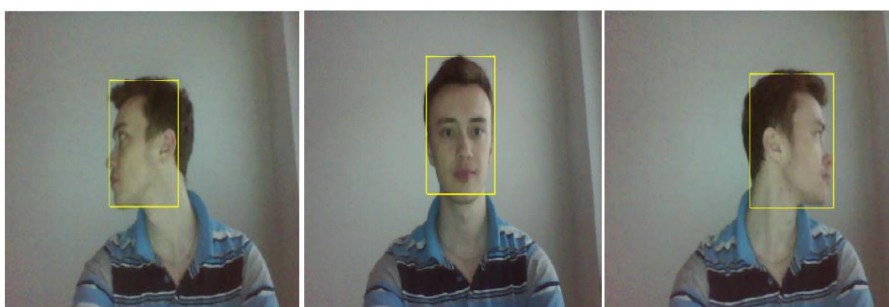


Obr. 20. Průběh natočení hlavy u KLT algoritmu

Naproti tomu u CAMShift algoritmu, jeho průběh je znázorněn v grafu na Obr. 21, není pozorován vliv na dráhu změny velikosti obsahu plochy u detekovaného obličeje. Algoritmus CAMShift neustále mění velikost detekované oblasti, která se vytváří kolem obličeje = skokové změny velikosti obsahu od původní hodnoty.



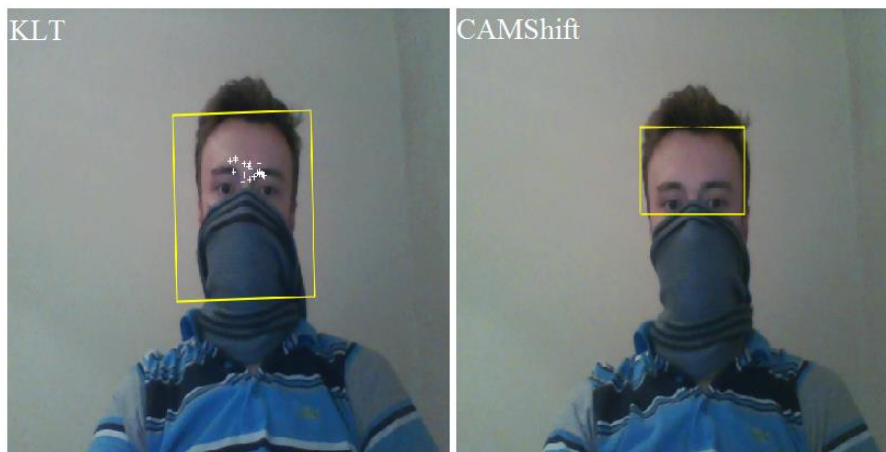
Obr. 21. Graf průběhu natočení hlavy u CAMShift algoritmu



Obr. 22. Průběh natočení hlavy u CAMShift algoritmu

5.5 Zakrytí části obličeje

Posledním parametrem k ověření správného fungování algoritmů je znemožnění správné detekce obličeje zakrytím určitých významných rysů na obličeji a následnému sledování vlivu na detekci a stopování obličeje.



Obr. 23. Zakrytí části obličeje

Oba algoritmy se adaptovaly na zakrytí poloviny obličeje velmi dobře. Pokud je nejprve detekován obličej bez překrytí a v průběhu sledování je teprve zakryta polovina obličeje, nedochází ke ztrátě detekce. Naopak při zahájení sledování se zakrytým obličejem oba detektory nic nedetekovaly.

KLT algoritmus pro sledování obličeje nedetekuje každý snímek, jak jeho konkurent CAMShift. Po detekci přechází do sledovacího módu a nedojde-li ke snížení sledovacích bodů pod určitý práh (10 bodů), velmi dobře se adaptuje na překrytí obličeje.

CAMShift algoritmus naopak pro sledování obličeje sleduje určitý znak (tón pleti). Při postupném zakrývání dochází ke zmenšení detekovaného čtyřúhelníku. Zmenšení detekované oblasti nemá záporný vliv při sledování obličeje.

Vliv překrytí u obou algoritmů je vyobrazen na Obr. 23.

5.6 Shrnutí

Pro lepší přehlednost je sestavena tabulka, kde jsou zapsány testované podmínky a jak tyto podmínky ovlivňují běh algoritmů.

- ✓ - nemá vliv na funkčnost algoritmu, algoritmus se přizpůsobí na změněné podmínky
- × - má vliv na funkčnost algoritmu, dochází ke zhoršení stopovacích schopností algoritmu

	KLT algoritmus	CAMShift algoritmus
Korektnost detekce statické scény	✓	×
Vliv osvětlení	✓	✓
Změna vzdálenosti	✓	×
Natočení hlavy	✓	×
Zakrytí části obličeje	✓	✓

Tabulka 1. Srovnání algoritmů

Na základě výsledků testování je dosaženo závěru, že algoritmus KLT je lépe sestaven na sledování detekované oblasti. Cílová oblast vytvářející se kolem obličeje nemění v průběhu času svoji velikost - na rozdíl od CAMShift algoritmu.

Obsah plochy v detekované oblasti byl po celou dobu sledování konstantní vůči prvnímu detekovanému snímku. Žádná simulovaná podmínka výrazně neovlivnila funkci KLT algoritmu. Pro určení vzdálenosti uživatel – webkamera bude použit KLT algoritmus k lokalizaci obličeje ve scéně.

6 URČENÍ VZDÁLENOSTI UŽIVATELE OD KAMERY

Pro určení vzdálenosti (uživatel – webkamera) bude využit sledovací algoritmus KLT, který je na základě testovaných podmínek více stabilní při detekci a následném sledování detekovaného obličeje (viz kapitola 5).

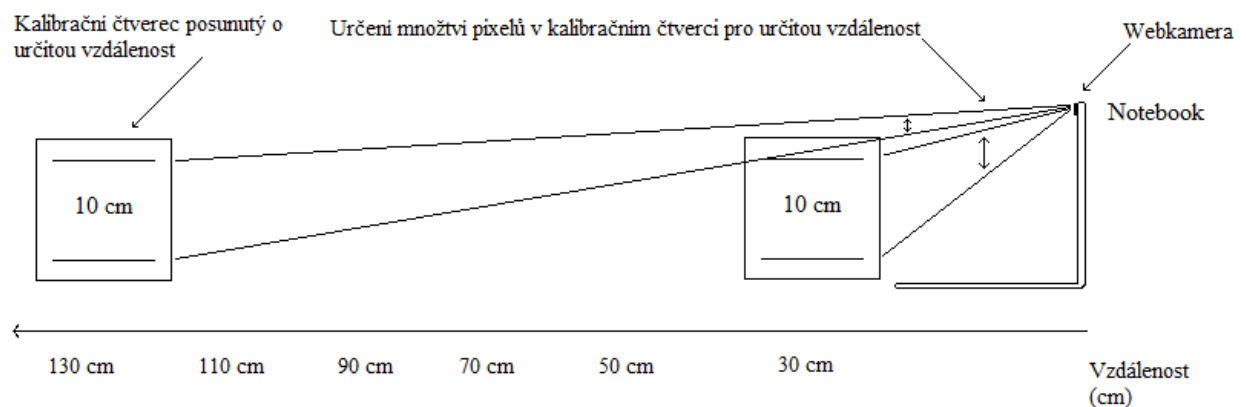
Odhad vzdálenosti je realizován s využitím vestavěné webkamery, která je v dnešní době běžnou součástí každého notebooku.

Pro určení vzdálenosti, již nedetekujeme KLT algoritmem celý obličej, pouze oblast očí. Vzdálenost uživatele od webkamery je určena pomocí výsledného čtyřúhelníku, který se vytváří kolem očí. Princip odhadu vzdálenosti je založen na změně v počtu pixelů v detekované oblasti (detekce oblasti očí), která se mění se vzdáleností.

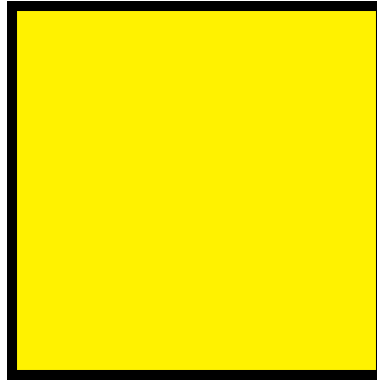
Před začátkem měření proto bude provedena kalibrace pro určení pozice uživatele od webkamery. K tomu je vytvořen kalibrační čtverec, kde se zvolí určitá velikost a následně bude sledována výsledná změna v množství pixelů s rostoucí vzdáleností. Velikost kalibračního čtverce je zde zvolena 10 x 10 cm. Velikost strany čtverce odpovídá zhruba vzdálenosti levé zornice k pravé zornici.

6.1 Postup při kalibraci

Principem je změření počtu pixelů v kalibračním čtverci (10 cm). Výsledná hodnota se bude lišit s rostoucí vzdáleností. Při kalibraci a následném snímání vzdálenosti, musí notebook zaujímat stejný úhel naklonění, nejlépe 90°, vzhledem k obličeji. Hodnota pixelů pro určitou vzdálenost nabývá jiných hodnot pro rozdílné typy notebooků. Závisí na fyzických parametrech webkamery. Kalibrační čtverec je postupně posouván o určitou vzdálenost a nabývá pokaždé jiné hodnoty v pixelech. Schéma postupu snímání při kalibraci je znázorněno na Obr. 24.



Obr. 24. Kalibrační schéma



Obr. 25. Kalibrační čtverec

6.2 Provedení kalibrace

Praktické provedení je založeno na prahování barevné složky obrazu, sloužící k rozeznání kalibračního čtverce, tvořícího největší objekt v obraze během kalibrace.

Prahování patří mezi segmentační techniky pro zpracování obrazu. Pro správnou detekci kalibračního čtverce musíme stanovit jedinečný interval hodnot barev, který se nesmí překrývat s ostatními intervaly v pořízeném snímku. V programu je nastavena jako výchozí hodnota prahu pro určitý barevný kanál žlutá barva.

Každá barva je specifická svou sytostí (červenou - red, zelenou – green a modrou – blue, odtud RGB). Sytost je zde použita podle použité barevné hloubky jako určitý počet bitů vyhrazených pro barevnou komponentu (pro 8 bitů na komponentu je rozsah hodnot 0 – 255). Žlutá barva je směsí červené a zelené.

Práh nastavení je tedy nastaven: $R > 150, G > 150, B < 150$.

Automatické určení rohu kalibračního čtverce je založeno na výpočtu euklidovské vzdálenosti prahovaného objektu.

Rohy prahovaného objektu jsou vypočteny pomocí euklidovské vzdálenosti od rohů snímané scény. Vzdálenost $|AB|$ dvou bodů $A [x_1 ; y_1], B [x_2 ; y_2]$ v rovině je dána vzorcem:

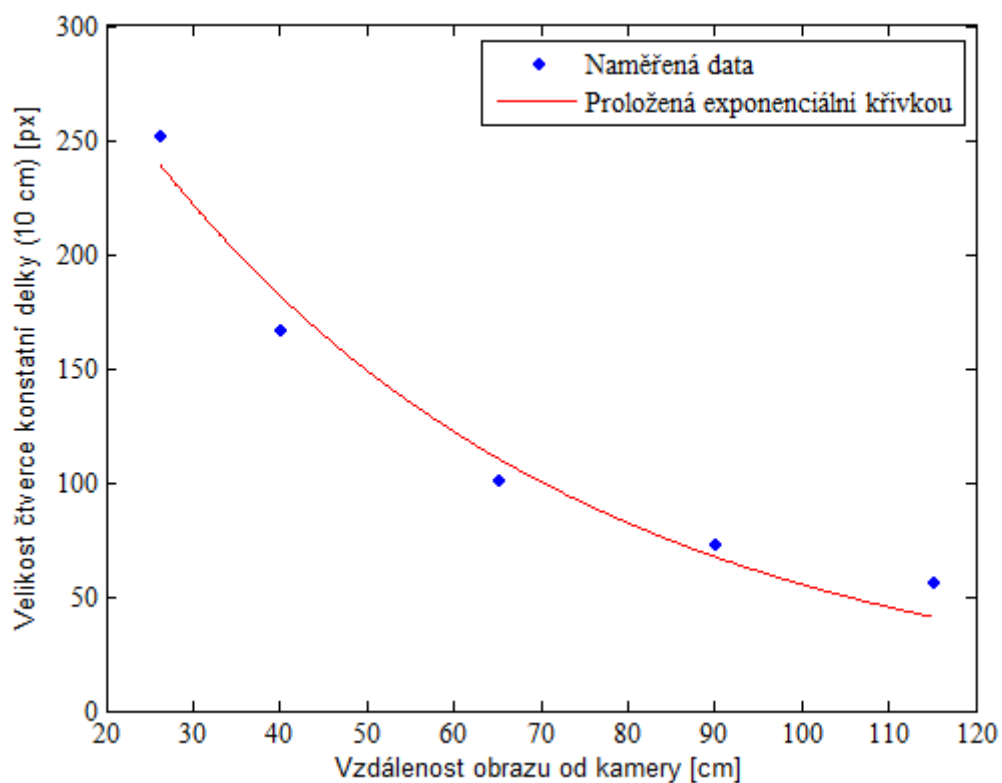
$$|AB| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (6.1)$$

Nejmenší vzdálenost mezi určitým pixelem v kalibračním čtverci a velikosti okna pro určité rozlišení určuje rohy kalibračního čtverce.

