

RYCHLÝ ALGORITMUS ROZPOZNÁNÍ REGISTRAČNÍCH ZNAČEK VOZIDEL

THE FAST ALGORITHM FOR CAR LICENSE PLATE RECOGNITION

Martin Dobrovolný¹

Anotace: Článek se věnuje popisu algoritmu detekce a rozpoznávání registračních značek motorových vozidel. Popisovaný algoritmus byl vyvinut pro systémy úsekového měření rychlosti s cílem snadné implementovatelnosti do vestavěných zařízení s digitálními signálovými procesory a to za použití nižších programovacích jazyků. Výhodou popisované metody je transparentnost a rychlost.

Klíčová slova: metody rozpoznávání obrazu, detekce registračních značek, OCR

Summary: In this paper is presented a detection method for the car license plate detection and recognition. The described car detection algorithm is an integral part of systems for car traveling speed measuring and electronic toll gateways. The algorithm was developed regarding to the possibility of easy implementation to embedded systems, especially with low-leveled programming languages. Presented algorithm is very fast and transparent.

Key words: image processing, car license plate recognition, optical chars recognition

1. ÚVOD

Článek se zabývá algoritmem detekce a rozpoznání registračních značek vozidel pro systémy úsekového měření rychlosti vozidel. V dnešní době jsou v České republice tyto systémy často aplikovány v souvislosti s mohutnou výstavbou mýtných bran. Výhodou těchto systémů na rozdíl od rozšířených bodových systémů měření rychlosti vozidel, je možnost provádět měření v prakticky libovolném geografickém uspořádání měřených úseků, včetně složitých městských aglomerací s konečným počtem vstupních a výstupních bodů. Tyto systémy jsou také zkušebně používány pro bodové sledování trasy pohybu vozidla [1]. Limitním zkrácením délky úseku systém přechází na bodové měření rychlosti.

Pro správnou funkci těchto systémů je stěžejní částí subsystém rozpoznávání vozidel vstupujících a vystupujících z měřeného úseku. Systém může detekovat buď celé obrazy vozidel, případně pouze vybrané charakteristické části [2], [3]. Výsledky této detekce jsou podstoupeny nadřazenému systému, kde posléze dochází ke spárování těchto vozidel při vstupu a opuštění úseku a vyhodnocení úsekové rychlosti. Naměřená data mohou být také podstoupena vyšším systémovým celkům k dalšímu vyhodnocení (zatížení úseku, řízení

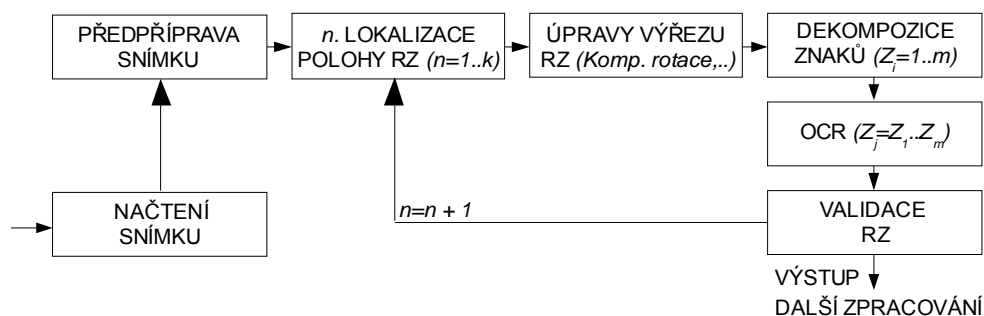
¹ Ing. Martin Dobrovolný, Ph.D., Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra elektrotechniky, Studentská 95, 532 10 Pardubice, Tel.: +420 46 603 6449,
E-mail: martin.dobrovolny@upce.cz

dopravní situace...). Jedním z nevhodnějších a v současné době nepoužívanějších postupů je detekce registračních značek jednotlivých vozidel (dále jen *RZ*).

