

Zpracování obrazových informací získaných z policejních radarů pomocí systému FaDeR

Processing of visual information obtained from police radar
system with FaDeR

Petr Vychodil, Michal Vymazal

rvycho08@stud.feec.vutbr.cz, rvymaz05@stud.feec.vutbr.cz

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně

Abstrakt: Tento článek je zaměřen na problematiku detekce obličeje v obraze a na možné metody identifikace detekovaného obličeje. Článek popisuje některé vhodné způsoby získání biometrických informací z detekovaného obličeje, důležitých pro uložení v databázi a následnou identifikaci osoby pomocí navrženého systému FaDeR, Face Detection from Radars.

Abstract: Proposed article focuses on the issue of the face detection in images and the possible methods to identify the detected face. This article describes some suitable ways to capture biometric information of the detected faces important to store in a database and identification of the person using the proposed system FaDeR, Face Detection from Radars.

Zpracování obrazových informací získaných se snímků policejních radarů pomocí systému FaDeR

Petr Vychodil¹, Michal Vymazal¹

¹Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně
Email: {xvycho08,xvymaz05}@stud.feec.vutbr.cz

Abstrakt – Tento článek je zaměřen na problematiku detekce obličejů v obraze a na možné metody identifikace detekovaného obličejů. Článek popisuje některé vhodné způsoby získání biometrických informací z detekovaného obličejů, důležitých pro uložení v databázi a následnou identifikaci osoby pomocí navrženého systému FaDeR – Face Detection from Radars.

1 Uvedení do současné problematiky

V případě, že se řidič motorového vozidla dopustí na daném úseku přestupku překročení maximální povolené rychlosti a je následně vyfocen policejním radarem, je přistoupeno k následujícímu sledu událostí. Buď je na místě zastaven a pokutován policií ČR, či jiným příslušným statutárním orgánem, nebo přijde na adresu majitele vozidla výzva od příslušného dopravního inspektorátu s žádostí o vysvětlení daného přestupku.

V současné době ovšem umožňuje legislativa České republiky majiteli vozidla odvolání na tzv. „osobu blízkou“ nebo odmítnutí výpovědi dle Ustanovení §68 odst. 4 zák. č. 200/1990 Sb. o přestupcích v aktuálním znění. Jelikož je velice finančně i časově náročné odhalit to, jestli se opravdu jednalo o osobu blízkou či nikoli, zůstává často viník bez trestu.

Je potřeba si uvědomit, že se může několik řidičů střídat na několika automobilech. Typickým příkladem tohoto chování je používání firemních vozů a vozu soukromého. Tuto informaci je možné zužitkovat k relativně jednoduché nápravě této situace.

A právě z této myšlenky vychází systém FaDeR. Pokud řidič spáchá přestupek ve vozidle registrovaném na jeho jméno a je získán snímek v dostatečné kvalitě pro následnou biometrickou analýzu a zpracování, lze toho příště využít, pokud spáchá přestupek ve firemním voze nebo voze osoby blízké. Navíc by bylo efektivnější potlačit možnost křivé výpovědi majitele vozidla právě na osobu blízkou či předvolat právě osobu blízkou spolu s majitelem vozidla. Realizace systému FaDeR, využívající již ověřené algoritmy detekce obličejů v obrazech a jejich následnou biometrickou analýzu, je relativně jednoduchá.

První krok, který je nutný provést pro umožnění následného zpracování biometricky obličejů, je jeho detekce v obraze. Úspěšnost této detekce je limitujícím prvkem celého systému, a proto se musí použít metoda vypořádat s celou řadou proměnných parametrů, jako je např. různé osvětlení, rotace obličejů nebo použité brýle.

