UNIVERZITA PAVLA JOZEFA ŠAFÁRIKA V KOŠICIACH
PRÍRODOVEDECKÁ FAKULTA

RIADENIE SOFTVÉROVÝCH PRODUKTOV POMOCOU HCI KOMPONENTOV

Diplomová práca

2019 **Richard Staňa**

UNIVERZITA PAVLA JOZEFA ŠAFÁRIKA V KOŠICIACH
PRÍRODOVEDECKÁ FAKULTA

RIADENIE SOFTVÉROVÝCH PRODUKTOV POMOCOU HCI KOMPONENTOV

Diplomová práca

Študijný program:	Informatika
Študijný odbor:	9.2.1. - informatika
Školiace pracovisko:	Ústav informatiky
Vedúci práce:	prof. RNDr. Gabriel S e m a n i š i n, PhD.
Konzultanti:	Ing. Viktor Michalčin, PhD., Matúš Kirchmeyer

Košice 2019 **Richard Staňa**

Abstrakt

Tu bude abstrakt 1. Analyzovať existujúce prístupy k riadeniu SW produktov pomocou HCI komponentov. 2. Navrhnúť vlastné HCI komponenty a vhodným spôsobom ich implementovať. 3. Pokúsiť sa pilotne implementovať vytvorené komponenty do existujúcich SW produktov.

Kľúčové slová: *videokonferenčný a kolaboračný systém, detekcia reči, detekcia tváre, detekcia bodov na tvári, HCI, riadenie SW produktov.*

Obsah

Zoznam použitých skratiek

AVAD - Acoustic Voice Actividy Detection
CLI - Command-Line Interface
CNN - Convolutional neural network
DCNN - Deep convolutional neural network
DNN - Deep neural network
EBGM - Elastic Bunch Graph Matching
GMM - Gausian Mixture Model
GUI - Graphical User Interface
HCI - Human–Computer Interaction
HoG - Histogram of oriented gradients
SVM - Support-vector machine
VAD - Voice Activity Detection
VVAD - Visual Voice Actividy Detection

Úvod

Predstavme si situáciu konferenčného hovoru. Jeden z účastníkov potrebuje niečo urobiť, no jeho aktivita by bola hlučná, čím by rušil ostatných účastníkov a teda si vypne mikrofón. Samozrejme, neskôr keď chce niečo povedať, nezapne mikrofón a ostatní ho nepočujú. Ako by sme sa mohli popísanej situácií vyhnúť? Čo tak zapínať a vypínať mikrofón automaticky podla toho, či človek sediaci pred kamerou rozpráva alebo nerozpráva. Jedným z riešení by mohla byť detekcia reči (Voice activity detection - VAD) pomocou mikrofónu (Acoustic Voice Actividy Detection - AVAD). Toto riešenie však nemusí byť najpresnejšie, napríklad by nemuselo detegovať tichý hlas alebo by detegovalo nechcený šum a podobne. Vhodným zlepšením by mohlo byť pridanie VAD pomocou obrazu webovej kamery (Visual Voice Actividy Detection - VVAD). VVAD by mohlo priniesť viacero vylepšení, napríklad: odstránenie detekcie nechcených zvukov a šumu.

V práci sa zaoberáme možnosťami detekcie tváre v obraze, detekciou bodov na tvári a detekciou reči všeobecne. Rozoberáme existujúce riešenia danej problematiky a snažíme sa navrhnúť a implementovať vlastné riešenia.

Cieľom práce je analyzovať existujúce prístupy k riadeniu SW produktov pomocou HCI komponentov. Následne navrhneme vlastné HCI komponenty a pokúsime sa ich vhodným spôsobom ich implementovať. Nakoniec sa budeme snažiť pilotne implementovať vytvorené komponenty do existujúcich SW produktov.

V prvej kapitole sa zaoberáme pojmom Human-Computer Interface a jeho históriou. V druhej opisujeme existujúce riešenia detekcie reči. V tretej je analyzovaný návrh riešenia, možnosti VVAD a AVAD a ich existujúce implementácie. Detailný popis našej implementácie sa nachádza v kapitole 4. Posledná kapitola obsahuje výsledky testovania nami implementovaného riešenia VAD.

1 Teoretický prehľad

1.1 Interakcia človek počítač

HCI - Human-Computer Interaction (interakcia človek počítač), je medziodborová disciplína, ktorá skúma problematiku interakcie a komunikácie medzi človekom a počítačom. Vznikla na prelome 70. a 80. rokov dvadsiateho storočia, v dobe, keď začali vznikať prvé osobné počítače. HCI v sebe spája veľa odborov, ktoré na prvý pohľad nemajú nič spoločné. Ak sa však chceme zaoberať vytváraním používateľských rozhraní, kľúčové sú nasledujúce disciplíny: informatika, ergonómia, umenie, design, psychológia, kognitívna psychológia, lingvistika, sociológia, filozofia, antropológia, fyziológia, umelá inteligencia, inžinierstvo, kognitívna veda, etika, estetika a. i.

Informatika sa v oblasti HCI zameriava najmä na design a tvorbu informačných systémov a ich rozhraní tak, aby boli co najjednoduchšie a najintuitívnejšie pre špecifickú skupinu používateľov. HCI skúma aj vnímanie, správanie a informačné potreby koncového používateľa. Hlavným cieľom HCI je dosiahnuť lepšiu použiteľnosť a intuitívnosť informačných systémov aj pre menej odborných používateľov. [13]

1.2 Vývoj HCI

Je zaujímavé sledovať, ako sa HCI vyvíja v priebehu času. Od primitívnych klávesníc sme sa postupne dostali cez počítačovú myš, dotykové obrazovky a podobne až ku hlasovému ovládaniu a rôznym gestám, ktoré nám zjednodušujú každodenný život. V tejto časti presnejšie popíšeme historický vývoj komunikácie medzi človekom a počítačom.

1.2.1 Príkazový riadok

Od polovice 60. rokov sa CLI - Command-Line Interface (príkazový riadok) používa ako hlavný spôsob komunikácie človeka s počítačom. Používateľ zadáva príkazy pomocou klávesnice, výsledky vidí na monitore väčšinou v textovej podobe. Používanie CLI pokračuje v 70. a 80. rokoch systémoch OpenVMS, Unix a osobných počítačoch MS-

DOS, CP/M a Apple DOS. Pre skúseného používateľa má CLI veľa výhod, uvedieme niektoré z nich:

- rýchlosť a efektívnosť,
- možnosť použitie skriptov,
- história príkazov,
- nie je potrebná myš, stačí klávesnica, ...

Ale pre menej skúseného používateľa prináša veľa nevýhod, napríklad:

- prostredie je veľmi neintuitívne a striktné,
- nemožnosť použitia myši, ...

CLI bolo postupne nahradené grafickým prostredím, no v niektorých oblastiach sa stále používa. Najmä medzi používateľmi linuxu, na spravovanie serverov alebo pri programovaní v niektorých prostrediach.

1.2.2 Grafické používateľské rozhranie

S príchodom väčšieho grafického výkonu vzniká GUI - Graphical User Interface (Grafické používateľské rozhranie). Okrem klávesnice sa používa počítačová myš a vzniká pracovná plocha, okná, ikony, rôzne gestá (dvojklik myši, drag and drop, ...), zlepšujú sa možnosti používania pre slabozrakých. Oproti CLI má GUI veľké výhody pre neskúseného používateľa:

- intuitívnosť,
- rýchlosť - v špecifických prípadoch (napr. presúvanie súborov), ...

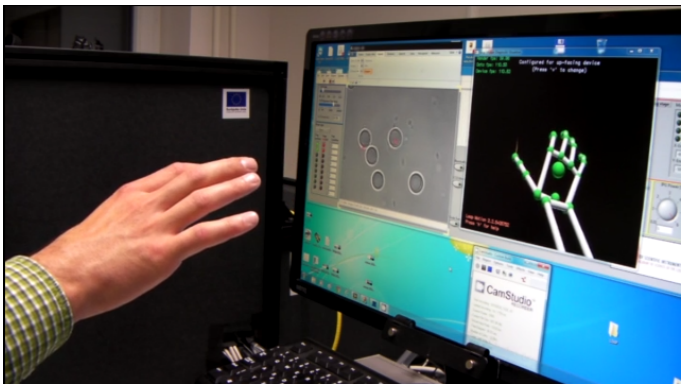
Často ale môže nastať prípad, keď sú niektoré nastavenia príliš hlboko v systéme a pomocou GUI sa k nim nie je možné dostať. V dnešnej dobe je GUI najpoužívanejším typom HCI na osobných počítačoch.