V případě chybné detekce je k automatické detekci rohů kalibračního čtverce přidána funkce pro manuální korekci.

6.3 Výsledek kalibrace

Po ukončení kalibrace jsou výsledné body následně proloženy exponenciální křivkou. Výsledek je znázorněn v grafu na Obr. 26. Dochází tedy k exponenciálnímu poklesu množství pixelů v kalibračním čtverci s rostoucí vzdáleností.



Obr. 26. Závislost velikosti konstantní délky (10cm) na vzdálenost od kamery

6.4 Výpočet vzdálenosti uživatele od kamery

Výsledná vzdálenost uživatele od webkamery je získána jednoduše za pomoci exponenciální funkce.

$$y = a \cdot e^{(bx)}, \quad (6.2)$$

- a, b značí výsledné hodnoty na základě kalibrace, které jsou automaticky získány po proložení naměřených bodů exponenciální křivkou (strmost a posuv)
- y , zde znázorňuje množství pixelů
- x , zde vzdálenost

Pro určení vzdálenosti je vyjádřena vzdálenost x , tím je získán vzorec pro určení polohy uživatele.

$$x = \frac{\ln\left(\frac{y}{a}\right)}{b}, \quad (6.3)$$

lejší přesnosti určení vzdálenosti je dosažena na základě přesnějšího tvaru exponenciální křivky, založeného na měření více kalibračních hodnot.

6.5 Regulace velikosti písma

Ve výsledné aplikaci je uživateli automaticky měněna velikost písma textu na základě doporučených hodnot pro určitou vzdálenost. S rostoucí vzdáleností je velikost textu zvětšována a naopak s přiblížením uživatele k monitoru notebooku zmenšována.

Doporučená hodnota je zapsána za pomoci Schnellova zlomku, kde čitatel značí vzdálenost uživatele a jmenovatel velikost písma. Výsledná konstanta určí optimální velikost písma, kterou uživatel přečte z dané vzdálenosti na monitoru notebooku. Vzdálenost i velikost písma jsou vyjádřeny v centimetrech.

Optimum je nastaveno na základě Schnellova zlomku $\frac{50}{0,5}$ a s rostoucí vzdáleností se konstanta bude lišit. Velikost písma je zvětšena úměrně s rostoucí vzdáleností uživatele od monitoru notebooku. Pro velikost písma 0,5 cm odpovídá zhruba velikost 13 pixelů na monitoru. Na základě tohoto údaje jsou přímo úměrou vytvořeny hodnoty pro určitou vzdálenost uživatele od kamery.

Pro přehlednost jsou vytvořeny tabulky.

Vzdálenost (cm)	Velikost písma (cm)	Vyjádření ve Schellově konstantě
30	0,3	$\frac{30}{0,3}$
50	0,5	$\frac{50}{0,5}$
70	0,8	$\frac{70}{0,8}$
90	1,1	$\frac{90}{1,1}$
110	1,3	$\frac{110}{1,3}$
130	1,6	$\frac{130}{1,6}$
150	1,9	$\frac{150}{1,9}$
170	2,2	$\frac{170}{2,2}$
190	2,5	$\frac{190}{2,5}$
210	2,8	$\frac{210}{2,8}$

Tabulka 2. Regulační tabulka

Vzdálenost (cm)	Velikost písma v pixelech
0 - 29	8
30 - 49	10
50 - 69	13
70 - 89	17
90 – 109	20
110 - 129	24
130 -149	28
150 -169	32
170 -189	36
190 -209	40
210 a více	44

Tabulka 3. Nastavení velikosti písma

Ve výchozím programu je nastaven počáteční zkušební text „Příliš žluťoučký kůň úpěl ďábelské ódy“ pro vyzkoušení veškeré diakritiky. Uživatel si může výchozí text změnit a nastavit si výchozí text podle svých vlastních požadavků.

7 APLIKACE – AUTOMATICKÝ REGULÁTOR VELIKOSTI TEXTU

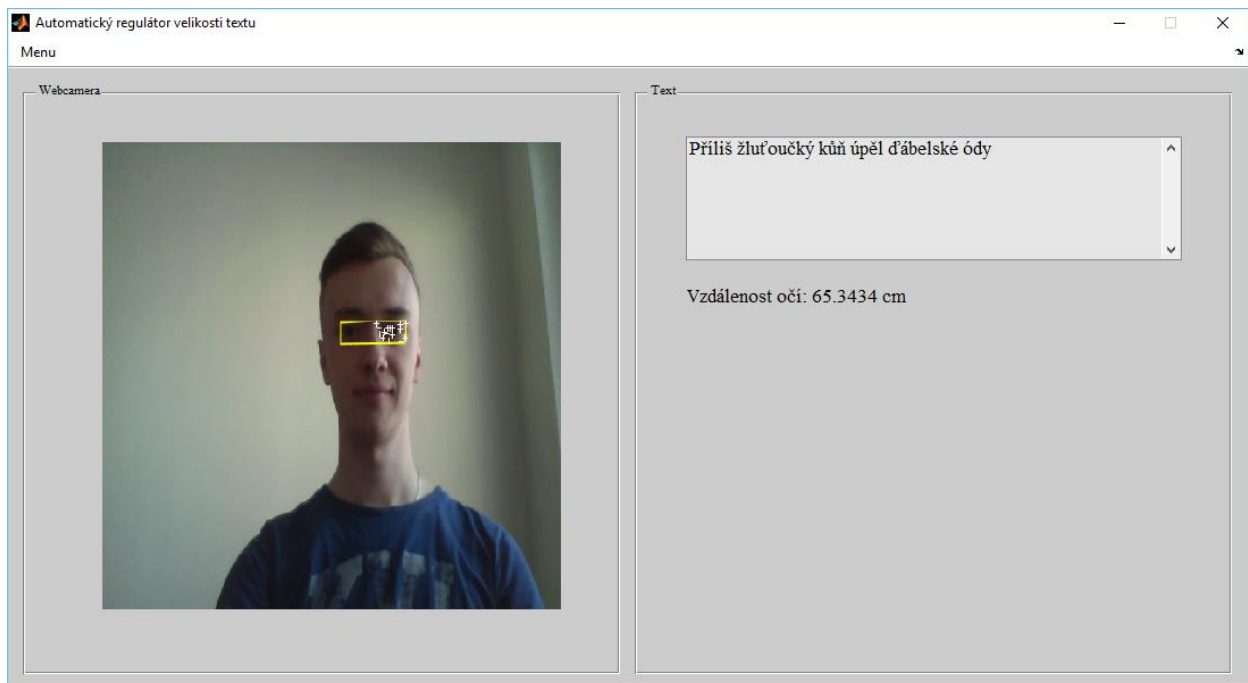
Automatický regulátor velikosti textu je vlastní navržená programová aplikace v prostředí Matlab, která je určena pro automatickou regulaci písma. Aplikace je vytvořena jako samostatný program, který může být spuštěn na počítači s webovou kamerou, či vestavěnou kamerou u notebooku. Pro spuštění není potřeba mít nainstalované programové prostředí Matlab, vše potřebné je zahrnuto v instalaci aplikace.

Funkcí aplikace je detekovat oblast očí uživatele pomocí kamery a sledovacího algoritmu KLT a na základě vzdálenosti detekované oblasti přizpůsobovat velikost textu na monitoru. Viz Obr. 27.

Rozhraní aplikace je rozděleno do dvou bloků:

Levý blok je pojmenován *Webcamera*, zde dochází k reálnému snímání scény pomocí kamery.

Pravý blok je pojmenován *Text*, zde jsou vyobrazeny různé pokyny pro uživatele. Patří zde nastavení programu, průběh a zobrazení výsledků kalibrace a samotné vyobrazení textu a vzdálenosti očí, kde je jejich velikost upravována na základě vzdálenosti uživatele.



Obr. 27. Ukázka aplikace

Funkcionalita aplikace je rozdělena do čtyř základních režimů:

Režim spuštění

V režimu spuštění dochází k zapnutí aplikace před provedením kalibrace.

Režim Menu

V režimu Menu je možnost nastavení aplikace (volba kamery, rozlišení, načtení nebo uložení kalibračních hodnot). Další součástí je tisk kalibračního čtverce.

Režim kalibrace

V režimu kalibrace dochází k výpočtu vzdálenosti, pro správné určení velikosti písma pro určitou vzdálenost.

Režim úprava velikosti textu

V režimu úprava velikosti textu dochází k změně velikosti písma podle vzdálenosti, která je určena výpočtem po provedení kalibrace.

Další rozdělení aplikace je v režimech spuštění kamery:

Režim KLT a kamera

V režimu KLT a kamera je automaticky detekována oblast očí uživatele.

Režim kamera

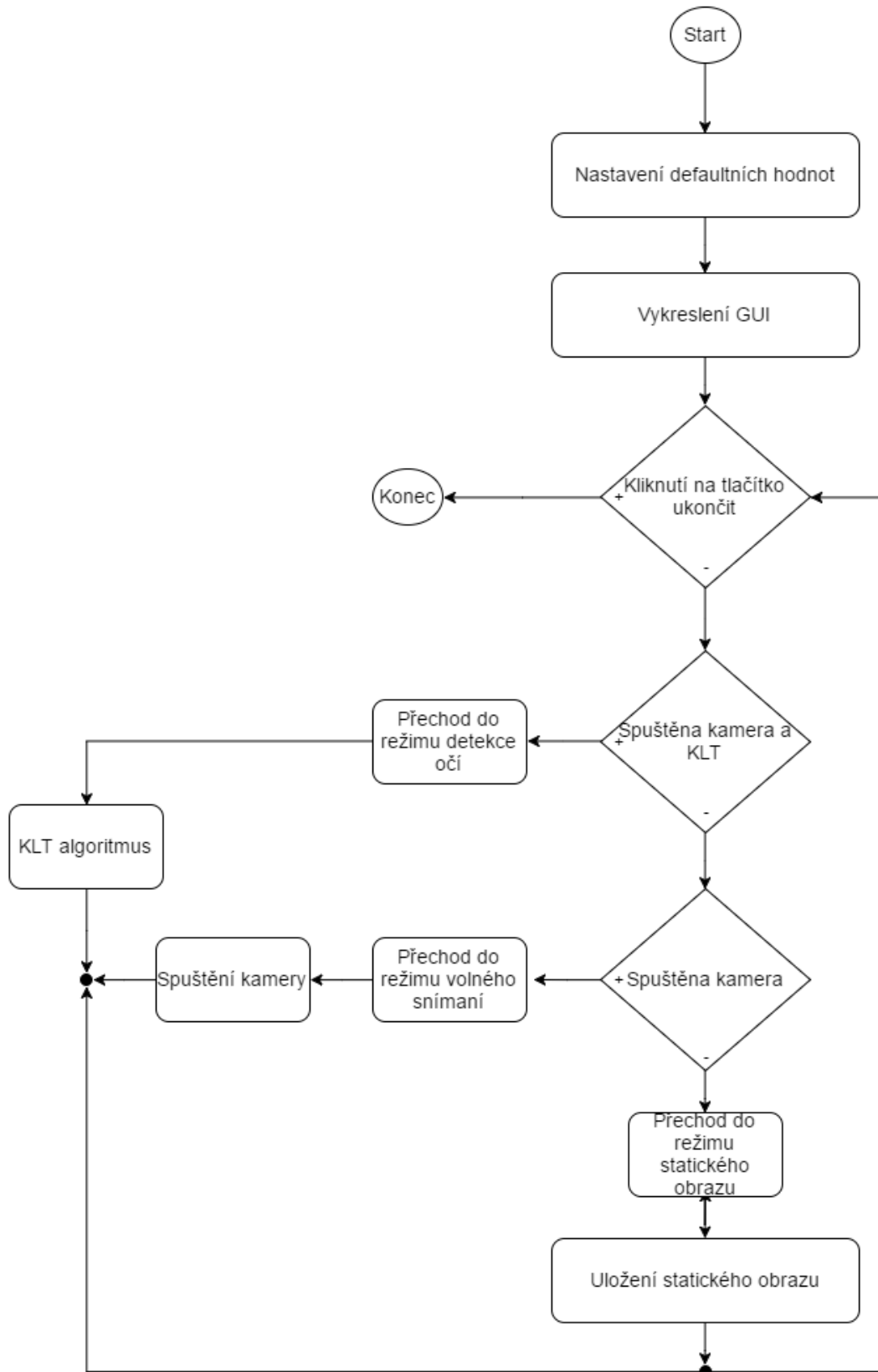
V režimu kamera je snímána reálná scéna kamerou bez využití KLT algoritmu.