1.1 Detekce řidiče

Specifické pro systém FaDeR je, že z důvodu ochrany osobních údajů můžeme detekovat pouze řidiče - viníka, nikoli jeho spolujezdce. Podobný problém byl řešen v Německu v souvislosti s tzv. „průjezdovými radary“ sledující řidiče na vzdálenosti například 300 km. Aby byla možná funkce tohoto radaru, ukládaly se SPZ všech projíždějících řidičů, které se pak po projetí druhou kontrolní stanicí porovnávaly s časem průjezdu. Teprve při překročení limitu průjezdového času byl řidič pokutován. Tato situace odporuje zákonu. Protože se v reálném provozu vyskytují i vozidla s tzv. „anglickým řízením“, musíme navíc provést i detekci řidiče. To lze provést například následujícími způsoby:

- **Ruční selekce** – Tato metoda je značně nesystémová a při zpracování velkého množství obrazů prakticky neproveditelná, a to i při zohlednění, že řada přestupků bude spáchána s pouze jednou osobou na předních sedadlech, tudíž s možností automatického zpracování.
- **Pravděpodobnostní metoda** – Princip tohoto způsobu zohledňuje, že počet automobilů s tímto opačným řízením je minimální. Tudíž počet přestupků spáchaných těmito řidiči je pouze zlomkem z celé množiny zpracovávaných obrazů. To umožní provést detekci biometricky obličejů, který je na obraze umístěn nejvíce vpravo.
- **Detekce rukou** – Tato metoda je založena na detekci ruky (rukou) umístěných na volantu. Bohužel velké procento řidičů řídí jednou rukou nebo má ruce umístěny mimo viditelnou oblast, tudíž na obraze nejsou zachyceny. Navíc opět nastává potíž s možnou rotací ruky na volantu.
- **Detekce volantu** – Provést detekci volantu v obraze je relativně snadno proveditelné. Má totiž pravidelný kruhový tvar. Díky čemuž rovněž odpadá problém s rotací snímku.

Pro systém FaDeR byla zvolena metoda detekce volantu právě z výše uvedených důvodů.

1.2 Metody detekce obličeje ve snímku

Vzhledem k narůstající kapacitě současné, běžně dostupné, informační techniky, se rozšiřuje i množina používaných algoritmů pro detekci tvarů v obraze, mezi které patří například:

- **Znalostní metody** – založeny jsou na principu toho, že „typický obličej“ lze popsat pomocí množiny pravidel. Velmi častý způsob je pomocí vztahu mezi jednotlivými částmi obličeje. Bohužel je nutná podrobná lokalizace těchto částí a jejich jednotlivých příznaků. Proto se musí používat složité a robustní algoritmy.
- **Srovnávání šablon** – pracuje pomocí srovnávání již uložených šablon obličejových částí nebo celého obličeje. Nevýhodou těchto metod je, že je nutné mít někde uloženou databázi těchto šablon. A právě získání a vytvoření této databáze je časově velice pracné a náročné.
- **Invariantní rysy** – výhodou je detekce pomocí těch rysů tváře, které nepodléhají změnám podmínek okolního prostředí (osvětlení) ani natočení obličeje. Tyto rysy jsou například barva obličeje, obličejová textura. Další výhodou je relativně snadná implementace a její kvalitní výsledky.
- **Metody založené na zjevu** – Tyto metody dosahují velice slibných výsledků. Nejdříve se musí systém naučit pomocí trénovací množiny modely obličeje. Tato množina obsahuje široké spektrum tváří. Samotná detekce poté probíhá pomocí srovnávání částí obrazu s tímto získaným modelem.

Z výše uvedených metod detekce obličeje byla zvolena metoda invariantních rysů z toho důvodu, že snímky získané z těchto policejních radarů jsou často zatíženy změnou osvětlení nebo např. jinak tónovaným předním sklem automobilu. Proto se jeví jako nejvhodnější právě metody co možná nejdolnější proti těmto vlivům [1].

2 Metody invariantních rysů

Jak již z názvu vyplývá, metody invariantních rysů využívají faktu, že obličej lze popsat pomocí obecně existujících rysů. Tyto rysy jsou schopné obličej definovat nezávisle na proměnných parametrech okolního prostředí.