Článek popisuje v následujících částech původní algoritmus detekce *RZ* vozidel. Popisovaný algoritmus se vyznačuje použitím jednoduchých technik a metod počítačového zpracování obrazu, které usnadňují transformaci postupu do některého z nižších programovacích jazyků. Postup byl vyvinut s cílem umožnit snadnou implementaci do vestavěných zařízení s *DSP* a s tímto ohledem byl volen i použitý aparát technik zpracování obrazu pracujících převážně v prostorové oblasti bez nutnosti použití komplexního prostoru.

2. POPIS SYSTÉMU ROZPOZNÁVÁNÍ *RZ* VOZIDEL

Komplexní systémy rozpoznávání *RZ* vozidel je vhodné z hlediska posouzení vazeb mezi jednotlivými částmi rozdělit do dílčích, na sebe navazujících kroků (Obr. 1). Pouze správná dekompozice problému a vyřešení jednotlivých částí systému rozpoznávání umožní dosažení dostatečné spolehlivosti celého systému a akceptovatelné pravděpodobnosti určení výsledků.



Obr. 1 - Dekompozice systému rozpoznávání *RZ* vozidel

V řetězci rozpoznávání obrazové informace *RZ* je prvním a velmi důležitým krokem správná lokalizace polohy *RZ*. Přesnost lokalizace polohy významně ulehčuje navazující kroky, kterými jsou zejména přesné určení polohy jednotlivých znaků a do značné míry také determinuje množinu nutných postupů k extrakci jednotlivých znaků. Pravděpodobnost určení přesné polohy je také kritická pro významné zkrácení doby výpočtu, kdy navazující části algoritmu jsou úspěšně provedeny nejlépe ihned v první lokalizované pozici, maximálně v několika málo dalších iteračních krocích [4]. V následující části článku je popsán postup lokalizace *RZ* v cílovém snímku lokalizující *RZ* s vysokou přesností.

Navazujícím krokem je předúprava výřezu reprezentujícího *RZ* zejména ořez *RZ*, kompenzace natočení *RZ*, ekvalizace průběhu jasové funkce obrazu reprezentujícího *RZ*, případně kompenzace dalších zkreslení. Těmito úpravami je umožněno, při znalosti rozměrů známých typů *RZ* a předpokládaných pozic jednotlivých znaků, do značné míry predikovat pozice znaků, což velmi ulehčuje následnou analýzu a segmentaci znaků.

V takto upraveném výřezu je posléze nutné dekomponovat jednotlivé znaky, přičemž je možné využívat nejen vlastní vyhledávání znaků, ale je možné využít i některých dodatečných informací o vzájemné poloze jednotlivých znaků. Takovýto postup dovoluje

pomocí pozice okolních znaků určit pozici i těch znaků, jejichž obraz je významně poškozen. K vlastnímu vyhledání je možné použít plně deterministické postupy, případně aplikovat některé známé stochastické klasifikační postupy, jak bude popsáno v další části.

Zpracování jednotlivé znaků je následně realizováno modulem OCR. K vlastnímu rozpoznání jednotlivých znaků je možné přistoupit mnoha způsoby. Výhodou systému OCR určeného pro rozpoznávání znaků RZ je omezená množina pouze cca 32 až 36 vstupních znaků, navíc s poměrně jednoznačně definovaným vzhledem použitého fontu. Tyto vlastnosti umožňují využít klasických postupů korelačního porovnávání detekovaného znaku s předdefinovanými vzory s poměrně vysokou pravděpodobností správného rozpoznání, ale pouze za podmínky přesné lokalizace polohy a okrajů znaku.

Závěrečným, ale velmi důležitým krokem, je analýza rozpoznávaných znaků z hlediska jejich validity a možného výskytu v dané pozici RZ a případná korektura záměnných znaků (O-0, B-8...).