Režim statického obrazu

V režimu statického obrazu je dosaženo vypnutí kamery a pořízení snímku kvůli označení rohových bodů u kalibračního čtverce. Využito při kalibraci.

Pro funkčnost aplikace je potřeba webová kamera, či vestavěná webkamera, pro detekci vzdálenosti uživatele od počítače a kalibrační čtverec, kvůli kalibraci před začátkem měření.

7.1 Vývojový diagram programu

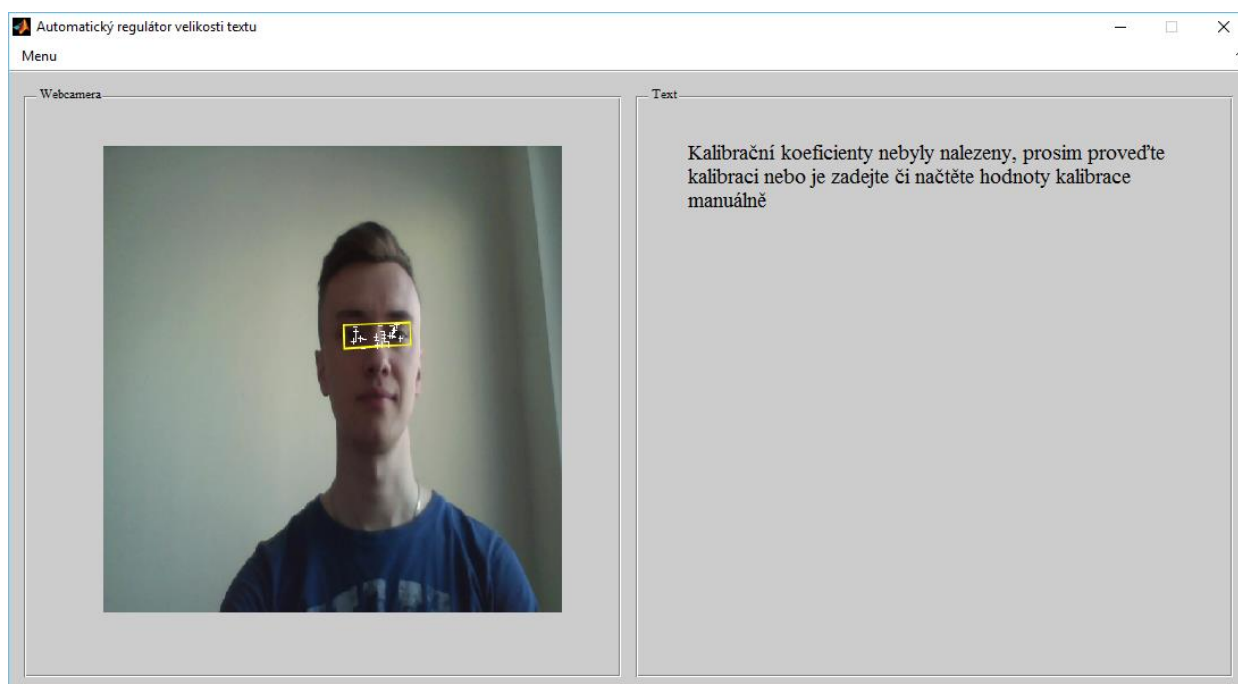


Obr. 28. Vývojový diagram program

7.2 Režim spuštění

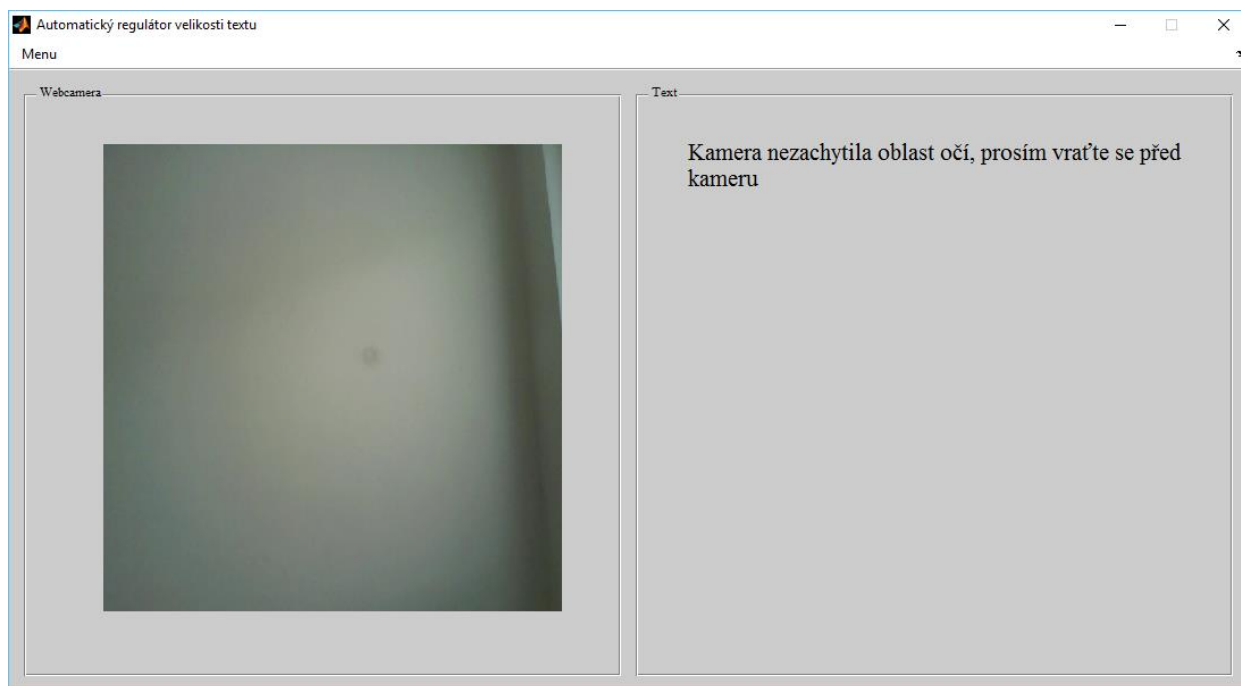
Po spuštění programu je uživatel automaticky a nepřetržitě snímán uživatele v levém bloku kamerou. Zároveň KLT algoritmus sleduje pohyb oblasti očí. Režim spuštění je rozdělen do dvou možných variant.

První varianta - při prvním spuštění aplikace a při správné detekci oblasti očí nabádá program v pravém bloku uživatele k provedení kalibrace nebo načtení či zadání kalibračních hodnot. Viz Obr. 29.



Obr. 29. Režim snímání - první varianta

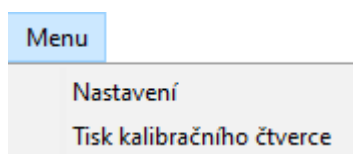
Druhá varianta - při nesprávné detekci oblasti očí v prostoru před kamerou je uživatel vybízen programem v pravém bloku, aby se navrátil před kameru pro provedení detekce v oblasti očí. Viz Obr. 30.



Obr. 30. Režim snímání - druhá varianta

7.3 Režim Menu

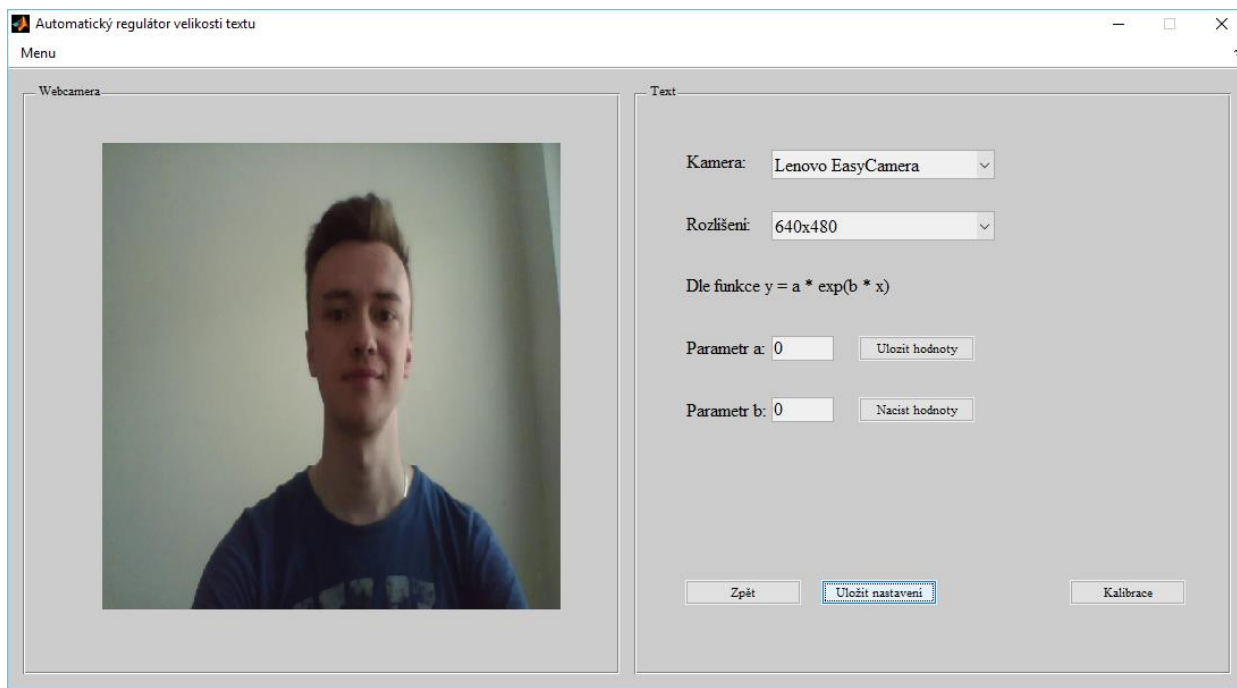
Zde jsou uživatelem nastaveny počáteční podmínky pro správný chod aplikace. Po kliknutí na tlačítko *Menu* program nabídne uživateli výběr ze dvou možností. Možnost *Nastavení* a *Tisk kalibračního čtverce*. Viz Obr. 31.



Obr. 31. Tlačítko Menu

7.3.1 Tlačítko Nastavení

Při stisku tlačítka *Nastavení* je uživateli zobrazena nabídka možností pro nastavení parametrů kamery a nastavení strmosti a posuvu výsledné exponenciály (parametr a , b). Viz Obr. 32.



Obr. 32. Nastavení programu

V levém bloku je neustále snímán reálný obraz. KLT algoritmus je zde vypnut, není nyní potřebný.

V pravém bloku je vyobrazena nabídka:

Kamera – je umožněn uživateli výběr typu kamery, která je aktuálně připojena k počítači. V případě více zapojených kamer k počítači je primárně vyobrazena kamera, která je v systému nastavena jako výchozí.

Rozlišení – zde jsou uživateli nabídnuty různé druhy rozlišení charakteristické pro určitý typ kamery. Je na uživateli, jaký formát rozlišení si zvolí.