Metody invariantních rysů se ale rozcházejí ve způsobu konkrétní definice a detekce jednotlivých částí. Některé využívají geometrických pozic jednotlivých částí obličeje vůči sobě. Tyto části se detekují, nejčastěji pomocí hranových detektorů a poté je pomocí statistických modelů jejich vzájemných vztahů ověřována přítomnost obličeje ve snímku [1].

2.1 Obličejové rysy

Metodika obličejových rysů se zaměřuje na vyhledávání typických obličejových částí, jako je např. nos, pusa nebo oči. Rovněž lze matematicky popsat vztahy mezi těmito obličejovými rysy. Toho využívají některé lepší algoritmy.

To znamená, že pokud algoritmus vyhodnotí v obraze úspěšně oči, ústa a nos, provede navíc výpočet kontrolující pozici jednotlivých bloků vůči sobě. Pokud by bylo zjištěno, že nalezená ústa se nachází mezi očima, neměl by být tento objekt vyhodnocen jako obličej. Nevýhodou této metody je to, že většinou selhává tam, kde je v obraze velké množství hran a dalších rušivých elementů [1].

2.2 Barva kůže a její detekce

Tyto metody mají velkou výhodu v tom, že prakticky nejsou citlivé na velikosti a rotaci tváře, věku nebo pohlaví detekované osoby. Rovněž mají velice malou citlivost na změnu světelných podmínek a jsou velice rychlé. Hlavní slabinou je ovšem to, že selhávají v případech výskytu větších ploch v obraze se stejnou barvou, jako je předpokládaná barva lidské kůže.

Základní myšlenka detekce kůže vychází z předpokladu, že lidská kůže sdílí určitý kompaktní barevný podprostor. Pomocí tohoto předpokladu jsme schopni tuto množinu zjistit a následně klasifikovat jednotlivé barevné body v obraze [1].

Jako první musí být zvolen vhodný barevný model. Tvar a ohraničení tohoto podprostoru se může v jednotlivých modelech lišit. Proto je volba vhodného modelu zásadní pro velké množství klasifikačních metod.

2.2.1 Základní barevné modely

Mezi základní barevné modely patří:

- **RGB** – Je jedním z nejjednodušších barevných modelů používaných ve zpracování obrazů. Každá barva je definována jako kombinace tří základních barev (Red, Green, Blue) z nichž každá nabývá hodnoty v intervalu $\langle 0;255 \rangle$. Tento model bohužel nemá explicitně odděleny složky jasu a barvy, což omezuje možnosti použití ve zpracování obrazu.
- **YCbCr** – Je derivátem RGB modelu. Y reprezentuje právě jasovou složku, chybějící v modelu RGB. Hodnota Cb a Cr jsou barevné chrominanci složky. Převodní vztah mezi YCbCr a RGB modelem je [2]:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 65,481 & 128,553 & 24,966 \\ -37,797 & -74,203 & 112 \\ 112 & -93,786 & -18,214 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

Jednoduchá transformace z formátu RGB a rozšířenost u dalších formátů činí z tohoto modelu dobrou základnu pro následnou klasifikaci.

2.2.2 Model barvy kůže

Nejprve je nutné experimentálně získat z dostatečně širokého množství vzorků kůže rozložení barev. Vzorky jsou focené přes přední sklo automobilu z důvodu vyloučení následného zkreslení barvy kůže předním sklem vozu. Výhodou těchto modelů je relativně jednoduchá implementace a následná vysoká rychlost klasifikace.

Tyto modely se dělí na:

- **Parametrické modely** – Tyto modely se snaží popsat barvu lidské kůže pomocí matematických modelů. Parametry modelu jsou získány z trénovací množiny. Podprostor barvy kůže je nejbližší normálnímu rozložení a má u většiny modelů eliptický tvar.
- **Neparametrické modely** – Tyto modely se místo matematického modelu se využívá pravděpodobnostní mapy. Tudíž každému barevnému bodu diskretizovaného barevného prostoru je určena pravděpodobnost, s jakou se jedná o barvu lidské kůže.