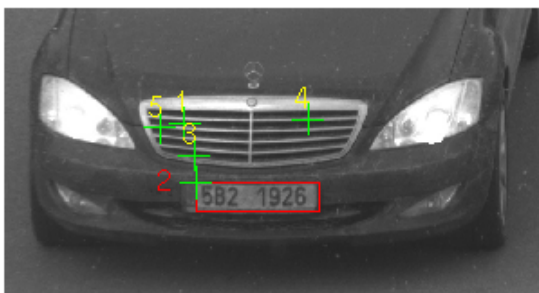
3. URČENÍ POZICE OBRAZU RZ VE VSTUPNÍM SNÍMKU

Prvním krokem v systému čtení RZ je lokalizace polohy RZ v kandidátním výřezu ve zdrojovém jasovém snímku. Přesnost a úspěšnost lokalizace polohy RZ do značné míry determinují úspěšnost a složitost dalších nastavbových postupů, zejména segmentace jednotlivých znaků v prostoru registrační značky. Příliš obecné určení pozice RZ vede k nutnosti aplikace dalších zpřesňujících postupů a snižuje možnosti využití dodatečných informací k určení pozice jednotlivých znaků. Nízká pravděpodobnost určení správné pozice sebou přináší také riziko opakovaného provádění výpočtů v mnoha oblastech, či dokonce zamítnutí správné oblasti, obsahující RZ například pouze z části.

Obvyklým postupem lokalizace RZ je hledání předem definovaného bloku charakterizovaného přítomností velkého počtu vertikálních hran, vzniklých aplikací vertikálního hranového operátoru na vstupní snímek [3], [4]. Je tedy hledána oblast s globálním extrémem funkce:

$$P = \max_{p \in I^f} \left(\sum_{p \cdot x}^{p \cdot x + w^{RZ}} \sum_{p \cdot y}^{p \cdot y + h^{RZ}} I^f |p \cdot x, p \cdot y| \right) \quad (1)$$

Tento postup lokalizuje oblast s RZ spolehlivě a je využíván v mnoha systémech [2], [3], [4]. K částečnému selhání dochází pouze ve speciálních případech, kdy je na vozidle přítomna oblast s podobnými vlastnostmi (např. mřížka vozidla se svislými hranami – Obr. 2), či v případech, kdy jsou vertikální hrany znaků nevýrazné (např. z důvodu znečištění RZ). V takových případech musí být prováděna detekce v následujících kandidátních výřezech snímku, což přirozeně prodlužuje dobu výpočtu.



Obr. 2 - Příklad vozidla s členitými čelními částmi (žlutě označeno pořadí lokalizovaného prostoru *RZ*, červeně maximum akumulátoru *P* (zvolený kandidátní výřez)

Nicméně hlavní nevýhodou tohoto postupu je velká nepřesnost v určení absolutní pozice *RZ* vůči kandidátnímu výřezu a tedy i přesné pozice jednotlivých znaků. Zejména v horizontálním směru je nepřesnost závislá na skladbě znaků a z ní vyplývající přítomnosti, či absenci svislých hran. Na nepřesnost má také vliv přítomnost vertikálního „*EU*“ proužku u *RZ* typu 10x/20x, který téměř splňuje podmínky max. horizontální a vertikální velikosti boxu definovaného pro znak.



Obr. 3 - Ukázka vertikálně i horizontálně variabilního umístění detekované *RZ* vůči kandidátnímu výřezu

Nepřesnost určení absolutní polohy *RZ* může být částečně kompenzována tím, že do kandidátního výřezu je zahrnuta např. oblast zvětšená o 2x10% v horizontálním a 2x20% ve vertikálním směru, což zaručuje, že se do kandidátního výřezu vždy dostane celá *RZ*, avšak za cenu zvýšení náročnosti odhadu předpokládané pozice znaků. Na Obr. 3 jsou zobrazeny příklady detekovaných oblastí *RZ*, na nichž je dokumentován vertikální i horizontální posun *RZ* vůči kandidátnímu výřezu.

3.1 Alternativní postup lokalizace polohy *RZ*

Zahrneme-li do výchozích předpokladů další charakteristické vlastnosti, můžeme pravděpodobnost úspěšné detekce zvýšit. Vzhledem k tomu, že u soustavy můžeme předpokládat stabilní a předem známou pozici snímacího zařízení vůči snímaným objektům s jasně definovanými parametry, je možné předem (s určitou tolerancí) předpokládat rozměry *RZ*². Dále je možné u hranové reprezentace obrazu předpokládat více či méně spojitě okraje *RZ* (viz Obr. 4). Těchto vlastností je možné velmi dobře využít pro zpřesněnou detekci polohy *RZ*. Podmínkou je však jakostní obraz s minimem šumu a dostatečným rozlišením.