1.2.3 Prirodzené používateľské rozhranie

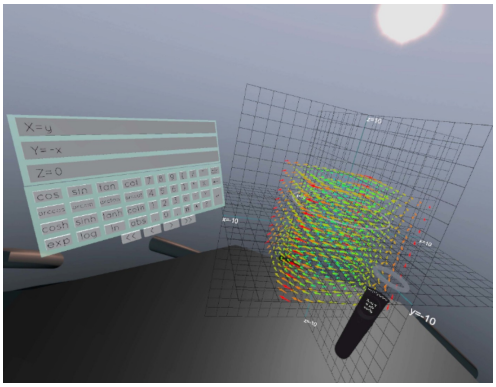
S príchodom nových technológií (smartfónov, virtuálnej reality, ...) sa do popredia začína dostávať NUI - Natural User Interface (Prirodzené používateľské rozhranie). Pomocou NUI dokáže používateľ úplne prirodzene, priamo a intuitívne interagovať s počítačom. Príkladom NUI, s ktorým sa už asi každý stretol, je používanie gest

na dotykových obrazovkách. Ďalšie príklady NUI je možné vidieť na nasledujúcich obrázkoch 1, 2 a 3.

Obr. 1: Google Home - Inteligentný domáci asistent, s ktorým sa komunikuje pomocou hlasových príkazov. [2]



Obr. 2: Manipulácia objektov pomocou optickej pinzety, kontrolovaná pozíciou prstov. [20]

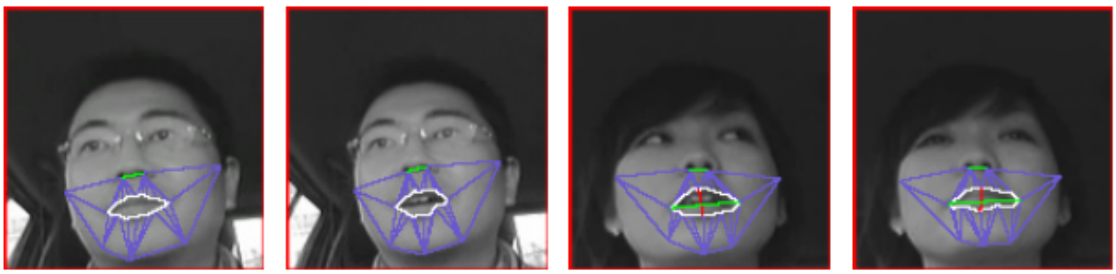


Obr. 3: Používanie aplikácie Calcflow vo virtuálnej realite. [12]

2 Riešenia detekcie reči

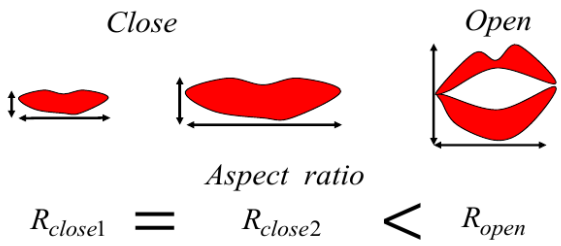
V nasledujúcich odsekoch ukážeme niekoľko existujúcich riešení. Zameriame sa na použité technológie, dosiahnuté výsledky a problémy, ktoré majú uvedené riešenia.

V [1] riešia VAD - Voice Activity Detection (detekciu reči) u šoféra v aute. V tomto prostredí je veľa nepriaznivých zvukov, ako je napríklad zvuk motora, rádio, reč spolucestujúcich, ... Detekcia reči môže byť pre šoféra veľmi užitočné, lebo je zaneprázdnený riadením vozidla, no z dôvodov uvedených v predchádzajúcej vete je veľmi náročná. Reč detegujú zo zvuku pomocou Gausian mixture model (GMM). Túto detekciu kombinujú s VVAD - Voice Activity Detection (VAD pomocou videa). Kvôli odfiltrovaniu nepriaznivých odleskov a nedostatku svetla v noci používajú infračervenú kameru. Z šedo-tónového obrazu získavajú obrysy pier, pomocou Elastic Bunch Graph Matching (EBGM). Ukážku získaného obrysu pier je možné vidieť na 4.



Obr. 4: Získavaný obrys pier pomocou EBGM. [1]

Z pier určujú pomer ich výšky a šírky. Získaný pomer má výhodu v nezávislosti od vzdialenosti tváre od kamery. Obrázok 5 vysvetľuje prečo sa pomer mení, len keď človek rozpráva.



Obr. 5: Pomer výšky a šírky pier sa zmení len keď sa ústa otvárajú a zatvárajú. [1]

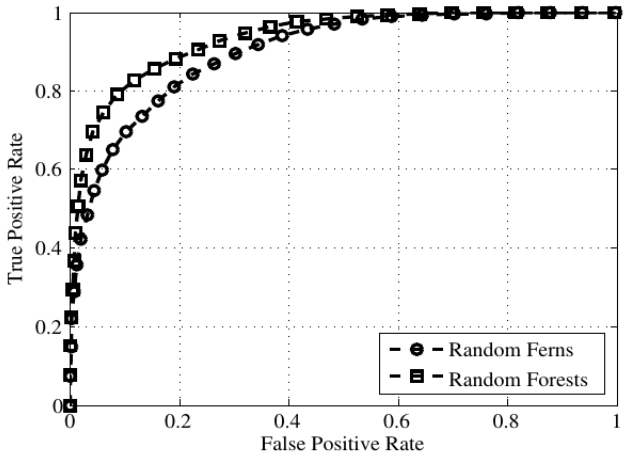
Navrhnutú metódu testovali tak, že šofér (raz muž a raz žena) prečítal 100 názvov japonských miest. Testovaná metóda priemerne zlepšuje detekciu reči o 40% oproti použitiu len AVAD - Audio Voice Activity Detection (VAD pomocou zvuku). Získane výsledky možno vidieť v tabuľke 1.

	Všetky zdetegovania reči	Správne zdetegovania reči	Úspešnosť	Presnosť
muž	106	100	100%	94,33%
žena	118	100	100%	84,75%

Tabuľka 1: Výsledky testovania metódy v práci [1]

Nevýhodou metódy je to, že funguje len pri pohľade spredu. V článku sa nepíše nič o rýchlosti ich riešenia.

V [21] sa zaoberajú detegovaním reči z jednoduchej webovej kamery. Najprv orežú snímky videa na oblasť pier. Snímky prevedú do šedotónovej oblasti, vyrežú 200 náhodných oblastí a urobia rozdiel všetkých snímok a prvého. Takto vedia modelovať zmeny vo vzhľade podľa rozdielov v čase. Z každého rozdielu počítajú štatistické koeficienty priemer, smerodajnú odchýlku a priemer nad prvou deriváciou. Aplikovaním popísaného postupu vytvorili tréningovú množinu o veľkosti 130 000. Následne natrénovali klasifikátor Random Forest s veľkosťou 20 stromov a maximálnou hĺbkou 10. Random Forest porovnávali s klasifikátorom Random Ferns. Random Ferns dosahovali pri rôznych nastaveniach parametrom stále horšie výsledky ako Random Forests. Porovnanie týchto dvoch metód je na obr. 6.



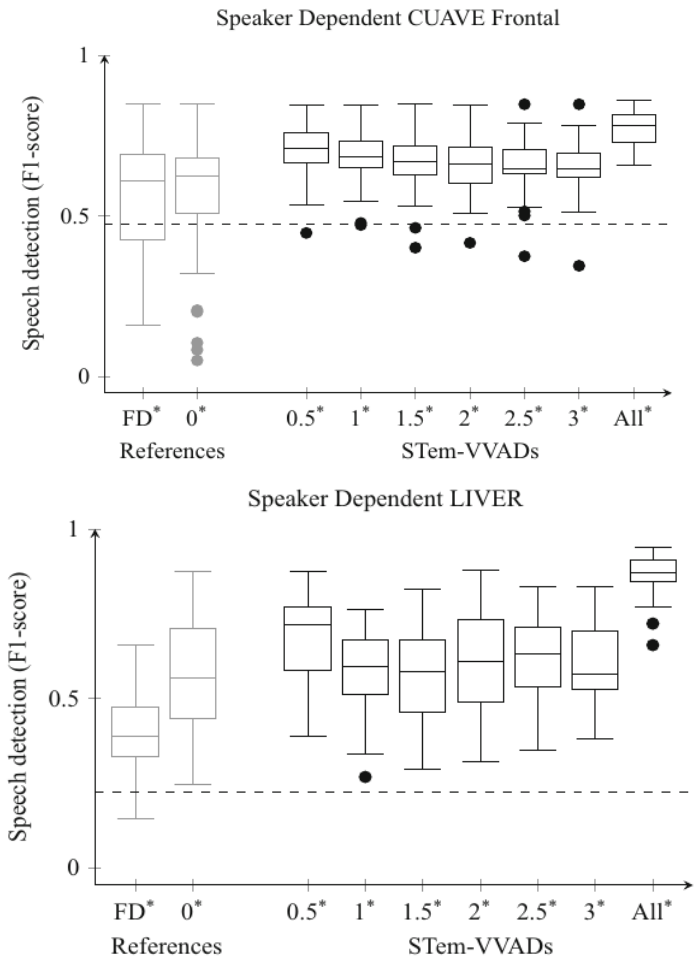
Obr. 6: Porovnanie klasifikátorov Random Forest a Random Ferns. [21]

Podľa článku navrhnutá metóda používa pohľad na tvár spredu a je použiteľná v reálnom čase (30 fps), kvôli rýchlosti výpočtu Random Forest.