Parametr a , b – tyto parametry popisují strmost a posuv exponenciály. Výsledné parametry kalibrační křivky, které jsou automaticky získány po proložení naměřených bodů exponenciální křivkou, viz kapitola 6.3. Hodnoty jsou primárně nastaveny na hodnotu nula. Hodnoty, které jsou zde zobrazeny, nebo které uživatel může sám zadat, musí mít číselný charakter, který program automaticky vyhodnocuje. Pokud je zde omylem zadána hodnota, obsahující např. písmeno či jakýkoliv vadný údaj jenž nekoresponduje s možností výsledku po kalibraci, je programem automaticky opraven na původní hodnotu, tedy na hodnotu nula.

Tlačítko Uložit hodnoty – slouží uživateli k uložení parametrů a, b po kalibraci ve formátu *.txt, kvůli úspoře času a přeskočení provedení kalibrace. Uživatel má možnost si uložit různé výsledky kalibrace pro určité rozlišení kamery.

Tlačítko Načíst hodnoty – slouží uživateli k načtení parametrů a, b (strmost a posuv výsledné exponenciály). Výsledky jsou uloženy ve formátu txt, a uživatel sám zvolí složku pro úschovu výsledků kalibrace.

Tlačítko Uložit nastavení – je zde pro uložení zvoleného nastavení. Pokud uživatel nezmáčkne zmíněné tlačítko a přejde do jiného režimu aplikace, hodnoty se primárně vrátí na původní nastavení, které bylo nastaveno při spuštění aplikace.

Tlačítko Zpět – slouží pro navrácení do režimu spuštění, nebo pokud jsou zadány hodnoty kalibrace (načteny z předchozí kalibrace, nebo aktuálně získané po provedení kalibrace) slouží k přepnutí do režimu úprava velikosti textu.

Tlačítko kalibrace – slouží k přepnutí aplikace do režimu kalibrace.

7.3.2 Tlačítko tisk kalibračního čtverce

Slouží k výběru tisku kalibračního čtverce pro správný chod kalibrace a následnému správnému určení vzdálenosti uživatele od kamery. Čtverec musí mít zachovaný poměr stran 1:1 a velikost 10 cm x 10 cm.

7.4 Režim kalibrace

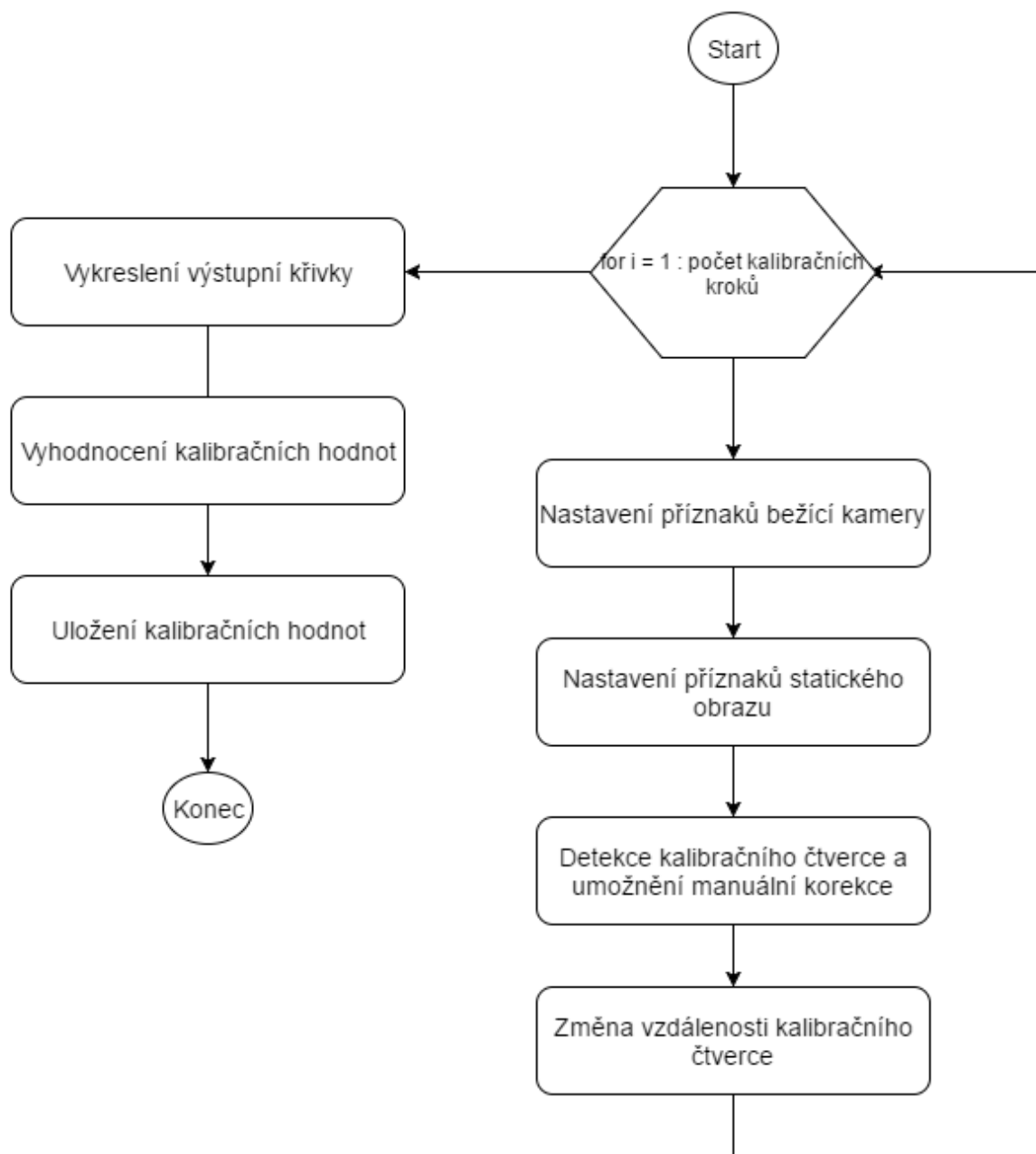
Režim kalibrace přepne uživatele do módu pro kalibraci a postupně uživatele provede správným nastavením kalibrace.

Princip kalibrace je názorně popsán v kapitole 6.1 až 6.4.

Při ukázce kalibrace je využita integrovaná webkamera 720p HD, rozlišení je nastaveno 640x480 px.

Při kalibraci je doporučeno mít kalibrační čtverec fixován a vždy jej posunovat o zmíněnou vzdálenost. Dále je pro správnou lokalizaci kalibračního čtverce ve snímané scéně doporučeno při kalibraci nemít v pozadí hodně rušivých elementů.

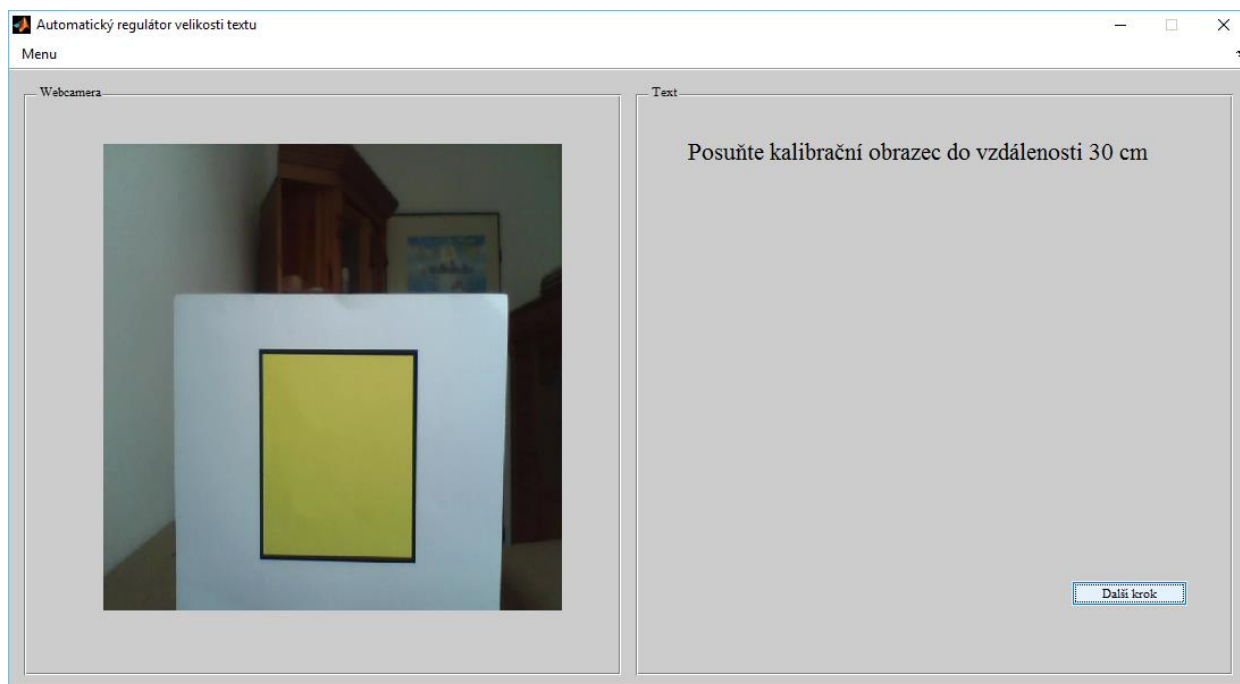
7.4.1 Vývojový diagram kalibrace



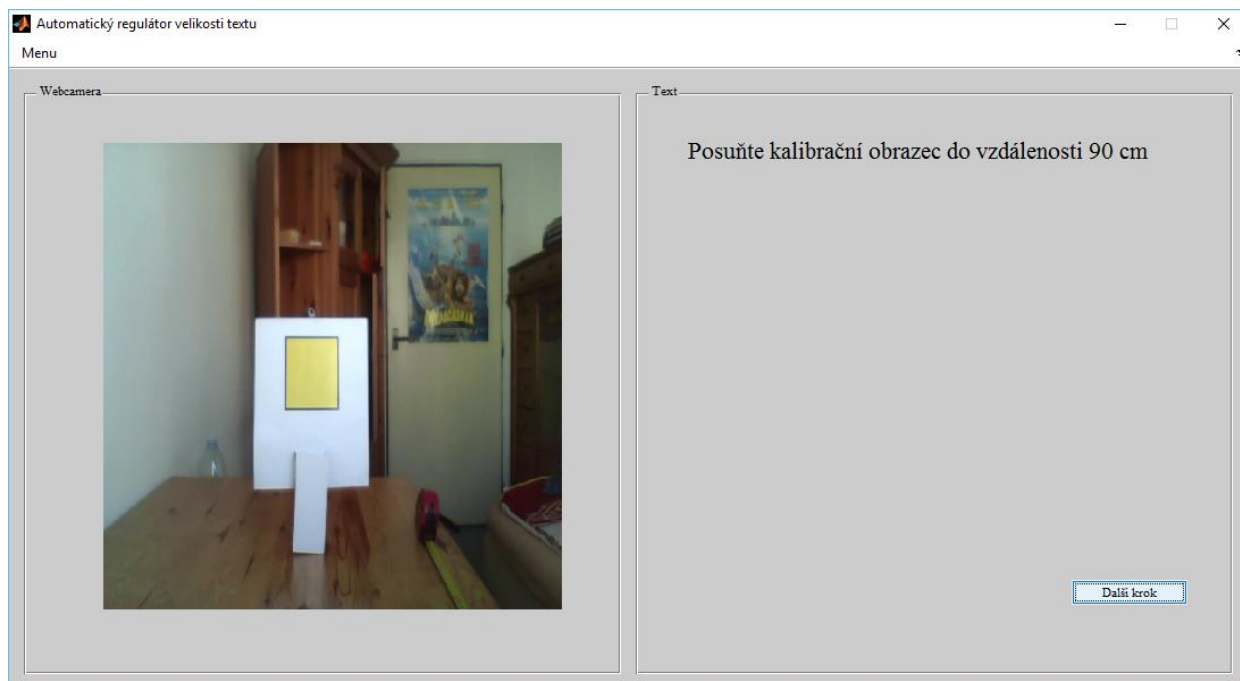
Obr. 33. Vývojový diagram kalibrace

7.4.2 Postup kalibrace

Po začátku režimu kalibrace je opět reálně snímána scéna. V režimu kalibrace je KLT algoritmus vypnut. V pravém bloku program vymezuje, jak má uživatel postupovat. Uživateli program říká, na jakou vzdálenost má být nastaven kalibrační čtverec. Názorná ukázka je vyobrazena na Obr. 34 a Obr. 35.