² Předpoklad konstantních rozměrů *RZ* je již zahrnut v současném systému

Obr. 4 - Aplikace obousměrné hranové detekce vstupního obrazu (*Prewittův operátor*)

Vlastní detekce je založena na vyhledávání vhodné šablony, reprezentující vzorovou RZ ve výběrovém regionu vstupního snímku. Šablona je zvolena tak, aby shoda s hledanými RZ byla maximální a to při proměnném zastoupení jednotlivých znaků v RZ . Při porovnávání šablony s místem výskytu RZ se uplatňují nejen svislé a vodorovné hrany jednotlivých znaků, ale i svislé a vodorovné hrany obrysů RZ . To přispívá k přesnému určení pozice RZ . Navíc vzhledem k tomu, že je použita hranová detekce ve vodorovném i svislém směru, je při vyhledávání k dispozici dvojnásobné množství informace oproti předchozímu postupu hledání svislých hran.

Vhodná maska (Obr. 5) byla pro tento účel vytvořena uměle z podkladových materiálů tak, aby shoda s vyhledávanou RZ dosahovala maxima bez ohledu na zastoupení jednotlivých znaků v hledané RZ .

Obr. 5 - Šablona RZ

Vlastní vyhledávání masky v obraze může být realizováno např. dvourozměrnou křížovou korelací (2) v rámci prohledávaného regionu, kde I^i značí prohledávaný region obrazu, T^i hledanou šablonu RZ a \bar{I}^i a \bar{T}^i střední hodnoty těchto dvourozměrných ploch [7]. Výsledkem je dvourozměrná reálná funkce r^i s globálním maximem v místě levého horního rohu RZ .

$$r_{corr2}^i(u, v) = \frac{\sum_x \sum_y (I^i(x+u, y+v) - \bar{I}^i) \cdot (T^i(x, y) - \bar{T}^i)}{\sqrt{\left(\sum_x \sum_y (I^i(x+u, y+v) - \bar{I}^i)^2 \right) \cdot \left(\sum_x \sum_y (T^i(x+u, y+v) - \bar{T}^i)^2 \right)}} \quad (2)$$

Vzhledem k tomu, že při vyhledávání je pro nás důležitá pouze relativní hodnota globálního maxima (1., 2., ...), tak je možné vztah (2) zjednodušit (urychlit) vypuštěním normování středními hodnotami (3).

$$r_{corr2}^i(u, v) = \sum_x \sum_y (I^i(x+u, y+v) \cdot T^i(x, y)) \quad (3)$$

Podstatného urychlení výpočtu je však možné dosáhnout přesunutím výpočtu z předmětového prostoru do spektrální oblasti (4), kdy je k výpočtu možné použít algoritmy $2D\text{fft}$, resp. fft (vzhledem k separabilitě $2D\text{fft}$).

$$r_{corr2}^i(u, v) = \Re \text{iff}_{2D} \left(\text{fft}_{2D} \left(I^i(u, v) \right) \cdot \text{fft}_{2D} \left(\text{rot}_{90} \left(T^i(x, y) \right) \right) \right) \quad (4)$$

Nevýhodou tohoto postupu je však nutnost do programového kódu zahrnout výpočty s komplexní matematikou.

Velmi dobrým kompromisem mezi přesností, rychlostí výpočtu a náročností na složitost programového kódu představuje náhrada výpočtu $2D$ vzájemné korelace algoritmem SAD^4 , či některou jeho obdobou (5).

$$r_{SAD}^i(u, v) = \sum_x \sum_y \text{abs} \left(I^i(x+u, y+v) - T^i(x, y) \right) \quad (5)$$

V tomto případě je hledaným extrémem globální minimum v ploše r_{SAD}^i . Tento jednoduchý postup dává pozoruhodně dobré výsledky. Na Obr. 6 je zobrazeno několik případů detekce RZ v různých vstupních obrazech.