V článku [7] popisujú a testujú metódu VVAD založenú na časopriestorových Gáborových filtroch (angl. Spatiotemporal Gabor filters), ktorá podľa autorov nebola nikdy predtým na VVAD použitá. Používajú dve dátové sady: CUAVE - obsahuje nahrávky reči pri pohľade spredu aj z profilu a LIVER - obsahuje nahrávky vyslovovania holandského slova „liver“ pri pohľade spredu. Ich metóda sa skladá z 2 fáz:

- fáza predspracovania - aplikovanie časopriestorových Gáborových filtrov na zistenie energií v konkrétnych rýchlostiach (jeden z parametrov časopriestorových Gáborových filtrov),
- agregačná a klasifikačná fáza vytvárajúca sumáciu a klasifikátor, na priradzovanie agregovaných energetických hodnôt do binárnych tried (SPEECH a NON-SPEECH).

Autormi navrhnutú metódu porovnávajú s 2 referenčnými metódami - metódou založenou na rozdieloch snímok a metódou založenou na štandardných Gabor filters. Ich metóda bola v skoro všetkých prípadoch lepšia ako referenčné metódy. Niektoré porovnania je možné vidieť na obr. 7.



Obr. 7: Porovnanie referenčných metód založených na rozdieloch snímok (FD*) a štandardných Gabor filters (0*) s metódou založenou na časopriestorových Gáborových filtroch s rôznymi parametrami rýchlosti (0,5*, 1*, 1,5*, 2*, 2,5*, 3*, All*). [7]

Metóda z článku [7] funguje pri pohľade spredu aj z profilu. V článku sa nepíše nič o rýchlosti ich riešenia.

3 Návrh riešenia

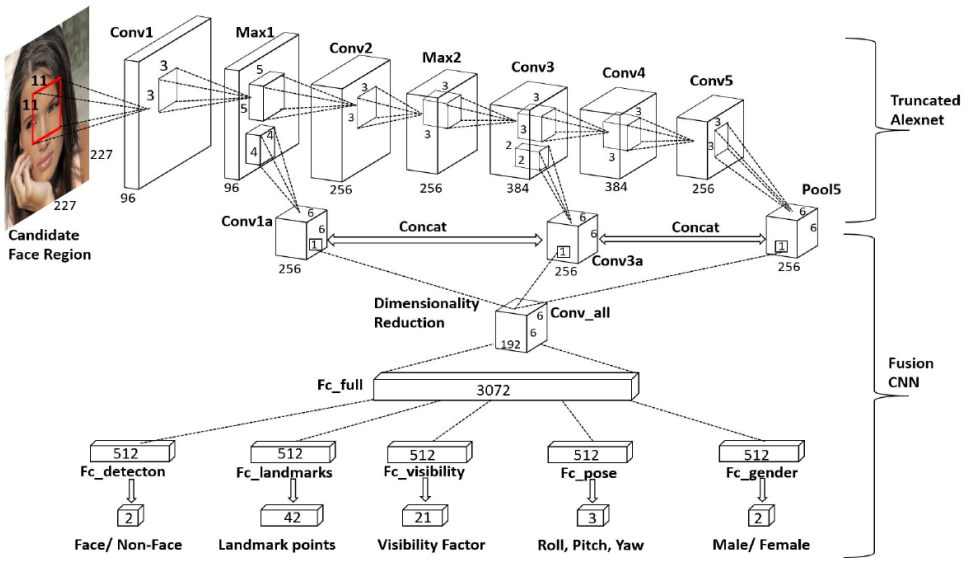
Po preštudovaní uvedených článkov, sa ako najpoužiteľnejšie riešenie pre VVAD javí sledovať zmeny pohybu pier popísanú v článku [1]. V článku sa nepíše nič o rýchlosti nimi vytvoreného riešenia EBGM na detekciu pier v obraze a riešenie asi nebude fungovať v reálnom čase. Naše riešenie bude musieť v reálnom čase fungovať, keďže zapínanie a vypínanie mikrofónu pri videohovore si to vyžaduje. V nasledujúcej časti opíšeme články zaoberajúce sa detekciou bodov na tvári.

3.1 Detekcia bodov na tvári - VVAD

V článku [15] prezentujú algoritmus na simultánnu detekciu tvárí, bodov na tvári, pozíciu (otočenie) tváre (hlavy) a rozoznávanie pohlavia s použitím DCNN. Uvádzajú dve verzie ich algoritmu nazývaného HyperFace:

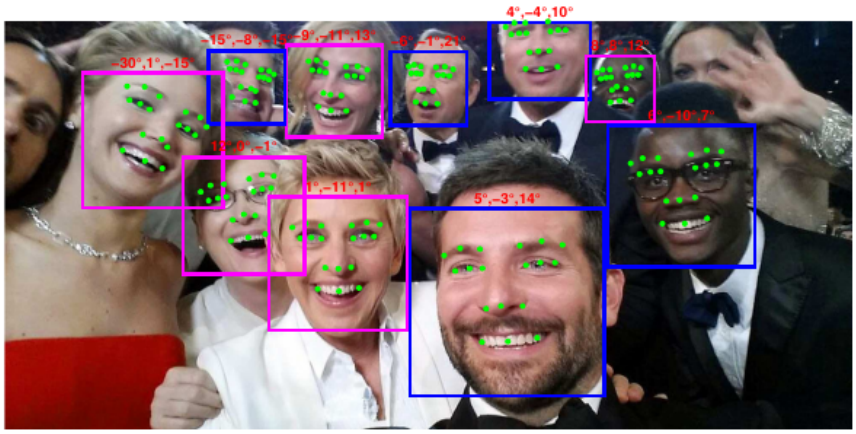
- HyperFace-ResNet, krotý je postavený na modeli ResNet-101 a prináša značné zlepšenie výkonu algoritmu,
- Fast-HyperFace, ktorý používa rýchlejší detektor tvárí na zrýchlenie algoritmu.

Na obr. 8 je architektúra siete HyperFace.



Obr. 8: Architektúra DCNN HyperFace. [15]

Kvôli testovaniu na rôznych dátových sadách trénovali sieť pre rôzne počty bodov (21, 68, ...) na tvári. Ukážka výsledkov algoritmu je na obr. 9.



Obr. 9: Algoritmus simultánne deteguje tváre, body na tvári (zelené body), pohlavie (modrý štvorec - muž, ružový štvorec - žena) a pozíciu tváre (červené čísla nad štvorcami - priečny sklon, pozdĺžny sklon a zatočenie). [15]

Práca [8] popisuje detekciu bodov na tvári pomocou súboru regresných stromov v reálnom čase. Na obr. 10 sú výsledky algoritmu na testovacej dátovej sade.

Obr. 10: Testovacie výsledky algoritmu používajúceho náhodné regresné stromy na nájdenie 194 bodov na tvári. [8]

Pre náš problém sa javí riešenie z článku [8] ako lepšie, keďže už názov článku hovorí o jeho rýchlosti (One millisecond face alignment with an ensemble of regression trees). Ďalšou výhodou tohoto riešenia je to, že je implementované v knižniciach Dlib a OpenCV.

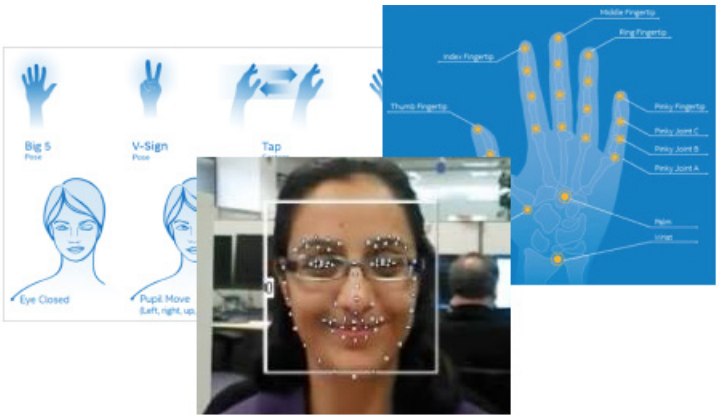
(K tomuto článku budem neskor chcieť spísať matematiku, keďže ho v diplomke najviac používam)

3.2 Existujúce implementácie

V tejto podkapitole popíšeme existujúce knižnice (implentácie), ktoré sa zaoberajú detekciou tváre a bodov na nej.