Obr. 34. Ukázka kalibrace 1.

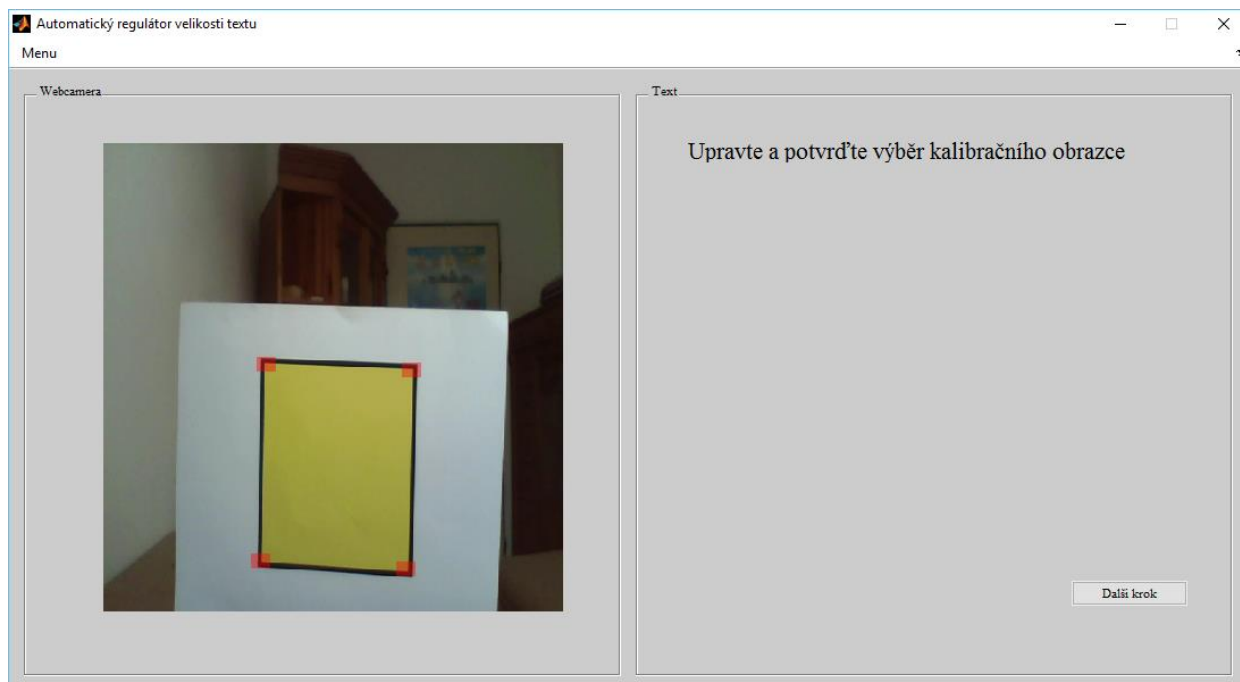


Obr. 35. Ukázka kalibrace 2.

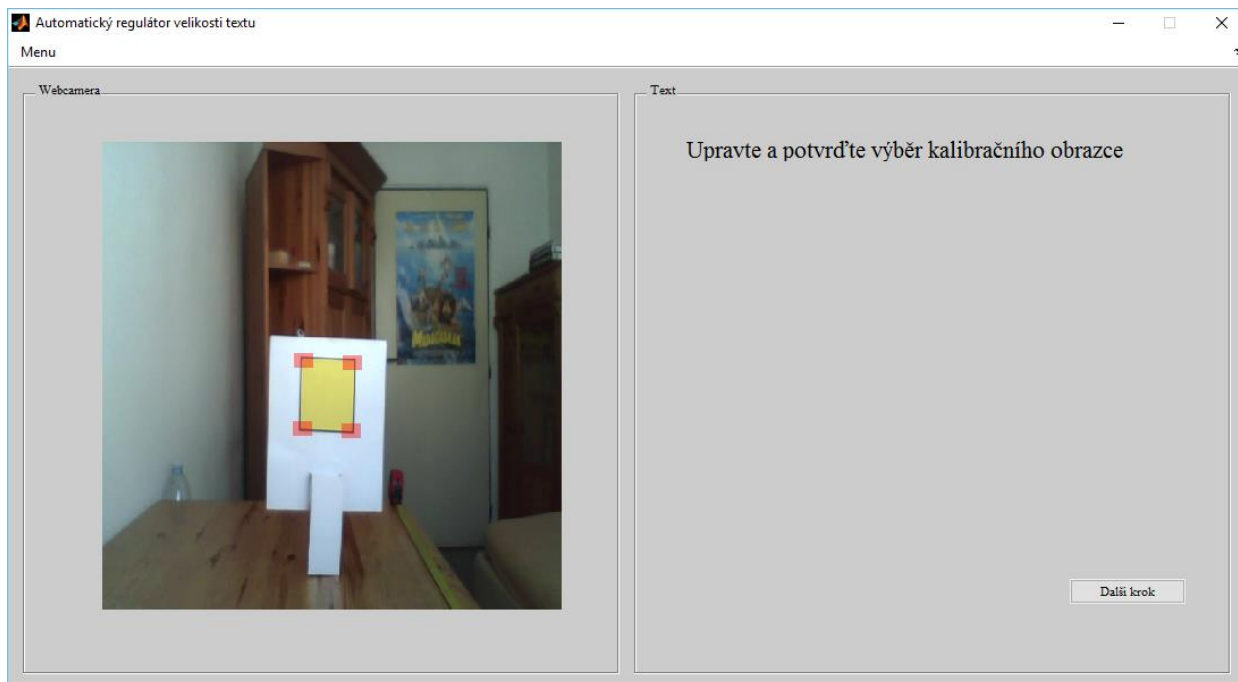
Po stisknutí tlačítka *Další krok* je z reálné scény vytvořen statický obraz. Automaticky jsou určeny rohy kalibračního čtverce. Pokud vše je v pořádku, je opět kliknuto na tlačítko *Další krok*.

V případě, že je provedena chybná detekce rohů, čtvercové body mohou být umístěny na vrcholy kalibračního čtverce za pomoci manuální korekce. Aplikace je nastavená tak, že není povinností dodržet správné pořadí čtvercových bodů pro určitý roh v kalibračním čtverci. Libovolný čtvercový bod může být přiřazen k libovolnému rohu kalibračního čtverce. V programu je automaticky nastavena hranice okraje obrazu, aby nedošlo k ztrátě čtvercového bodu.

Po provedení korektury zmáčkneme tlačítko *Další krok*. Viz Obr. 36 a Obr. 37.

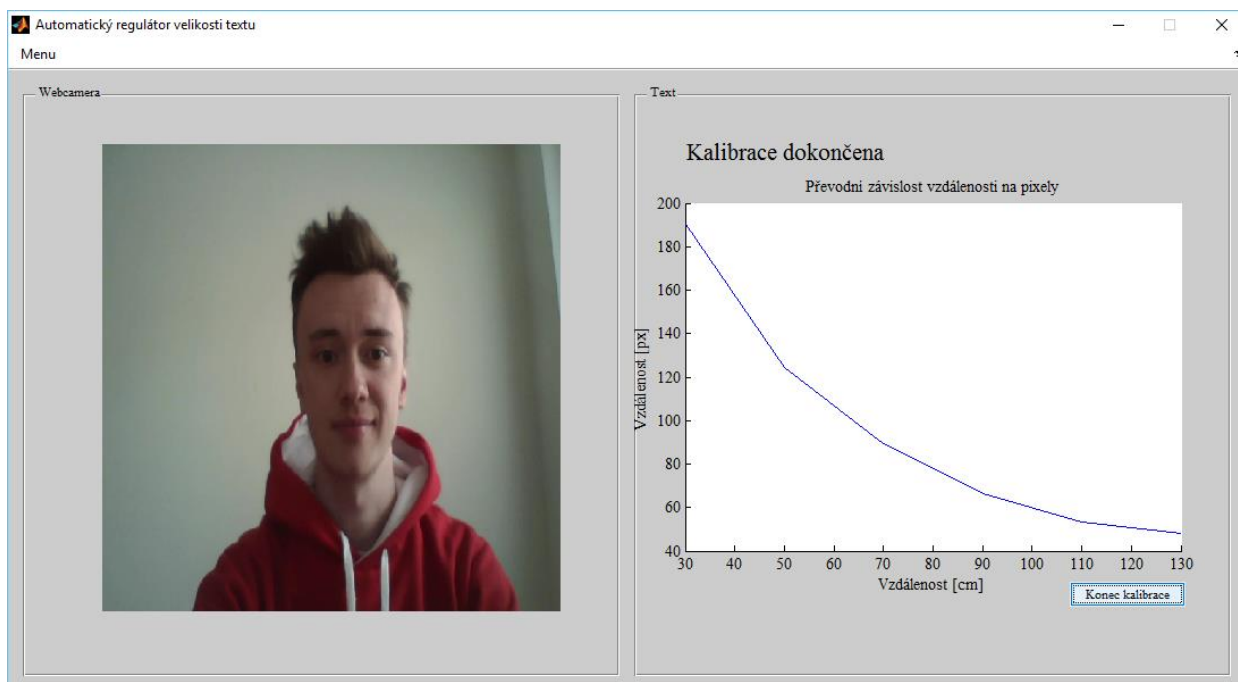


Obr. 36. Ukázka kalibrace 3.



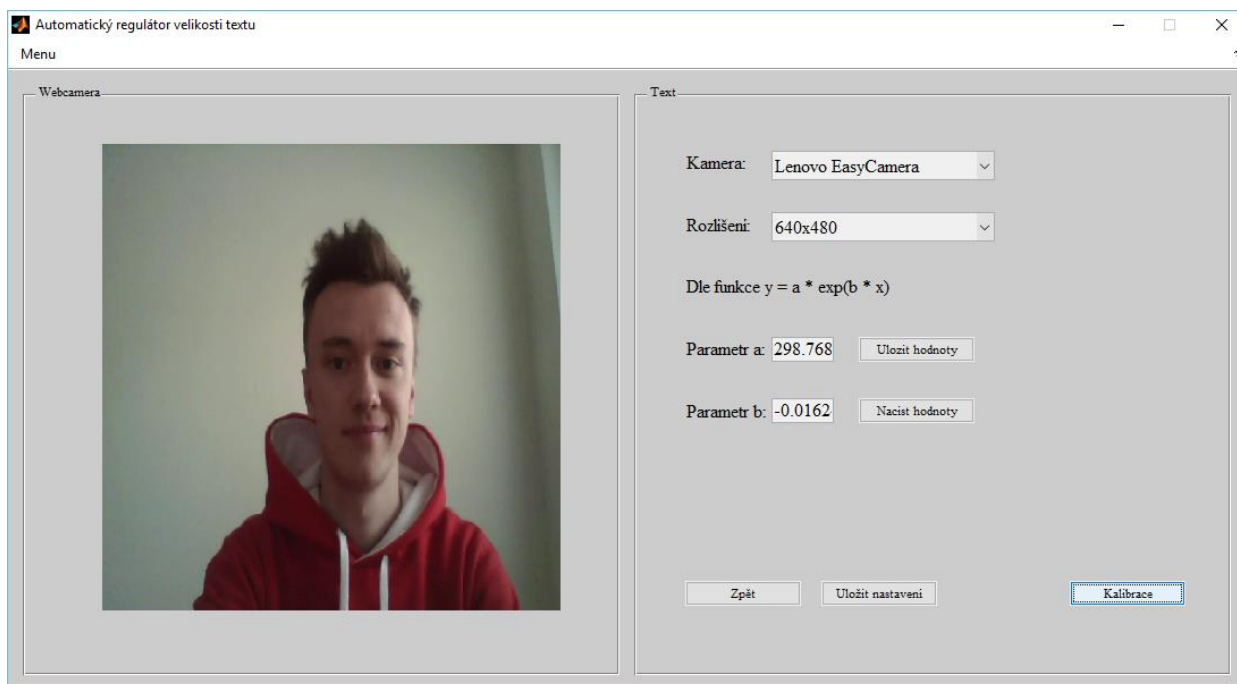
Obr. 37. Ukázka kalibrace 4.