3 Použitelná biometrika obličejů

Po úspěšné detekci řidiče a jeho obličejů v obraze je nutné mít možnost tento obličej dále vhodným způsobem zpracovat a získané biometrické informace vhodným způsobem archivovat pro pozdější použití v systému FaDeR. V současné době existuje několik principů ukládání biometrických údajů obličejů nebo hlavy. Tyto metody lze rozdělit do dvou hlavních skupin:

Geometrické – zaměřující se na charakteristické znaky hlavy a obličejů.

Fotometrické – využívajícího statistického přístupu, porovnávajícího hodnoty s hodnotami referenčními.

3.1 Tradiční metody

Tyto metody identifikují tvář na základě analýzy relativního postavení, velikosti očí, lícních kostí, čelistí nebo nosu. Tyto funkce jsou následně použity k identifikaci v dalších obrazech [3].

3.2 3-D

Tato metoda umožňuje dosáhnout dříve nedosažitelné přesnosti. Technika využívá speciálních 3-D senzorů snímajících informaci o tvaru obličejů. Tato informace se následně použije pro identifikaci charakteristických rysů na povrchu obličejů, jako jsou např. obrys očních důlků, profil nosu a brady.

Jednou z výhod 3-D rozpoznání obličejů je, že není ovlivnitelná změnou osvětlení jako některé další techniky. Jednou z dalších výhod je možnost detekovat tvář nezávisle na úhlu pohledu.

Bohužel i ty nejlepší 3-D systémy mohou být citlivé na výraz tváře [3][4]. Nutnost použití speciálních 3-D senzorů by zásadně zkomplikovala rozšíření systému FaDeR do běžného provozu. Z tohoto důvodu nebyla metoda 3-D senzorů do systému FaDeR prozatím implementována.

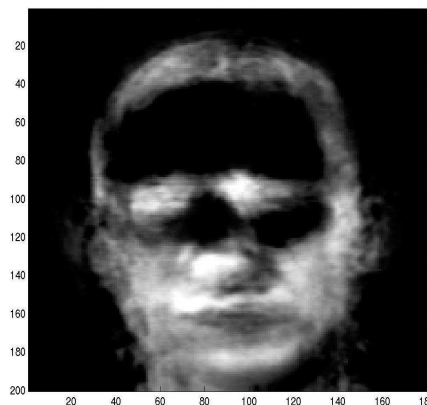
3.3 Eigenface – metoda středních obličejů

Tato metoda je soubor vektorů používaných v počítačovém vidění k řešení problému rozpoznávání lidských obličejů. *Eigenface* byl vyvinut již v roce 1987. Právě metoda středních obličejů je použita v systému FaDeR.

3.3.1 Princip metody eigenface

Soubor *eigenface* může být získán pomocí matematického procesu PCA (principal component analysis) na velkém souboru obrazů zobrazujících různé lidské tváře. Pro zjednodušení je možné si *eigenface* představit jako soubor standardizovaných částí obličejů, odvozený od statistického modelu různých obrazů lidských obličejů.

Právě z těchto standardizovaných částí se skládá jakákoli jiná lidská tvář. Zajímavé je, že k aproximaci obličejů není nutné mít mnoho *eigenface* tváří. Je to rovněž způsobeno tím, že každá tvář je ukládána jako soubor hodnot, nikoli samostatný obraz. To umožňuje efektivní porovnávání snímků s mnoha již uloženými obličejů [5].