3.2.1 Intel RealSense

V roku 2018 predstavil Intel prvé hĺbkové kamery RealSense. K týmto kamerám vydal SDK [5] pre operačný systém Windows. Toto SDK dokázalo v obmedzenej miere pracovať aj s bežnou webovou kamerou. Dostupná bola pre nás dôležitá metóda detekcie bodov na tvári. Ukážka funkcionality SDK je na obr. 11.



Obr. 11: Prvé SDK k Intel RealSense dokázalo sledovať ruku a prsty, analyzovať tvár, rozpoznávať reč a. i. [5]

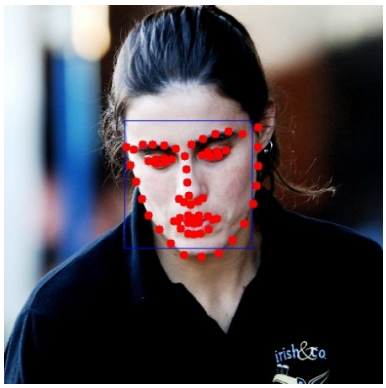
Existujú 2 dôvody, prečo toto riešenie nie je pre nás vhodné:

- podporovaný bol len operačný systém Windows - naše riešenie má byť multiplatformové,
- vývoj SDK bol zastavený.

Toto SDK bolo nahradené novým multiplatformovým SDK [6], ktoré už ale nevie pracovať s bežnou webovou kamerou.

3.2.2 Knižnica OpenCV

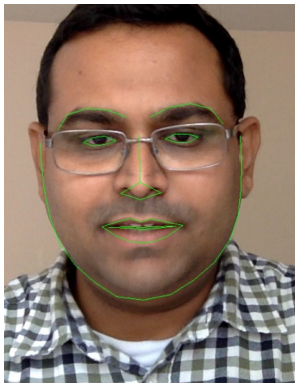
OpenCV [14] (Open Source Computer Vision Library) je multiplatformová knižnica zameraná na počítačové videnie. V knižnici OpenCV je implementovaná detekcia tvárí a aj detekcia bodov na tvári z článku [8]. Prečo nepoužijeme knižnicu OpenCV si popíšeme v kapitole 3.2.4. Ukážku detekcie je možné vidieť na obr. 12.



Obr. 12: Ukážka výsledku detekcie bodov na tvári pomocou knižnice OpenCV. [14]

3.2.3 Knižnica Dlib

Dlib[9] je moderná multiplatformová knižnica obsahujúca nástroje pre strojové učenie a vytváranie komplexného softvéru v jakyku C++. Ako sme spomínali v predchádzajúcej podsekcii v knižnici Dlib je implementovaná detekcia bodov na tvári z článoku [8]. Ukážka detekcie bodov na tvári pomocou knižnice Dlib je na obr. 13.



Obr. 13: Detekcia detekcie 68 bodov na tvári pomocou knižnice Dlib. [10]

3.2.4 Porovnanie knižníc OpenCV a Dlib

V oboch knižniciach je implementovaná detekcia bodov na tvári z článku [8]. Ako problém ostáva nájdenie tváre v obraze. Obe knižnice ponúkajú viacero metód, ktoré tento problém riešia. Na stránke [3] porovnávajú metódy detekcie tváre v knižniciach OpenCV a Dlib. Zameriavajú sa na 4 nasledujúce metódy:

- detekcia tváre pomocou Haar Cascade - OpenCV,
- detekcia tváre pomocou DNN - OpenCV,
- detekcia tváre pomocou HoG - Dlib,
- detekcia tváre pomocou CNN - Dlib.

Popíšeme výhody a nevýhody jednotlivých metod.

Detekcia tváre pomocou **Haar Cascade - OpenCV** bola špičkovou od roku 2001, kedy bola predstavená výskumníkmi Violom a Jonesom.

Výhody:

- funguje takmer v reálnom čase na CPU,

- jednoduchá architektúra,
- deteguje tváre rôznych veľkostí.

Nevýhody:

- deteguje veľa objektov, ktoré nie sú tvárami,
- nefunguje na tvárach, ktoré nie sú pri pohľade spredu,
- nefunguje ani pri čiastočnom zakrytí tváre.

Detekcia tváre pomocou **DNN** je v OpenCV implementovaná od verzie 3.3.

Výhody:

- najpresnejšia zo štyroch uvedených metód,
- funguje v reálnom čase na CPU,
- rozpozná rôzne otočené tváre,
- funguje aj pri značnom zakrytí tváre,
- deteguje tváre rôznych veľkostí.

Nevýhody:

- žiadne, až na tú, že nasledujúca metóda je rýchlejšia.

Detekcia tváre pomocou **HoG** je široko používaný model v knižnici Dlib založený na HoG a SVM.
Výhody:

- najrýchlejšia zo štyroch uvedených metód na CPU,
- funguje veľmi dobre pri pohľade na tvár spredu a mierne zboka,
- jednoduchý a nenáročný model v porovnaní s ostatnými,
- funguje pri čiastočnom zakrytí tváre.

Nevýhody:

- hlavná nevýhoda je, že metóda nedeteguje malé tváre (cca. 80x80 pixelov),

- box ohraničenia tváre často vynecháva čelo a bradu,
- nefunguje dobre pri značnom zakrytí tváre,
- nefunguje pre pohľad zboka a pre pohľad hore a dole.

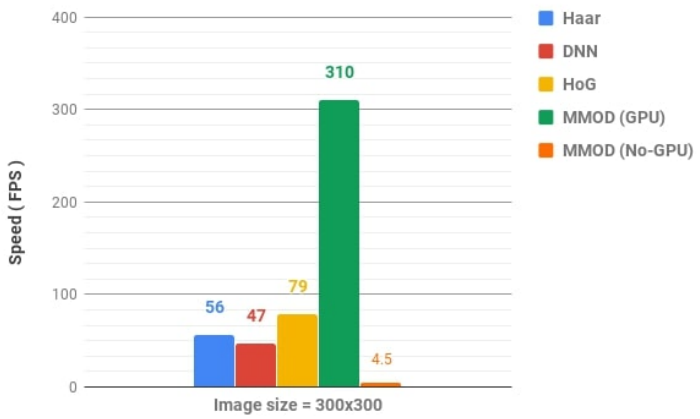
Detekcia tváre pomocou **CNN** v knižnici Dlib používa Maximum-Margin Object Detector s CNN.
Výhody:

- funguje pre rôzne orientácie tváre,
- metóda je robustná na zakrytie tváre,
- funguje veľmi rýchlo na GPU.

Nevýhody:

- metóda he veľmi pomalá na CPU,
- metóda natrénovaná na detekciu tvári väčších ako 80x80 pixelov,
- box ohraničenia tváre je ešte menší ako v predchádzajúcom prípade.

Pre naše potreby je najvhodnejšia metóda detekcie tváre pomocou HoG implementovaná v knižnici Dlib. Táto metóda nie je najpresnejšia, ale keďže chceme rozpoznávať reč pri videohovore, môžeme predpokladať, že vo väčšine prípadov sa osoba pred kamerou bude pozerať priamo na kameru (monitor) a tvár nebude mať ničím zakrytú. To, že metóda má problém s malými tvárami tiež pre nás nie je problém, lebo pri videohovore predpokladáme, že tvár nebude ďaleko od kamery. Zo spomínaných metód je jednoduchá, nenáročná a na CPU najrýchlejšia, čo je veľmi dobré, lebo kladieme veľký dôraz na to, aby naše riešenie fungovalo v reálnom čase. Porovnanie rýchlosti jednotlivých metód je uvedené na obr. 14.

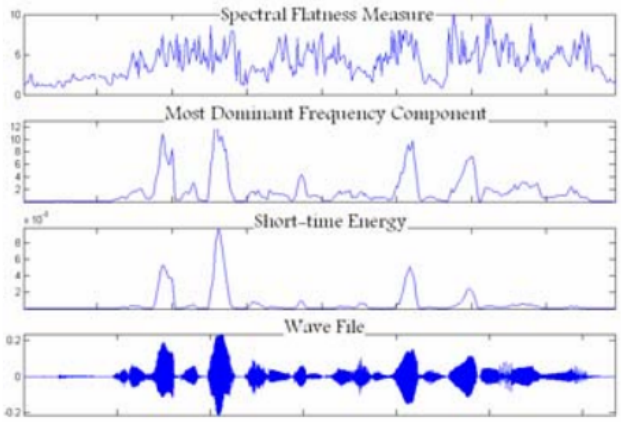


Obr. 14: Porovnanie rýchlosti štyroch popísaných metód. [3]

3.3 Detekcia reči zo zvuku - AVAD

Detekcia reči z videa nemusí byť pre naše potreby dostatočná. V nasledujúcej časti si popíšeme prácu zaoberajúcu sa detekciou reči zo zvuku.