Obr. 6 - Porovnání skupiny detekovaných RZ metodou hledání vertikálních hran (vlevo) a modifikovanou metodou (vpravo)

4. SEGMENTACE ZNAKŮ

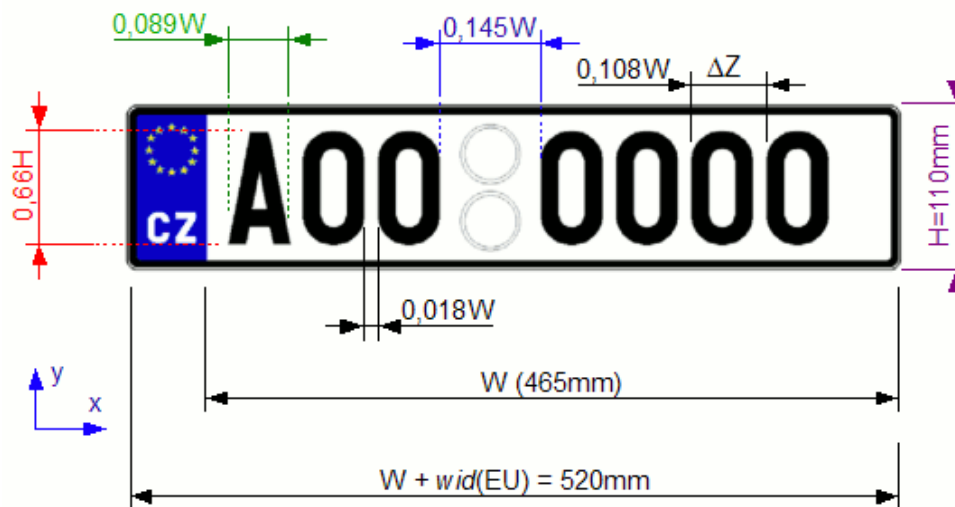
Určení pozice a rozměrů znaku je úloha se značným dopadem na následné rozpoznání symbolu. Zejména deterministické přístupy k rozpoznání symbolu jsou velmi citlivé i na jen malé posunutí, či oříznutí jinak správně prahovaného znaku, což má velký negativní dopad na spolehlivost rozpoznání. Z těchto důvodů je třeba věnovat segmentaci znaků v rámci RZ nejvyšší pozornost.

Je-li cílem segmentace znaků i v případě RZ s nedokonalým hranovým obrazem (znečištěná RZ , RZ s nízkým odstupem signál/šum), kde není splněn výchozí předpoklad, že znak je tvořen spojitým regionem oddělitelným jasovým prahem od ostatních regionů představujících okolní znaky bez významného dopadu na degradaci vyjádření znaku, je nutné využít souhrnné informace poskytované skladbou všech znaků v rámci RZ jako celku.

³ Druhý člen uvažován pouze pro reálná data bez komplexního doplňku

⁴ Sum of Absolute Differences

Na Obr. 7 je zobrazena skladba *RZ* typu 101-116 a 201-236 (520 mm x 110 mm) s uvedením hlavních rozměrů a vazeb mezi rozměry oblastí znaků a vertikální a horizontální šířkou⁵.



Obr. 7 - Dispoziční náčrtek registrační značky (typ 101)

Z Obr. 7 je patrné, že uspořádání znaků nese další dodatečné informace, jejichž využití umožňuje potenciálně identifikovat i ty znaky, u nich došlo k lokálnímu poškození jejich obrazu.

4.1 Odhad výšky znaků

Jedna z možností, jak detekovat správnou výšku jednotlivých znaků je vyhledání horizontálního průmětu všech znaků tvořících řádek a jejich oddělení od pozadí a okrajů *RZ*. Tímto způsobem je možné určit výšku i těch znaků, které jsou významněji poškozeny. V algoritmu popisovaném v [5] byla pro tento účel navržena aplikace *Houghovy transformace* [8]. Vzhledem k přítomnosti značného počtu vozidel s rotovanými obrazy *RZ* byl algoritmus doplněn postupem kompenzace rotace dle [9], který je nyní aplikován na každý snímek *RZ*. Parametr θ udávající kompenzační úhel byl omezen na rozsah $\langle -85^\circ, 95^\circ \rangle$ ⁶, což pozitivně přispívá k urychlení výpočtu. Na Obr. 8 jsou zobrazeny příklady výstupu algoritmu pro rotované obrazy *RZ*, u nichž by bylo bez kompenzace rotace velmi obtížné určit horizontální průmět znaků.