Obrázek 1: Ukázka eigenface [6]

3.3.2 Praktická implementace

Nejprve musíme získat sadu obrazů lidských tváří. Obrazy tvořící tuto sadu musí být pořízeny za stejných světelných podmínek, musí být normalizovány a musí mít sjednocené oči a ústa ve všech obrazech. Dále pak musí být snímky nezkresleny na stejné rozlišení [5]. Postup implementace je následující:

- 1) Každý obraz je potom považován za jeden vektor jednoduše zřetězených pixelů původního obrazu v jedné řadě. Pro implementaci se předpokládá, že všechny prvky z trénovací množiny obrazů, jsou prvky jedné matice T . A každý řádek matice T je jeden obraz.
- 2) Spočítaný průměrný obraz se potom odečte od každého originálního obrazu T_i .
- 3) Dále se spočítají vlastní vektory a vlastní čísla z kovarianční matice S . Každý vektor má stejnou velikost jako původní obraz. Díky čemuž je možné i tento vektor za obraz považovat. Vektory této matice S jsou tedy *eigenfaces*. Jedná se tedy o směr, jímž

se liší obraz od středního obrazu (obličeje). Pokud by se měli jednotlivé **S** vektory počítat jednotlivě, byl by to výpočetně velice náročný, spíše nedosažitelný krok. *Eigenfaces* umí tyto vektory spočítat efektivněji.

- 4) Vyberte si hlavní komponenty. **D** x **D** kovarianční matice bude mít za následek vektory **D**, z nichž každý představuje směr v $\mathbf{r} \times \mathbf{c}$ -rozměrném obrazu prostoru. Vektory s největším společným *eigenvalue* se zachovávají.

Tyto *eigenfaces* můžou být nyní použity k reprezentaci stávajících i nových tváří. Neboli hodnoty *eigenvalue* ukazují, jakým směrem se zkoumaná tvář liší od střední tváře [5].

3.3.3 Výpočet eigenvektorů

Jak bylo výše zmíněno, provedení PCA přímo z kovarianční matice **S** obrazů je u většího počtu prvků výpočetně prakticky neproveditelné. Nicméně je dokázáno, že hodnota kovarianční matice **S** je omezena počtem trénovacích vzorů **N**.

Pokud tedy máme **N** trénovacích vzorů, bude mít nejvýše **N**-1 nenulových vektorů *eigenvalues*. Pokud tedy bude počet trénovacích vzorů menší než rozměr obrazů, můžou být hlavní komponenty spočítány pomocí vztahů (2),(3),(4). Odvození vztahů je uvedeno v literatuře [5].

Nechť **T** je matice vzorů, kde každý řádek obsahuje jeden obraz. Kovarianční matice **S** pak může být spočítána jako $\mathbf{S} = \mathbf{T}^T \mathbf{T}$ a *eigenvector* je dán dekompozicí matice **S** pomocí vztahu:

$$\mathbf{S} \mathbf{v}_i = \mathbf{T}^T \mathbf{T} \mathbf{v}_i = \lambda_i \mathbf{v}_i \quad (2)$$

Nicméně **TTT** je většinou velká matice, pokud ano, můžeme použít pouze *eigenvalue* z její části:

$$\mathbf{T}^T \mathbf{T}^T \mathbf{u}_i = \lambda_i \mathbf{u}_i \quad (3)$$

Po vynásobení obou stran rovnice **TT** dostáváme:

$$\mathbf{T}^T \mathbf{T} \mathbf{T}^T \mathbf{u}_i = \lambda_i \mathbf{T}^T \mathbf{u}_i \quad (4)$$

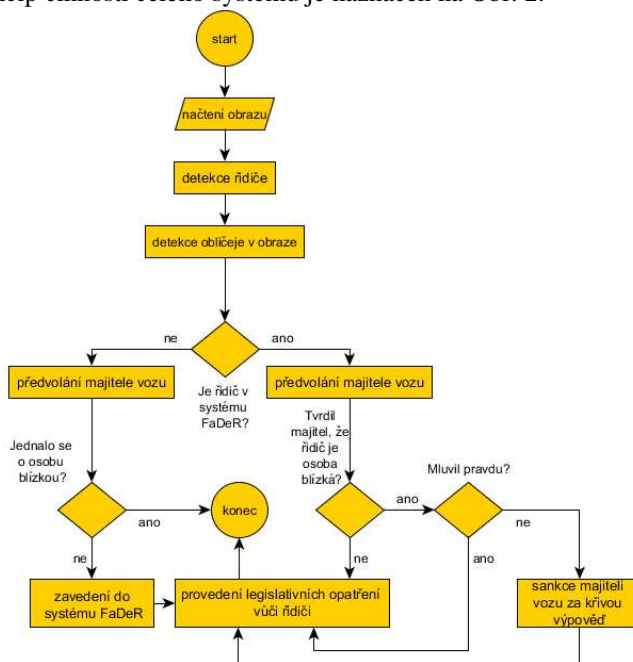
Právě díky výše uvedeným vztahům jde s *eigenvectors* efektivně pracovat. Pokud totiž budeme mít databázi 200 trénovacích vzorů v rozlišení 100 x 100 pixelů, bude mít výsledná **TTT** matice rozměr 200 x 200, což je mnohem lépe zpracovatelné oproti původní kovarianční matici o rozměru 10000 x 10000 [5].