V práci [11] predstavujú takmer ideálny AVAD algoritmus, ktorý je ľahký na implementáciu a robustný vzhľadom na šum. Pri detekcii využívajú 3 rozdielne vlastnosti pre každú zvukovú snímku: energiu, spektrálnu rovinnosť (Spectral Flatness) a najdominantnejšiu frekvenčnú zložku. Pre každú z týchto vlastností sa zvolí prah a pre každú zvukovú snímku sa rátajú tieto 3 vlastnosti. Ak hodnota ktorejkoľvek vlastnosti bude väčšia ako prah prehlási sa aktuálna zvuková snímka za snímku s rečou. Prahy sa dynamicky menia počas behu algoritmu vzhľadom na predchádzajúce zvukové snímky. Ukážka vypočítaných vlastností na zvukovom súbore pomocou algoritmu z [11] je na obr. 15.



Obr. 15: Ukážka vypočítaných vlastností na zvukovom súbore bez šumu. [11]

3.4 VAD spojením AVAD a VVAD a vytvorenie knižnice

Výstupom tejto diplomovej práce by mal program schopný zistiť, či používateľ počas videohovoru rozpráva alebo nerozpráva. Na to chceme použi kombináciu metód VVAD a AVAD. Kombinácia metód je dôležitá v rôznych prípadoch. AVAD je dôležitá keď používateľ nemá webovú kameru, nie je ho na obraze vidieť, v miestnosti je zlé svetlo a. i. VVAD je dôležitá v prípade nemožnosti detekcie zo zvuku, napríklad kvôli šumu alebo rušivému rozprávaniu inej osoby.

Výstup z práce by mal mať formu dynamickej multiplatformovej C++ knižnice. V knižnici by mala byť implementovaná metóda, ktorej vstupom by mali byť dve polia. Jedno pole s video snímkou a druhé so zvukovou snímkou. Výstup metódy by mal záležať od vstupných polí nasledovne:

- ak sú obe polia nenulové, metóda by mala vrátiť či bola detegovaná reč, či bola detegovaná zo zvuku alebo videa, pozíciu tváre ak bola detegovaná, a. i.,
- ak je pole so zvukovou snímkou nulové a s video snímkou nenulové, či bola detegovaná reč z videa, pozíciu tváre ak bola detegovaná, a. i.,
- ak je pole so zvukovou snímkou nenulové a s video snímkou nulové, či bola detegovaná reč zo zvuku, a. i.

Takýmto spôsobom môže byť využitie knižnice väčšie. Napríklad v prípade nedetegovania tváre sa môže znížiť kvalita prenášaného obrazu pri videohovore, čím sa zníži záťaž procesora aj sieťovej linky.

4 Implementácia

V tejto kapitole popíšeme implementáciu nami navrhnutého riešenia VAD v C++ knižnici.

4.1 Použitý hardware a software

Implementácia a testovanie prebiehali na notebooku Asus Zenbook UX305FA (Intel Core M 5Y10, 8GB RAM) a na počítači HP Z240 (Intel Xeon E3-1245, 16GB ram) Pre testovanie sme používali webovú kameru LifeCam Cinema. Vyvíjali sme jazyku C++, ktorý je najvhodnejší pre prácu s videom. Používali sme knižnice OpenCV, Dlib, SFML. Ako vývojárske prostredie bol zvolený CLion a buildovali sme pomocou Cmake.

4.2 Implementácia VVAD

Vytvorili sme dynamickú knižnicu s názvom VVAD. V hlavičkovom súbore `VVAD.h` sa nachádzajú definície tried, metód a premenných definovaných v súbore `VVAD.cpp`. V hlavičkovom súbore sú definované dve triedy: `VVAD` a `Output`. Trieda `VVAD` je hlavnou triedou, ktorá obsahuje verejne metódy:

- `Frame` - hlavná metóda, ktorej vstupom je video snímka a výstupom je objekt triedy `Output`.
- `FrameForLearningThreshold` - metóda sa volá na začiatku používania knižnice na určenie prahu. Vstupom metódy je video snímka a výsledným výstupom je prah, pomocou ktorého metóda `Frame` vyhodnocuje, či vo videosekvencii nastala reč alebo nie.
- `SaveThreshodToFile` - metóda uloží prah do súboru určeného reťazcom, ktorý dostane na vstup.
- `LoadThresholdFromFile` - metóda načíta prah zo súboru určeného reťazcom, ktorý dostane na vstup.

- `getThreshold` - vráti hodnotu prahu.
- `setThreshold` - nastaví hodnotu prahu.
- `isCalibrated` - vráti pravdivostnú hodnotu, ktorá hovorí, či prah bol nastavený.
- `getCalibrated` - nastaví pravdivostnú hodnotu, ktorá hovorí, či prah bol nastavený.

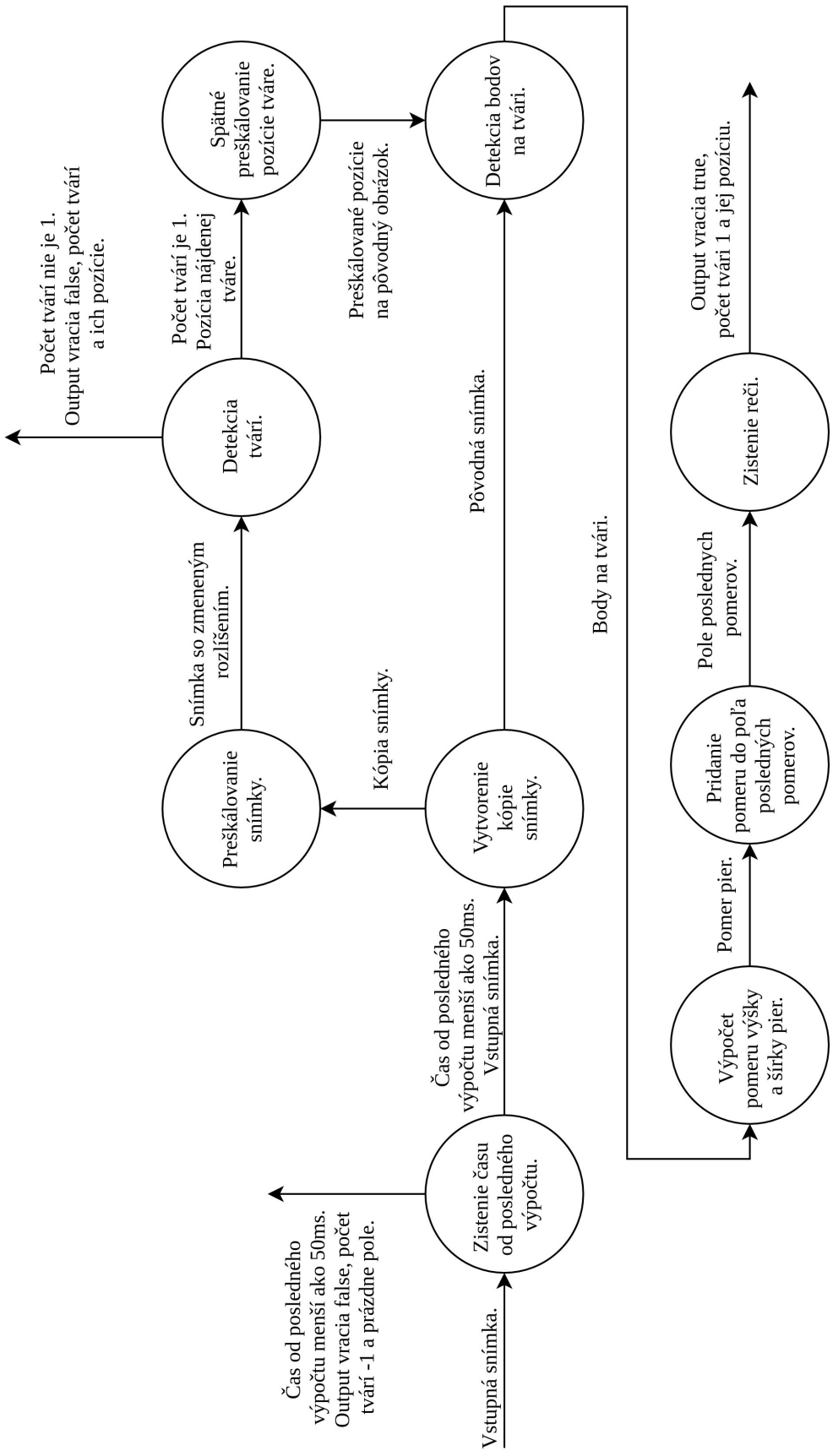
Trieda `Output` sa používa ako výstup metóda `Frame`. Trieda obsahuje nasledujúce privátne premenné, ktoré sú prislúchajúcimi metódami dostupné na čítanie:

- `_talking` - pravdivostná premenná, ktorá ak platí, tak reč bola detegovaná, inak reč detegovaná nebola.
- `_count_of_faces` - počet nájdených tvárí.
- `_faces_positions` - pozície nájdených tvári na snímke, ktorý dostala metóda `Frame` na vstupe.