Stejnými pokyny je po celou dobu řízena kalibrace pro všechny vzdálenosti. Tedy vzdálenosti kalibrace jsou nastaveny na 30, 50, 70, 90, 110 a 130 cm od kamery. Po skončení kalibrace je v pravém bloku programu zobrazena převodní závislost vzdálenost na pixely. Typický průběh grafu je exponenciální pokles hodnot pixelů ze vzrůstající vzdáleností. Osa x značí vzdálenost (cm) a osa y vzdálenost (px). Viz Obr. 38.



Obr. 38. Konec kalibrace

Pro ukončení kalibrace je zmáčknuto tlačítko *Konec kalibrace* a dojde automaticky přepnutí do režimu Menu. Parametry *a*, *b* jsou automaticky nastaveny podle výsledku kalibrace. Viz Obr. 39. Poté mohou být výsledné hodnoty uloženy do formátu *.txt a mohou být uloženy na pevný disk počítače. Výsledné nastavení programu musíme uložit tlačítkem *Uložit nastavení*, kvůli potvrzení získaných údajů. Dále je kliknuto na tlačítko *Zpět* a nyní dochází k přepnutí do režimu úprava velikosti textu.

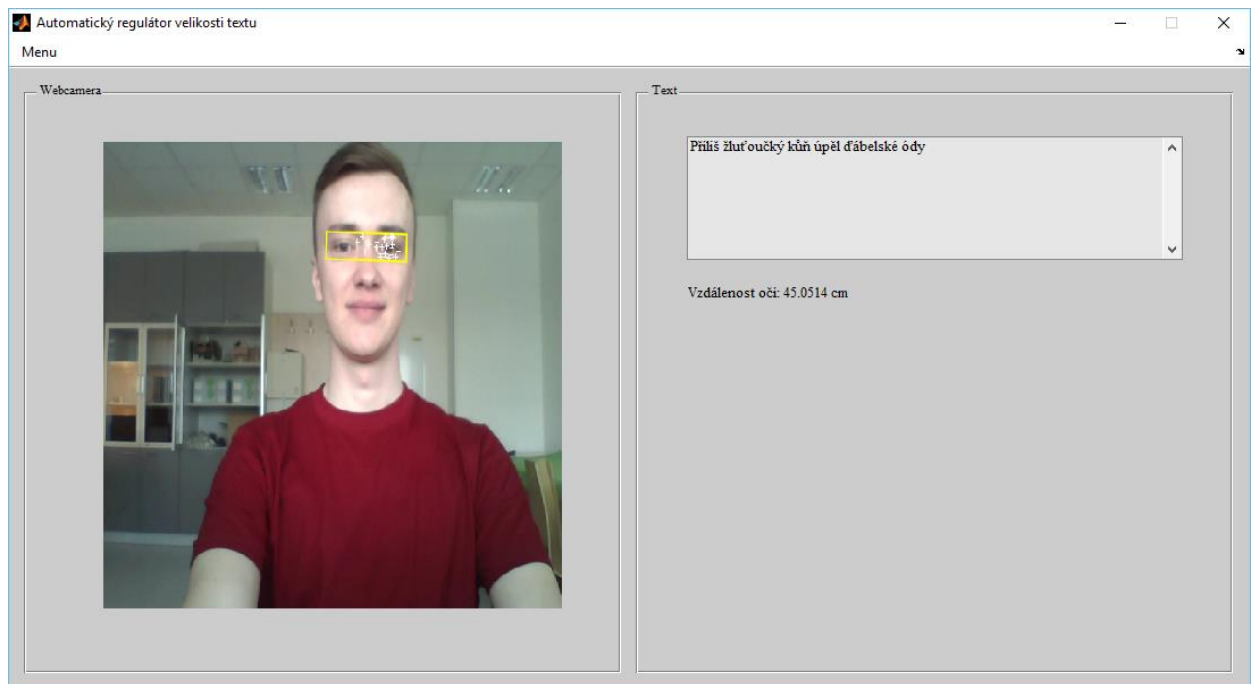


Obr. 39. Výsledek kalibrace

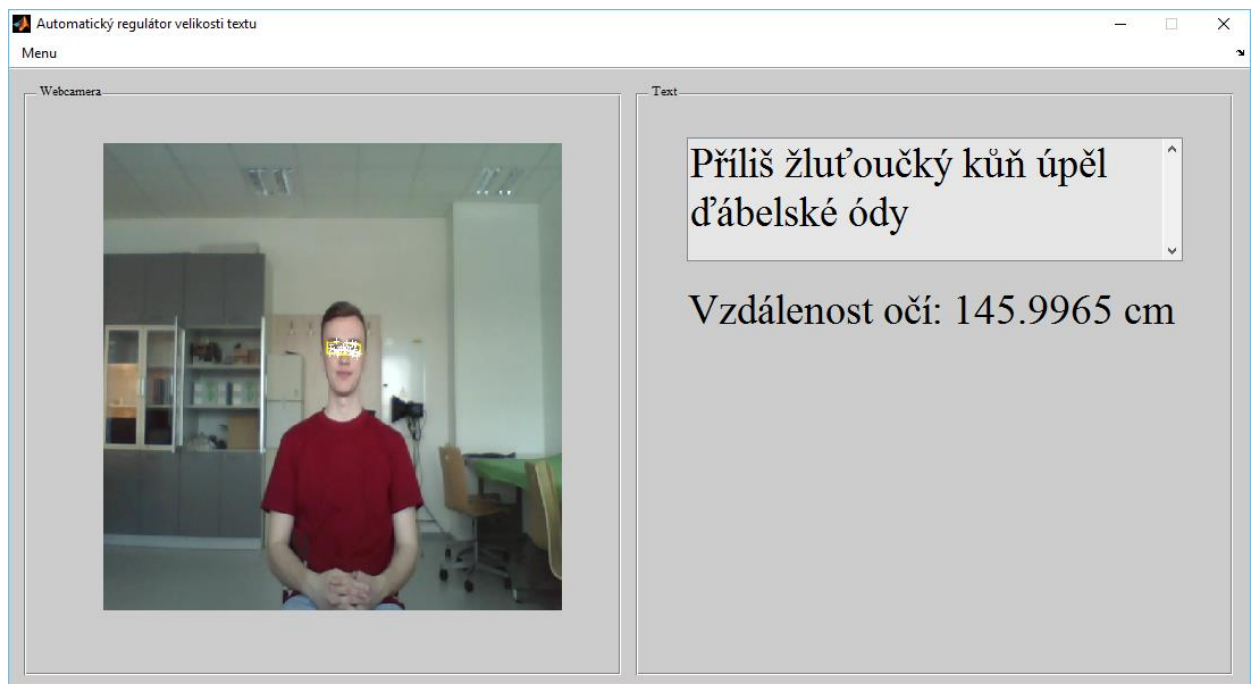
7.5 Režim úprava velikosti textu

Je spuštěn po provedení kalibrace nebo po zadání/načtení kalibračních hodnot. Dochází k zobrazení počátečního zkušebního textu, který lze libovolně změnit. Poté dochází k následné změně velikosti textu podle určené vzdálenosti uživatele od kamery.

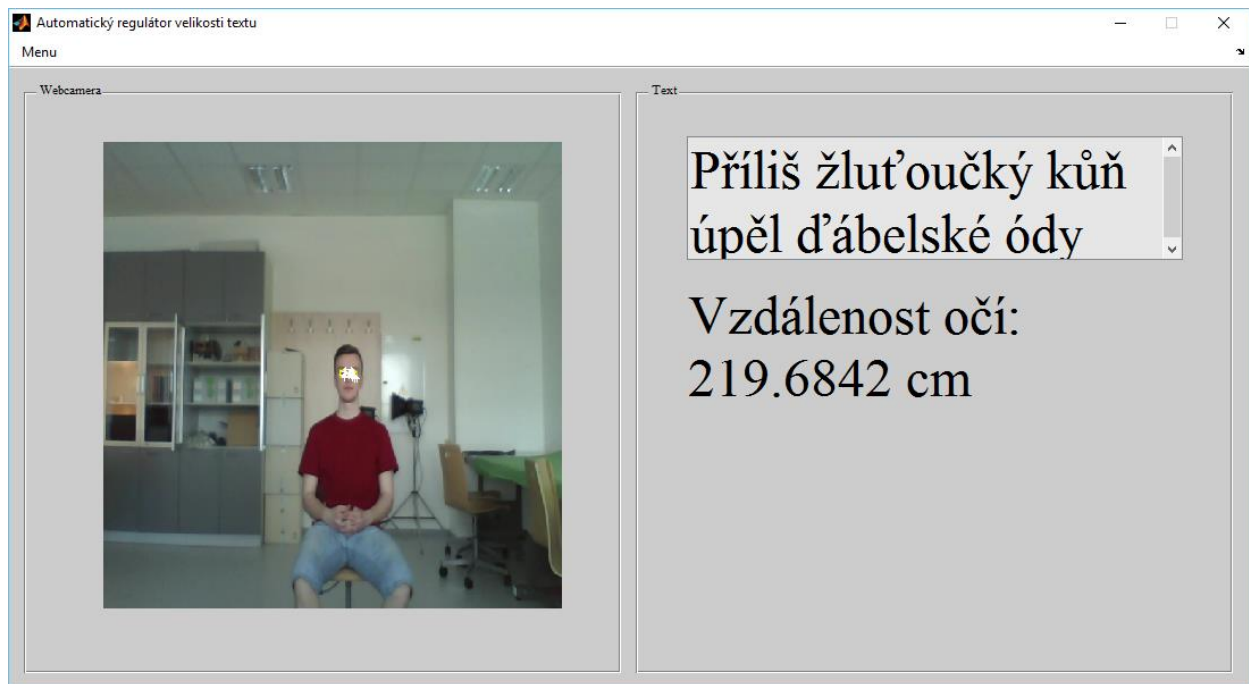
Součástí je i vyobrazení přibližné vzdálenosti oblasti očí v centimetrech, tzv. přibližný odhad uživatele od kamery.



Obr. 40. Režim úprava velikosti textu 1.



Obr. 41. Režim úprava velikosti textu 2.



Obr. 42. Režim úprava velikosti textu 3.

Na obrázkách viz Obr. 40, Obr. 41 a Obr. 42 je názorně ukázána funkčnost aplikace. Program detekuje oblast očí za pomoci sledovacího algoritmu KLT. S postupným vzdalováním a přibližováním od kamery dochází k zvětšování textu a naopak. Funkčnost aplikace není závislá na úhlu pozorování, díky sledování oblasti očí.

8 TESTOVÁNÍ FUNKČNOSTI APLIKACE

Funkčnost a uživatelskou přívětivost aplikace ověřilo 10 dobrovolníků. Testování proběhlo kvůli vyzkoušení použití aplikace na různých typech obličejů. Test probíhal po provedení kalibrace. Kalibraci bylo nutné provést pouze jednou pro určitý druh kamery a rozlišení. Dobrovolníci zkoušeli na základě měnící se vzdálenosti obličejů od kamery korektnost výpočtu vzdálenosti a následnou automatickou regulaci velikosti textu.

Kvalita aplikace je hodnocena na základě těchto parametrů:

Správná detekce očí KLT algoritmem

Parametr určující, zda po zapnutí programu dojde ke správné detekci oblasti očí a následnému vykreslení detekované oblasti kolem očí.

Korekce velikosti textu s měnící se vzdáleností

Parametr určující, zda se s měnící se vzdáleností provádí úpravy textu nezávisle na úhlu pozorování.

Čitelnost textu pro všechny vzdálenosti

Subjektivní názor uživatele, zdali je písmo čitelné pro každou vzdálenost.

Odchyłka vzdálenosti vypočtená aplikací od skutečné vzdálenosti

Určení přesnosti vzdálenosti pozice očí od kamery udávané aplikací, pro určitou skutečnou vzdálenost. Odchyłka je založena na základě rozdílu skutečné vzdálenosti od vypočítané vzdálenosti. Hodnota je vyjádřena v procentech jako rozdíl vzdáleností dělený skutečnou vzdáleností.