Eigenface má bohužel nevýhodu v tom, že je citlivý na změnu osvětlení nebo úhlu pohledu. Experimentováním se systémem pomocí testování za změny určitých podmínek byly nalezeny následující správné rozpoznání: průměrně 96% s mírnou změnou, 85% se změnou orientace a 64% se změnou velikosti [5].

4 Popis systému FaDeR

Jak již bylo zmíněno v úvodu tohoto článku, systém FaDeR vychází z myšlenky, že se jednotliví řidiči střídají na několika

automobilech. Pokud tedy osoba spáchá dopravní přešlepek v automobilu registrovaném na její jméno nebo je nahlášena majitelem vozu jako řidič, který přešlepek spáchal, je do systému FaDeR zaveden a zpracován snímek jejího obličeje. Princip činnosti celého systému je naznačen na Obr. 2.



Obrázek 2: Vývojový diagram systému FaDeR

Dalším doplněním systému FaDeR je detekce SPZ – státní poznávací značky. Na Obr. 3 je pozice správně detekované SPZ vyznačena červeně.



Obrázek 3: Výsledek detekce řidiče

Nalezená SPZ se využívá v dalším zpracování k automatickému nalezení majitele vozidla v registru řidičů. Dále je na snímku modře vyznačena pozice detekovaného volantu. A poslední, zeleně vyznačený, nalezený obličej řidiče vozidla.

5 Dosažené výsledky

Při testování byla dosažena celková spolehlivost 88,7 %. Bohužel bylo doposud možné provést testování pouze na omezeném souboru snímků z důvodu ochrany osobních údajů řidičů. Do budoucna je právě přislíben přístup k většímu počtu fotografií od dopravního inspektorátu, díky čemuž bude možné provést detailní prověření spolehlivosti detekce a dopadu rušivých elementů na správnost této detekce. Lze očekávat mírné snížení spolehlivosti z níže uvedených důvodů v řádu jednotek procent.

5.1 Faktory snižující úspěšnost detekce

Při prvním kroku, detekce volantu, bylo dosaženo v 93,1% případů správného výsledku. To je považováno za velice dobrý výsledek. Při detekci volantu se nepříznivě projeví pouze odlesky na předním skle automobilu, které díky používání polarizačních filtrů nejsou příliš časté a nekvalitně pořízené snímky, jejichž příčinou je špinavý snímací mechanismus, nebo rozmazanost. V následujícím kroku, lokalizace obličeje řidiče, bylo dosaženo úspěšnosti 90,3%. Jako zásadní faktory ovlivňující správnou detekci se dle očekávání projeví:

- sluneční brýle,
- sklopená protisluneční clona v automobilu.

Vzhledem k omezenému počtu dostupných snímků se neprojevil vliv hustých vousů. Tyto vousy mohou překrývat rty a tím mohou zamezit tomu, aby byla do obličejové oblasti zahrnuta právě oblast úst. Z toho důvodu je kandidátská oblast obličeje vyškrtána [1]. Další možné snížení úspěšné detekce je možné očekávat při detekování řidiče s tmavou pletí (např. afroameričan). Ta se může nacházet na okraji barevného podprostoru kůže. To je možné eliminovat nově vygenerovaným barevným podprostorem. K tomuto kroku jsme zatím nepřistoupili. A to protože nebyl dostupný ani jeden testovací snímek s řidičem tmavé pleti. Tento problém bude předmětem zkoumání při dalších testech.