V nasledujúcej časti popíšeme fungovanie niektorých metód detailne.

4.2.1 Metóda `Frame`

Zo snímky, ktorú dostane metóda `Frame` na vstupe sa vytvorí kópia, ktorá sa predspracuje. Predspracovanie spočíva v zmene rozlíšenia tak, aby šírka snímky bola 720 pixelov (toto predspracovanie budeme nazývať preškálovanie). Rozlíšenie bolo zvolené tak, aby nasledujúca detekcia tváre v snímke bola dostatočne rýchla aj na menej výkonných procesoroch. Detekcia tváre je presnejšie popísaná v časti 4.2.1.1. Výstupom z detekcie tváre je pole pozícií nájdených tvárí v kopijí pôvodnej snímky. Následne, ak sa nenašla práve jedna tvár, tak sa daná snímka preskakuje. Ak sa našla práve jedna tvár, prebieha detekcia bodov na tvári v pôvodnej snímke. Detekcia bodov na tvári je detailne popísaná v časti 4.2.1.2. Nájdené body na tvári spracúva metóda `ComputeDifferenceBetweenRatios`, ktorá je popísaná v časti 4.2.1.3. Nakoniec už len metóda `CheckSpeechInLastFrames`, vysvetlená v časti 4.2.1.4, skontroluje, či nastala reč a podľa toho sa vytvorí objekt triedy `Output`, ktorý sa dáva na výstup. Detailný popis metódy `Frame` je na obr. 16.



Obr. 16: Graf priebehu metódy `Frame`. Vo vrcholoch sú akcie, ktoré sa vykonávajú, šípky znázorňujú výstupy z akcií.

Pri používaní knižnice je možné volať metódu `Frame` ľubovoľne veľa krát za sekundu, minimálne však 20 krát za sekundu, inak nebude fungovanie korektné. Metóda `Frame` si zapamätá aktuálny čas, kedy spracovala snímku na vstupe a v prípade, že metóda je volaná viac ako 20 krát za sekundu, najprv skontroluje čas od posledného spracovania snímky. Ak je menší ako 50ms tak snímku zahadzuje, inak prebieha spracovanie.

4.2.1.1 Detekcia tváre

Ako sme popísali v časti 3.2.4, na detekciu tvárí sme použili knižnicu Dlib, konkrétne detekciu tvárí pomocou HoG. Táto detekcia je najpomalšia časť celého algoritmu, no aj napriek tomu funguje dostatočne rýchlo na oboch počítačoch, ktoré sme pri implementácií používali. Dôvodom je to, že detekcia tváre je spúšťaná na preškálovanej snímke. Pozície tvárí sa po nájdení preškálujú tak, aby boli na správnych miestach v pôvodnej snímke a uložia sa do vektora.

4.2.1.2 Detekcia bodov na tvári

Pre detekciu bodov na tvári budeme potrebovať natrénovaný model. V príkladových súboroch knižnice sa nachádzajú aj 2 predtrénované modely, ktoré detegujú 68 alebo 5 bodov na tvári. Model so 68 bodmi má približne 95MiB, čo je príliš veľa a model s 5 bodmi zas neobsahuje body na perách. Rozhodli sme sa teda vytvoriť vlastný model, ktorý by mal menšiu veľkosť a bol dostatočne presný pre naše potreby. Pre trénovanie modelu budeme potrebovať fotografie osôb a k nim súbor s popisom umiestnenia bodov na tvárach (súbory sú štandardne formátu xml, budeme ich preto skrátene nazývať xml súbory). V príkladových súboroch sa nachádzajú fotografie aj xml súbory pomocou ktorých je možné trénovať model. Na trénovanie sú určené 4 fotografie s celkovo 18 tvárami. Na testovanie je určených 5 fotografií s celkovo 25 tvárami. Pomocou uvedených súborov však nie je možné natrénovať dostatočne presný model. Na stránke knižnice Dlib sa dá nájsť dátová sada ibug_300W_large_face_landmark_dataset, čo je vlastne dátová sada 300-W [4] s pridanými zrkadlovo otočenými obrázkami (pri použití dátovej sady 300-W [4] žiadajú citovať [16], [17] a [18]) Dátová sada 300-W [4] obsahuje fotografie z dátových sád afw, helen, ibug a lfpw. Dátová sada samozrejme obsahovala aj testovaci a trénovací xml súbor s označenými umiestneniami 68 bodov na tvári, pomocou ktorých je možné natrénovať presnejší model. Trénovací súbor obsahoval 6 666 tvári a testovací obsahoval 1008 tvári. Knižnica Dlib obsahuje nástroj na vytváranie a úpravu xml súborov s informáciami o bodoch na tvárach na fotografiách a aj nástroj na trénovanie a testovanie modelu na základe fotografií a xml súborov. Pomocou nástroja na prácu s xml súbormi z knižnice Dlib a editora Sublime Text sme upravili počet

bodov na tvári v xml súboroch. Nástroj na trénovanie má možnosť nastaviť parametre trénovania, ako je napríklad hĺbka stromu a. i. Vytvorili sme 2 nové modely, úpravou xml súborov pre 68 bodový model, odstránením niektorých bodov:

- 20 bodový model pier. Ponechali sme len body na perách. Model ale nebol dostatočne presný.
- 27 bodový model pier. Kvôli zvýšeniu presnosti modelu sme okrem 20 bodov na perách nechali body na spodnej časti uši, bod na brade, nose, medzi očami a vonkajšie krajné body očí. Ani tento model nebol dostatočne presný.

Keďže sa nám zatiaľ nepodarilo vytvoriť vhodnejší model používali sme 68 bodový model. (Stale sa snazim vytvorit lepsi model) Ukážka detekcie modelu so 68 bodmi v obraze z webovej kamery je na obr. 17.

Obr. 17: Ukážka detekcie modelu so 68 bodmi v reálnom čase pomocou knižnice Dlib.

Uložený natrénovaný model sa načíta pri volaní konštruktora triedy `VVAD`. Vytvorí sa objekt triedy `shape_predictor` z knižnice Dlib, ktorého metóda na detekciu bodov na tvári sa volá po zdetegovaní tváre. Metóda dostane na vstup pôvodnú snímku a pozíciu zdetegovanej tváre a na výstup vráti objekt triedy `full_object_detection`, ktorý obsahuje pozíciu tváre a vektor bodov na tvári.

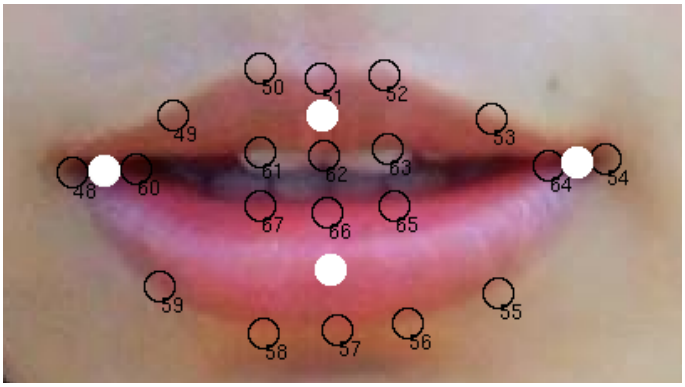
4.2.1.3 Pomer pier

V metóde `ComputeDifferenceBetweenRatios` je implementovaná časť práce [1]. Z dvadsiatich bodov na perách sa najprv zrátajú pozície bodov z ktorých sa bude rátat pomer výšky a šírky pier:

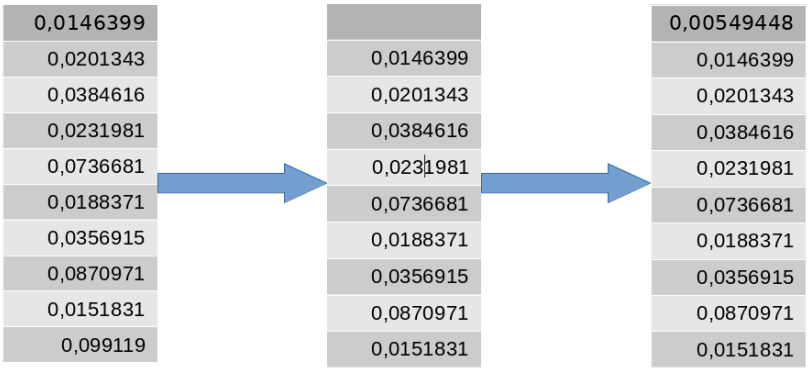
- horný - zoberú sa 4 body v hornej časti pery, z ktorých sa spraví priemer,

- dolný - zoberú sa 4 body v dolnej časti pery, z ktorých sa spraví priemer,
- pravý - zoberú sa 2 body v hornej časti pery, z ktorých sa spraví priemer,
- ľavý - zoberú sa 2 body v hornej časti pery, z ktorých sa spraví priemer.