Pro lepší přehlednost výsledků je vytvořena Tabulka 4. Její kritéria jsou klasifikovány následovně:

✓ - aplikace reaguje správně

× - aplikace reaguje chybně

ano/ne - subjektivní názor uživatele, zdali je velikost textu čitelná pro všechny vzdálenosti

% - vyjádření průměrné odchylky vzdálenosti v procentech

	Správná detekce očí KLT algoritmem	Korekce velikosti textu s měnící se vzdáleností	Čitelnost textu pro všechny vzdálenosti	Odchylka vzdálenosti vypočtené aplikaci od skutečné vzdálenosti
Osoba 1	✓	✓	Ano	10 %
Osoba 2	✓	✓	Ano	5 %
Osoba 3	✓	✓	Ano	5 %
Osoba 4	✓	✓	Ano	5 %
Osoba 5	✓	✓	Ano	10 %
Osoba 6	✓	✓	Ano	5 %
Osoba 7	✓	✓	Ano	10 %
Osoba 8	✓	✓	Ano	5 %
Osoba 9	✓	✓	Ano	5 %
Osoba 10	× (✓)	✓	Ano	10 %

Tabulka 4. Testování aplikace

8.1 Výsledky testování

Výsledná funkčnost aplikace *Automatický regulátor textu* je velmi dobrá. Aplikace automaticky detekuje a následně sleduje oblast očí pomocí algoritmu KLT, poté je proveden výpočet pro určení vzdálenosti a na základě toho automaticky dochází k zvětšení či zmenšení textu.

Korekce textu je plynulá a mění se úměrně vzdálenosti. Čitelnost textu je podle výsledku testování pro všechny uživatele ideální pro jakoukoliv vzdálenost.

Samotná aplikace je uživatelsky přívětivá. Postup nastavení aplikace ve vytvořeném GUI je chronologický a logicky uspořádaný.

Určení hodnoty vzdálenosti očí je pouze informativní pro uživatele. Její vyobrazení je doplňkem aplikace. Určení výpočtu vzdálenosti aplikací pro určitou vzdálenost uživatele je ovlivněno mírnou odchylkou od skutečné vzdálenosti. Viz kapitola 8.2.3.

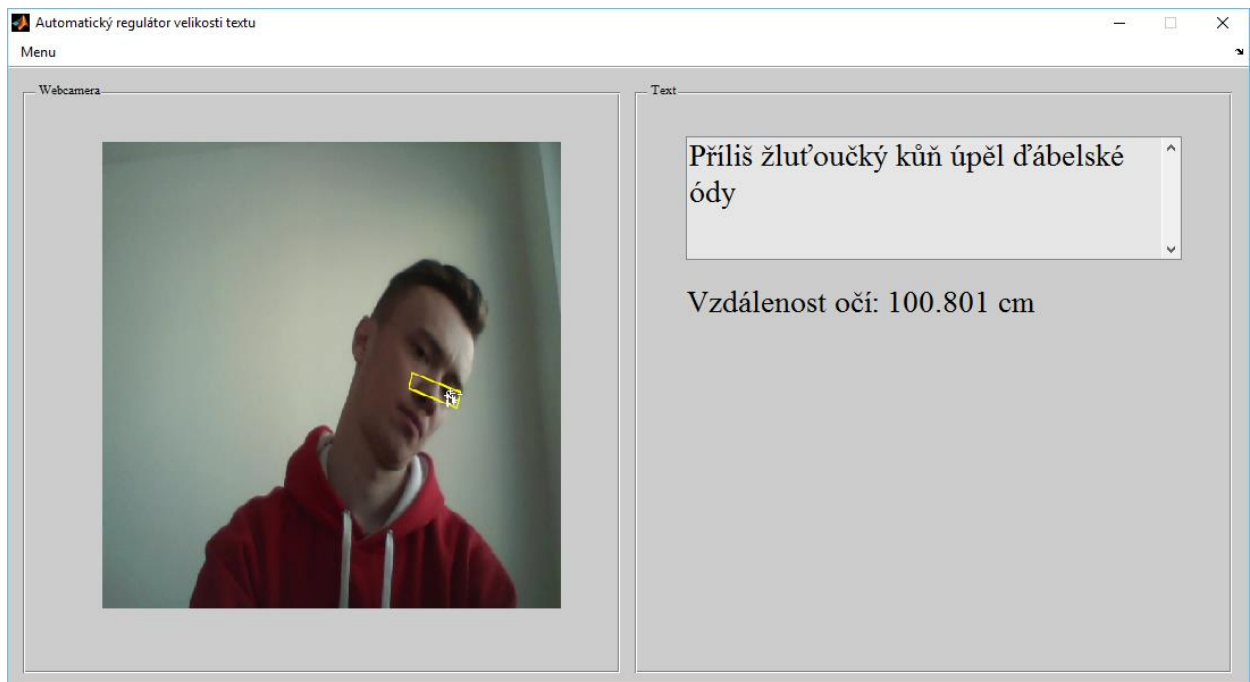
8.2 Limitace aplikace

Zde jsou popsány limitace metody *Automatický regulátor velikosti textu* a možnosti řešení.

8.2.1 Natočení detekované oblasti

V režimu úprava velikosti textu, při natočení obličeje na libovolnou stranu při detekci oblasti očí, dochází ke špatnému výpočtu vzdálenosti a tudíž k zvětšení textu neúměrně ze vzdáleností. Viz Obr. 43. Zde skutečná vzdálenost odpovídá zhruba 50 cm od kamery.

Chybu lze opravit při návratu obličeje k přímé poloze soustavy obličej – kamera, hodnoty se vrátí k odpovídající vzdálenosti. Pokud problém přetrvává, je doporučeno zakrýt na chvíli oblast očí a provést znovu detekci pomocí KLT algoritmu.

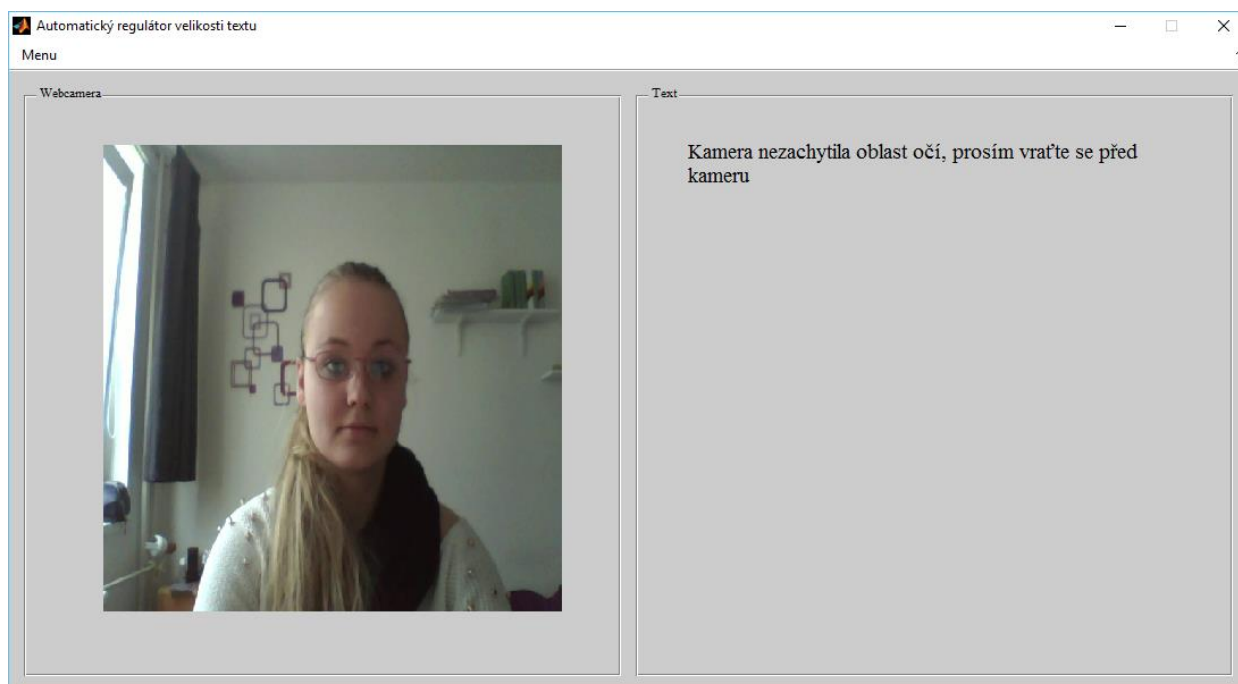


Obr. 43. Natočení detekované oblasti

8.2.2 Špatná detekce oblasti očí

V případě, že uživatel má dioptrické brýle, může dojít k nenalezení oblasti očí. Zaleží zde na úhlu pohledu uživatele a také na osvětlení, které dopadá na detekovanou oblast zájmu. Chyba spočívá v detektoru Viola Jones, v nenalezení určitých informativních příznaků. Viz kapitola 2.1. Viola Jones detektor je součástí KLT algoritmu, tudíž nemůže dojít k zahájení sledování scény.

Chybu lze opravit sundáním brýlí, nebo jiným natočením obličeje vůči kameře.



Obr. 44. Špatná detekce oblasti očí

8.2.3 Odchylka vzdálenosti vypočtené aplikací od skutečné vzdálenosti

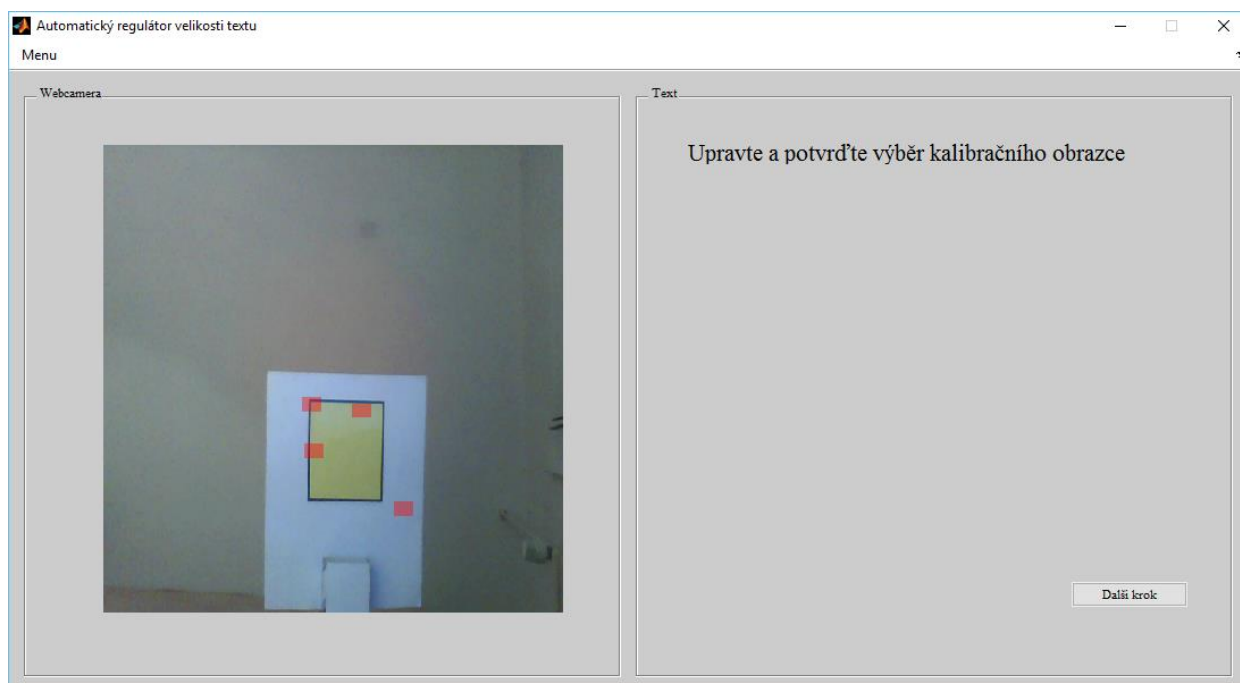
V režimu úprava velikosti textu při zobrazení vzdálenosti dochází k mírné odchylce od skutečné vzdálenosti. Odchylka se zhruba pohybuje do 10 cm od skutečné vzdálenosti. Přesnost určení vzdálenosti závisí na fyzických parametrech kamery při kalibraci a úhlu detekce očí uživatele ke kameře. S rostoucí vzdáleností uživatele od kamery roste úhlová chyba. To má za následek zvětšení odchylky při výpočtu vzdálenosti. Dalším kritériem pro určení velikosti odchylky je přesnost provedení kalibrace. Na výslednou funkčnost aplikace tato odchylka nemá žádný vliv.