Doplňková funkce, detekce SPZ, dosáhla téměř 98% úspěšnosti.

Při biometrické analýze (osoby řidiče) bylo dosaženo úspěšnosti 80,4%. Pro dosažení vyšší pravděpodobnosti úspěšné detekce by bylo možné nahradit použitou metodu *eigenface* za *eigenfeatures* s kombinací argonometrie posazení řidiče.

6 Další vývoj systému FaDeR

Další vývoj bude spočívat ve sjednocení jednotlivých prvků do vhodného modelu v programovacím jazyku Matlab. To umožní efektivní analýzu většího souboru radarových snímků a lepší zhodnocení použitých metod.

Pokud bude dosaženo i na větším počtu snímků dobré úspěšnosti přesahující 85% při detekci osoby, bude přistoupeno k implementaci v konkrétním programovacím jazyku, pravděpodobně půjde o jazyk C nebo Java. Pokud by se projevil slabina na změnu osvětlení nebo orientace, bylo by

přistoupeno k nahrazení *eigenface* za některou z pokročilých metod, mezi které patří:

- **Eigenfeatures** – Kombinuje metodu *eigenface* s obličejovou metrikou, a tím snižuje citlivost na změnu úhlu.
- **Fisherfaces** – Omezuje citlivost metody *eigenface* na změny osvětlení ve scéně.

7 Závěr

Článek se zabývá detekcí obličeje v obraze a následnou biometrickou analýzou tváře pomocí systému FaDeR. Navržená koncepce využívá metody invariantních rysů pro detekci obličeje v obraze a následně metody *eigenface* k určení, o jakou osobu se jedná.

Při doposud prováděných testech bylo dosaženo spolehlivosti, které jsou shrnuty v tabulce 1.

Tabulka 1: Dosažené výsledky

detekce	úspěšnost [%]	ovlivňující faktory
volantu	93,1	tvar palubní desky, odlesky na skle
obličeje	90,3	vousy, brýle, sluneční clona, barva kůže, odlesky na skle
osoby řidiče	80,4	
SPZ	97,7	kvalita snímku
celková	88,7	viz. kapitola 5.1

Lze očekávat mírné změny v dosažené spolehlivosti při nasazení na širší počet snímků z důvodů uvedených v kapitole 5.1.

Systém FaDeR by po částečné modifikaci algoritmu mohl sloužit i pro realtime vyhledávání osob z videostreamů, což by mohlo zásadním způsobem ulehčit a zefektivnit práci policie při hledání pohřešovaných osob. V současné době neexistuje žádný dostupný konkurenční program, který by umožňoval efektivní analýzu a následnou detekci osob z radarových snímků.

Literatura

[1] H. P. Graf, T. Chen, E. Petajan, E. Cosatto, *Locating Faces and Facial Parts, Proc. First Int'l Workshop Automatic Face and Gesture Recognition*, 1995.

[2] K. C. Yow and R. Cipolla, *Feature-Based Human Face Detection, Image and Vision Computing*, 1997, vol. 15.

[3] T. D. Heseltine BSc. Hons., *Face Recognition: Two-Dimensional and Three-Dimensional Techniques*, September 2005

[4] Alexander M. Bronstein, Michael M. Bronstein, Ron Kimmel, *Three-Dimensional Face Recognition*, December 2004

[5] M. Turek, A. Pentland, *Application of the Karhunen-Loeve procedure for the chariterization of human faces*, 1991

[6] S. Wiri, K. Wilson, L. Foley: *Face recognition* [online], 2010, [cit. 2010-08-08]. Dostupné z URL: <<http://www.nd.edu/~techrev/mag-images/Spring2002/wiri1.jpg>>