Ukážku popísaných bodov je možné vidieť na obr. 18. Z pravého a ľavého bodu sa vyráta šírka pier a z horného a dolného bodu výška. Následne sa vypočíta pomer výšky a šírky a zráta sa absolútna hodnota rozdielu aktuálneho pomeru a pomeru z predchádzajúcej snímky. Pomocou metódy `ShiftAndAddRatioDifference` sa vypočítaná absolútna hodnota uloží do 10 prvkového posuvného poľa. Ako toto desať prvkové pole funguje, je vysvetlené na obr. 19.



Obr. 18: Ukážka bodov na perách. Horný biely bod je priemer čiernych bodov 50, 52, 61, 63, biely dolný 67, 65, 58, 56, biely pravý 64 a 54 a biely ľavý 48 a 60.



Obr. 19: Vysvetlenie posuvného poľa. Pri zrátaní abslútnej hodnoty rozdielov pomerov sa posunú hodnoty v poli a nová hodnota sa vloží na prázdne miesto. Takto si pamätáme posledných desať rozdielov pomerov.

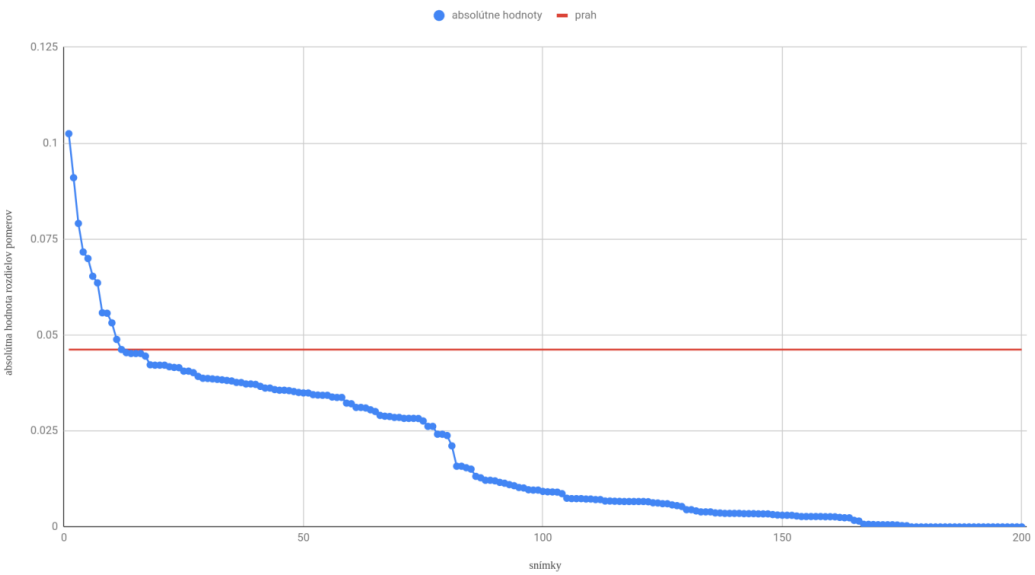
4.2.1.4 Kontrola reči

Po pridaní hodnoty do posuvného poľa sa v metode `Frame` zavolá metóda `CheckSpeechInLastFrames`. V nej sa skontroluje, či sa v poli nachádza hodnota väčšia ako určený prah. Ak áno metóda `Frame` dá na výstup objekt tiedy `Output` s parametrami pravda, počtom tvári 1 a s pozíciou danej tváre. Ak nie metóda `Frame` dá na výstup objekt tiedy `Output` s parametrami nepravda, počtom tvári 1 a s pozíciou danej tváre.

To, že sa kontroluje hodnota z posledných 10 snímok znamená, že program kontroluje aktivitu úst pol sekundu do minulosti. V prípade reči sa vyskytne hodnota väčšia ako prah v poli hneď na prvom mieste a teda program okamžite korektne zareaguje na reč. Za problém by mohlo byť považované to, že hodnota väčšia ako prah sa bude v posuvnom poli vyskytovať ešte pol sekundy. To bude spôsobovať, že program bude vracať zdetegovanú reč, aj keď už reč nebude prebiehať. Výsledný efekt je ale opačný. Ak by sa reč vyhodnocovala iba z aktuálnej snímky, respektíve rozdielu dvoch snímok, výstup programu by priveľmi skákal medzi zdetegovanou a nezdetegovanou rečou. Naše riešenie teda spôsobuje, že výstup programu je hladší a v prípade reči hneď korektne zareaguje.

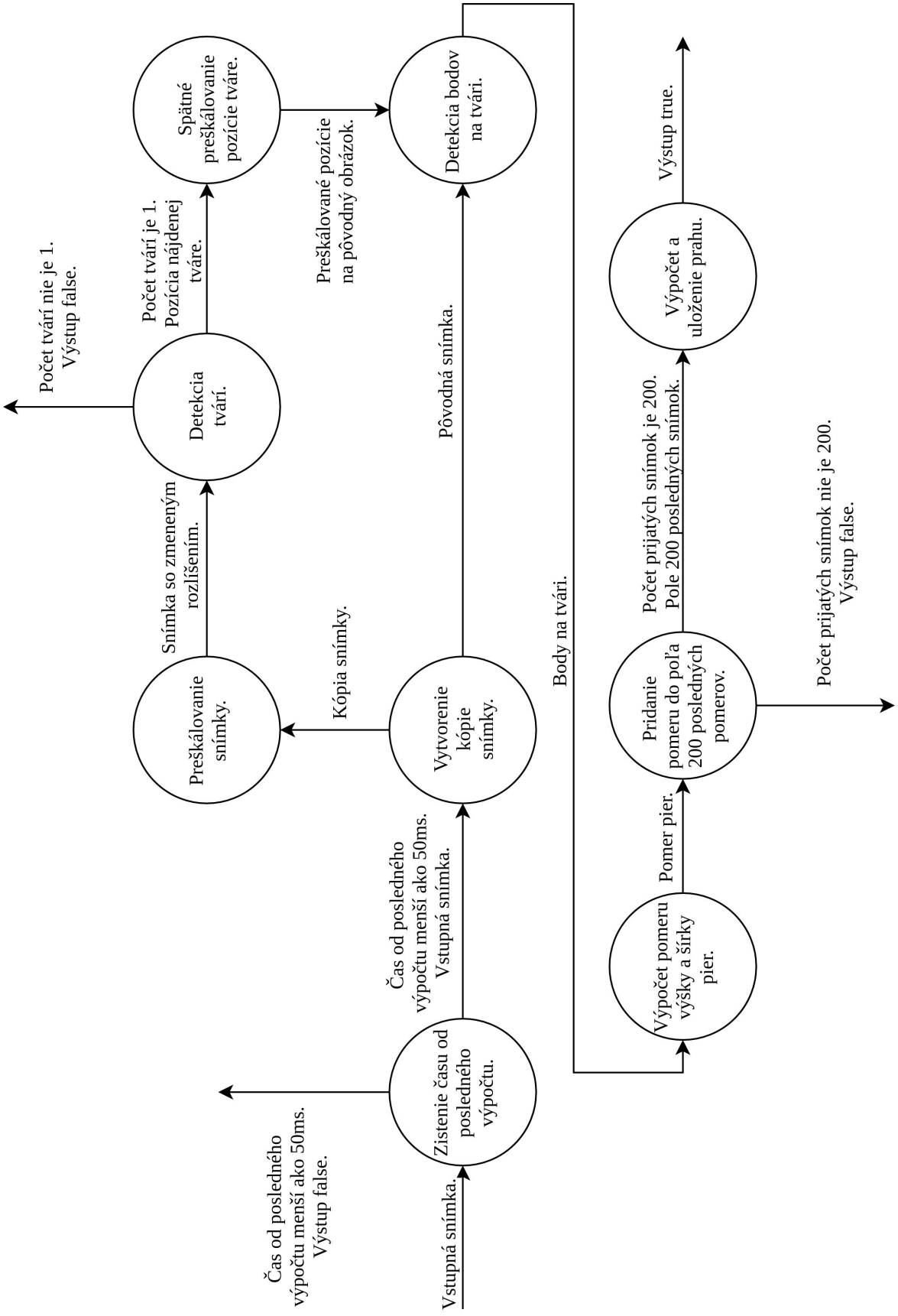
4.2.2 Metóda `FrameForLearningThreshold`