Odchylku lze zkorigovat přidáním kalibračních kroků u kalibrace a také zvětšením rozsahu kalibračních vzdáleností. To má za následek rozšíření oboru hodnot exponenciální spojené s přesnějším výpočtem vzdálenosti.

8.2.4 Chybná automatická detekce kalibračního čtverce při postupu kalibrace

Při kalibraci může dojít k špatné automatické identifikaci rohů kalibračního čtverce. V případě ponechání chyby vede k špatnému výpočtu vzdálenosti a nesprávnému vykreslení exponenciální křivky. Chybná identifikace se nejčastěji objevuje při umělém osvětlení scény nebo jejím nedostatečném nasvícení. Ukázka viz Obr. 45.

Chybu lze upravit manuální korekcí a umístění čtvercových bodů na rohy kalibračního čtverce.



Obr. 45. Chybná automatická detekce kalibračního čtverce

9 DOPORUČENÉ NASTAVENÍ APLIKACE

Zde jsou popsána doporučená nastavení pro optimální chod aplikace *Automatický regulátor textu*.

Tisknutí kalibračního čtverce je doporučeno provést nejlépe na tvrdý papír, z nelesknoucího se materiálu. Musí být zachován poměr stran 10 x 10 cm.

Před začátkem kalibrace je doporučeno nastavit polohu počítače tak, aby bylo možné provést kalibraci na vzdálenost 130 cm od polohy počítače.

Při kalibraci aplikace je doporučeno se řídit pokyny programu. Nejlépe mít kalibrační čtverec pevně fixován ve vertikální rovině a posunovat jej vždy o definovanou vzdálenost v horizontální rovině. Dále je doporučeno kalibraci provádět v přirozeném osvětlení kvůli korektní automatické detekci rohů kalibračního čtverce. Zmíněný postup vede ke snížení času pro kalibraci.

Kalibraci je doporučeno provést pouze jednou pro určitou kameru, dále můžeme výsledné hodnoty uložit a v případě opětovného spuštění aplikace hodnoty kalibrace (posuv a strmost exponenciály) načíst z pevného disku počítače. To má za následek zkrácení času přeskočením kalibrace a rychlejší přepnutí do režimu úprava velikosti textu.

Při využití programu je měřeným osobám doporučeno nenosit dioptrické brýle kvůli správné detekci a sledování algoritmem KLT.

10 ZÁVĚR

Cílem teoretické části diplomové práce bylo popsat detekci obličeje ve videosnímecích a srovnat sledovací algoritmy. Dva nejběžnější sledovací algoritmy byly podrobeny různým experimentálním podmínkám a byl otestován vliv podmínek měření na výslednou funkčnost. Z výsledků objektivního hodnocení byl pro realizaci výsledného programu vybrán spolehlivější sledovací algoritmus KLT.

V praktické části byla vytvořena samostatná aplikace v programovém prostředí Matlab pojmenována *Automatický regulátor textu*. Funkcí aplikace je přizpůsobovat velikosti textu na základě vzdálenosti uživatele, a to zcela automaticky. Aplikace vyhodnocuje vzdálenost uživatele od kamery a reguluje velikost písma pro měnící se vzdálenost. Nastavení velikosti písma je založeno na regulační tabulce vycházející ze standardizovaných rozměrů písma pro určitou vzdálenost zajišťujících optimální čitelnost textu.

Před začátkem měření byla provedena kalibrace pro určení vzdálenosti. Výsledné body byly následně proloženy exponenciální křivkou. Na základě parametrů exponenciální křivky byl získán odhad vzdálenosti. Po provedení kalibrace program automaticky detekuje vzdálenost a upravuje velikost textu nezávisle na vzdálenosti uživatele. Díky možnosti uložení kalibrační hodnoty je možné kalibraci provést pouze jednou pro zvolený druh kamery.

Program byl kompletně otestován a také byla provedena diskuze získaných výsledků a limitů, na jejichž základě byla vytvořena sada doporučení pro zajištění optimálních podmínek snímání videosekvence. Aplikace *Automatický regulátor velikosti textu* může být využita za každých podmínek snímání. Výsledná funkčnost programu není ovlivněna prostředím, osvětlením a také nezáleží na individuálních vlastnostech uživatele, jako je výška, barva, odstín pleti a délka vlasů.

Hlavní využití aplikace je komfortnější čtení textu z monitoru počítače. Vytvořena aplikace může sloužit v lékařských ambulancích, její spuštění není závislé na instalaci programového prostředí Matlab. Vše potřebné pro spuštění aplikace je zakomponováno do instalace programu.

Program vytvořený ve zmíněné diplomové práci je primární myšlenka, která může být dále rozšířena. Námětem může být určení vzdálenosti pacienta při bezdrátovém měření tepové frekvence pomocí kamery.

Aplikaci *Automatický regulátor velikosti textu* lze vylepšit provedením jiným způsobem kalibrace. Přímo v programovém rozhraní Matlab je implementovaná funkce *camera calibration*, která umožňuje přesnější provedení výpočtu vzdálenosti za pomoci funkce zakomponované v Matlabu. Tato funkce však pracuje pouze v novějších verzích Matlabu (2014 a výše) a z důvodu kompatibility se staršími verzemi byla použita vlastní metoda pro kalibraci vzdálenosti. Princip porřízení výpočtu vzdálenosti je u obou metod velmi podobný.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] VIOLA, Paul; JONES, Michael. Robust Real-time object detection. Vancouver, Canada : [s.n.], 2001. 25s.
- [2] PŘINOSIL, Jiří. Analýza emocionálních stavů na základě obrazových předloh: Emotional state analysis upon image patterns : zkrácená verze Ph.D. Thesis [online]. [V Brně: Vysoké učení technické], c2008, 32 s. [cit. 2015-12-19]. ISBN 978-80-214-3924-5.
- [3] MALACH, Tobiáš, BAMBUCH, Petr, MALACH, Jindřich. Detekce obličeje v obraze s využitím prostředí MATLAB. EBIS, spol. s r.o.,[online]. [cit. 2015-12-19], Dostupné: http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/MATLAB11/prispevky/078_malach.pdf
- [4] MALACH, Tobiáš. Detekce obličeje v obraze. Brno, 2011. 69 s. Bakalářská práce. [V Brně: Vysoké učení technické], [online]. .[cit.2015-12-03] Dostupné: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39207
- [5] VIOLA, Paul; JONES, Michael Robust Real-Time Face Detection. In Internation Journal of Computer Vision . The Netherlands : Kluwer Academic Publishers, 2003. s. 137-154.
- [6] PŘINOSIL, Jiří. KROLIKOWSKI, Martin. Využití detektoru Viola-Jones pro lokalizaci obličeje a očí v barevných obrazech. Brno, 2008. 16s. Odborný článek. Vysoké učení technické v Brně. Elektrovue - Internetový časopis (<http://www.elektrovue.cz>)
- [7] PŘINOSIL, Jiří. MÍČA, Ivan. Efektivní detekce významných bodů částí obličeje. Brno, 2010. 5s. Odborný článek. Vysoké učení technické v Brně. Elektrovue - Internetový časopis (<http://www.elektrovue.cz>)
- [8] Mathworks: Documentation. Detect objects using the Viola-Jones algorithm [online]. [cit. 2015-12-03]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/help/vision/ref/vision.cascadeobjectdetector-class.html>
- [9] Mathworks: Documentation. Face Detection and Tracking Using CAMShift [online]. [cit. 2015-12-05]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/help/vision/examples/face-detection-and-tracking-using-camshift.html?searchHighlight=camshift>
- [10] Mathworks: Documentation. Face Detection and Tracking Using the KLT Algorithm [online]. [cit. 2015-12-05]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/help/vision/examples/face-detection-and-tracking-using-the-klt-algorithm.html?requestedDomain=www.mathworks.com>
- [11] Mathworks: Documentation. , Face Detection and Tracking Using Live Video Acquisition [online]. [cit. 2015-12-05]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/help/vision/examples/face-detection-and-tracking-using-live-video-acquisition.html>

- [12] Matematika.cz: Vzdálenost bodů od přímky [online]. [cit. 2015-12-03]. Dostupné z: <http://www.matematika.cz/vzdalenost-bod-primka>
- [13] Matematika.cz: Objemy a obsahy [online]. [cit. 2015-12-03]. Dostupné z: <http://www.matematika.cz/objemy-obsahy>
- [14] Fyzmatik: Optotypy - vyšetření ostrosti zraku [online]. [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/270-optotypy-vysetreni-ostrosti-zraku.html>
- [15] Microsoft: Vytvoření základního vývojového diagramu [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <https://support.office.com/cs-cz/article/Vytvo%C5%99en%C3%AD-z%C3%A1kladn%C3%ADho-v%C3%BDvojov%C3%A9ho-diagramu-e207d975-4a51-4bfa-a356-eeec314bd276>
- [16] Digimanie: Reprezentace barev v PC, RGB a barevný prostor [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.digimanie.cz/reprezentace-barev-v-pc-rgb-a-barevny-prostor/1653>
- [17] WALEK, Petr, Martin LAMOŠ a Jiří JAN. Analýza biomedicínských obrazů: Počítačové cvičení. Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií Ústav biomedicínského inženýrství, 2013. 138s. ISBN 978-80-214-4792-9.
- [18] SOJKA, Eduard. Digitální zpracování a analýza obrazů [online]. Ostrava, 2000. ISBN 80-7078-746-5 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: http://mrl.cs.vsb.cz/people/sojka/dzo/digitalni_zpracovani_obrazu.pdf
- [19] PIKORA, Jan. Implementace grafických filtrů pro zpracování rastrového obrazu. Brno, 2008. 29 s. Bakalářská práce, Masarykova univerzita fakulta informatiky,[online]. [cit. 2016-04-28], Dostupné: http://is.muni.cz/th/60754/fi_b/bakalarka.pdf
- [20] ZAPLATÍLEK, Karel, DOŇAR Bohuslav. MATLAB pro začátečníky, 2.vydání, Praha, Ben 2005, 151s, ISBN 80-7300-175-6
- [21] ZAPLATÍLEK, Karel, DOŇAR Bohuslav. MATLAB tvorba uživatelských aplikací Praha, Ben 2004, 209s, ISBN 80-7300-133-0
- [22] Matlab: Jazyk pro technické výpočty. [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.humusoft.cz/matlab/>
- [23] ŠIMEK, Jakub. Příprava výukového materiálu pro tvorbu GUI v MATLABu. České Budějovice, 2012. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.
- [24] Mathworks: Documentation. What Is Camera Calibration? [online]. [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/help/vision/ug/camera-calibration.html>
- [25] Návoděda programu MATLAB – MATLAB Help. [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.humusoft.cz/matlab/>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

Obr. - obrázek

HSV - barevný model HSV (barevný odstín, sytost barvy a jas barvy)

RGB - barevný model RGB (červená, zelená a modrá)

GRAY - je střední barva mezi černou a bílou.

1 v bloku while – běží kontinuálně, dokud nedojde k přerušení, tzv. do nekonečna

KLT - Kanade-Lucas-Tomasi algoritmus

GUI - grafické uživatelské rozhraní

Px – pixel, nejmenší jednotka (je bezrozměrná) digitální rastrové grafiky

720p – počet řádků v obraze, označováno jako HD rozlišení s poměrem stran 16:9

HD – High-definition, vysoké rozlišení

Cm – centimetr

Txt – textová data

Tzv. – takzvaný

PDF - přenosný formát dokumentů

PŘÍLOHA

Seznam obsahu přiloženého DVD

- Samostatná aplikace *Automatický regulátor velikosti textu*. Součástí je instalace aplikace. Soubory se nachází ve složce *Automatický regulátor velikosti textu*.
- Zdrojové kódy, které byly vytvořeny v programovém prostředí Matlab R2014a. Kódy jsou opatřeny popisky pro pochopení významu jednotlivých funkcí. Program je možné spustit v programovém prostředí Matlab přes kód *program*.
- Kalibrační čtverec ve formátu PDF.
- Uložené kalibrační hodnoty ve formátu *.txt, pro rozlišení 640 x 480 integrované webkamery 720p HD.