Pred začatím používanie detekcie reči je potrebné určiť prah, ktorý sa používa v metóde `Frame`. Keďže každý človek ma ústa trocha iného tvaru, každý bude potrebovať iný prah. Vymysleli sme poloautomatickú metódu určenia prahu, ktorá je účinná a používateľsky prívetivá. Pred začatím používania metódy `Frame` je potrebné posielať približne desať sekúnd snímky metóde `FrameForLearningThreshold`, ktorá určí prah. Počas týchto desiatich sekúnd musí používateľ neustále priamo pozerať do kamery a kedykoľvek povedať vetu: „Toto je trénovacie video.“ a okrem tejto vety nepohybovať perami. Takto počas desiatich sekúnd ukladá metóda `FrameForLearningThreshold` vypočítané pomery do poľa 200 posledných pomerov. Hneď ako sa pole zaplní sa zavolá metóda `FindThreshold`, ktorá tieto hodnoty usporiada podľa veľkosti a ako nájdený prah vráti dvanástu najväčšiu hodnotu. Hodnota dvanásť bola zvolená pri testovaní ako najvhodnejšia. Príklad takto určeného prahu je na obr. 20.



Obr. 20: Graf usporiadaných absolútnych hodnôt pomerov, na základe ktorých sa určuje prah. Dvanásta najväčšia hodnota je vrátená ako prah.

Keď máme určený prah, metóda `FrameForLearningThreshold` vráti pravdivostnú hodnotu pravda a tým sa určovanie ukončí a programátor, ktorý bude používať knižnicu VVAD bude vedieť, že prah je nastavený. Vo všetkých predchádzajúcich volaniach vracia metóda `FrameForLearningThreshold` pravdivostnú hodnotu nepravda. Detailný popis metódy `FrameForLearningThreshold` je na obr. 21.



Obr. 21: Graf priebehu metódy `FrameForLearningThreshold`. Vo vrcholoch sú akcie ktoré sa vykonávajú, šípky znázorňujú výstupy z akcií.

Rovnako ako v metóde `Frame` je možné volať metódu `FrameForLearningThreshold` ľubovoľný počet krát za sekundu, opäť však minimálne dvadsať krát a metóda spracúvava rovnakým spôsobom každú snímku, ktorá prišla po 50 ms od predchádzajúcej spracovanej snímky.

4.3 Implementácia AVAD

S použitím knižnice SFML [19] sa nám čiastočne podarilo implementovať algoritmus z práce [11]. Kvôli problémom s implementáciou, kvôli zložitosti výsledného riešenia a kvôli problémom so spojením VVAD a AVAD sme sa rozhodli AVAD do nášho riešenia neimplementovať.

5 Testovanie

Implementovanú knižnicu VVAD sme nakoniec podrobili testovaniu. Museli sme navrhnúť metodiku testovania a spôsob vyhodnocovania.

5.1 Metodika testovania

Knižnica VVAD sa skladá z dvoch hlavných metód: `Frame` a `FrameForLearningThreshold`. `FrameForLearningThreshold` určí prah, podľa ktorého následne `Frame` určuje, či prebieha reč alebo nie. Potrebujeme teda sekvencie videa, v ktorých najprv ...

Záver

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nullam volutpat velit non lorem pretium, in cursus eros pharetra. Nunc tristique tortor a lobortis vulputate. Quisque elementum erat eget congue commodo. Sed faucibus cursus urna, at rutrum dolor aliquam ac. Etiam posuere est in efficitur sagittis. Cras efficitur a purus eu auctor. Ut risus dui, interdum non scelerisque ut, dictum vel quam. Pellentesque ipsum libero, luctus nec dapibus sit amet, pretium in augue. Aenean imperdiet in libero non feugiat. Donec vitae mi non nunc ullamcorper ornare. Phasellus maximus sagittis porta. Sed gravida bibendum rutrum. Donec augue eros, elementum mollis efficitur vel, pretium sed urna. Aenean a libero laoreet, fringilla lacus ac, finibus dolor. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas.

Zoznam použitej literatúry

[1] Aoki, M., Masuda, K., Matsuda, H., Takiguchi, T., and Ariki, Y. Voice activity detection by lip shape tracking using ebgm. In *Proceedings of the 15th ACM international conference on Multimedia* (2007), ACM, pp. 561–564.

[2] Google. Google home. Dostupné na internete: `https://store.google.com/us/product/google_home?hl=en-US`. [cit. 21. 1. 2019].

[3] GUPTA, V. Face detection – opencv, dlib and deep learning (c++ / python). Dostupné na internete: `https://www.learnopencv.com/face-detection-opencv-dlib-and-deep-learning-c-python/`. [cit. 21. 1. 2019].

[4] ibug. 300 faces in-the-wild challenge (300-w), imavis 2014. Dostupné na internete: `https://ibug.doc.ic.ac.uk/resources/300-W_IMAVIS/`. [cit. 21. 1. 2019].

[5] Intel. Intel® realsense sdk for windows* (discontinued). Dostupné na internete: `https://software.intel.com/en-us/realsense-sdk-windows-eol`. [cit. 21. 1. 2019].

[6] Intel. Intel® realsense™ sdk 2.0. Dostupné na internete: `https://realsense.intel.com/sdk-2/`. [cit. 21. 1. 2019].

[7] Joosten, B., Postma, E., and Krahmer, E. Voice activity detection based on facial movement. *Journal on Multimodal User Interfaces 9*, 3 (2015), 183–193.

[8] Kazemi, V., and Sullivan, J. One millisecond face alignment with an ensemble of regression trees. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (2014), pp. 1867–1874.

[9] King, D. Dlib. Dostupné na internete: `http://dlib.net/`. [cit. 21. 1. 2019].

[10] Mallick, S. Facial landmark detection. Dostupné na internete: `https://www.learnopencv.com/facial-landmark-detection/`. [cit. 21. 1. 2019].

[11] Moattar, M. H., and Homayounpour, M. M. A simple but efficient real-time voice activity detection algorithm. In *Signal Processing Conference, 2009 17th European* (2009), IEEE, pp. 2549–2553.

[12] Noname. Calcflow. Dostupné na internete: `http://calcflow.io/`. [cit. 21. 1. 2019].

[13] Němečková, L. Rozvoj problematiky hci (human-computer interaction) na Úisk ff uk. Dostupné na internete: `http://clovek.ff.cuni.cz/pdf/nemeckova_zprava_18.pdf`, 2010. [cit. 21. 1. 2019].

[14] openCv. opencv. Dostupné na internete: `https://docs.opencv.org/4.0.1/d2/d42/tutorial_face_landmark_detection_in_an_image.html`. [cit. 21. 1. 2019].

[15] Ranjan, R., Patel, V. M., and Chellappa, R. Hyperface: A deep multi-task learning framework for face detection, landmark localization, pose estimation, and gender recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* (2017).

[16] Sagonas, C., Antonakos, E., Tzimiropoulos, G., Zafeiriou, S., and Pantic, M. 300 faces in-the-wild challenge: Database and results. *Image and vision computing 47* (2016), 3–18.

[17] Sagonas, C., Tzimiropoulos, G., Zafeiriou, S., and Pantic, M. 300 faces in-the-wild challenge: The first facial landmark localization challenge. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision Workshops* (2013), pp. 397–403.

[18] Sagonas, C., Tzimiropoulos, G., Zafeiriou, S., and Pantic, M. A semi-automatic methodology for facial landmark annotation. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops* (2013), pp. 896–903.

[19] SFML. Sfml - simple and fast multimedia library. Dostupné na internete: `https://www.sfml-dev.org/`. [cit. 21. 1. 2019].

[20] Tomori, Z. Microrobotics. Dostupné na internete: `http://home.saske.sk/~tomori/tweezers.htm`. [cit. 21. 1. 2019].

[21] Vieriu, L. Real-time voice activity detection using a simple webcam. *Proceedings of WCSIT* (2014).