Postup je možné aplikovat přímo na vstupní obraz *RZ* ve stupních šedi⁷. Předpokládáme-li neinvertovaný obraz *RZ*, pak funkce součtu $S_V(y)$ (6) bude dosahovat maxima v oblastech mezi horní, či spodní hranou znaku a okrajem *RZ*, kde lze předpokládat největší výskyt obrazových bodů s vysokou intenzitou jasu a naopak minima v místech okrajů

⁵ Detekce je prováděna s vynecháním *EU proužku* ($W=465$ mm)

⁶ θ - úhel normály přímky vzhledem k vodorovné ose x souřadného systému

⁷ Před dalším zpracováním bude vhodné provést lokální ekvalizaci histogramu výřezu obrazu *RZ*, jehož průběh může být značně odlišný od průběhu histogramu celého obrazu, zejména u nočních snímků!

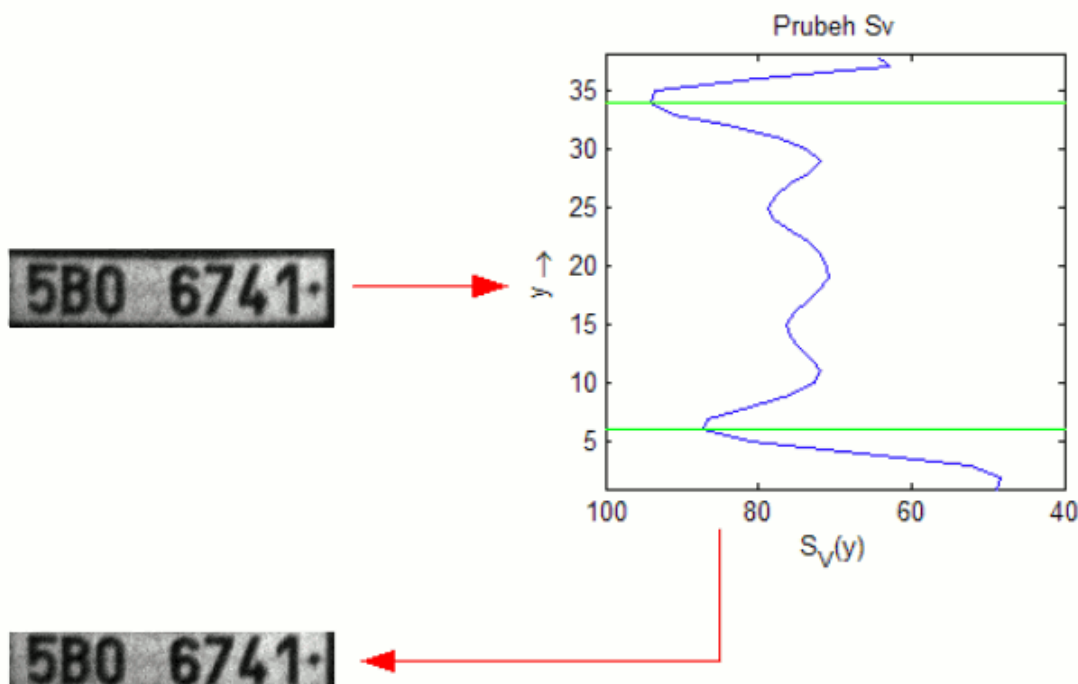
RZ (rámeček *RZ*). V místech odpovídajících vertikálnímu řezu znaku bude průběh S_V odpovídat zastoupení jednotlivých znaků.



Obr. 8 - Příklady korekce natočení *RZ* vozidel

$$S_V(y) = \sum_{x=1}^{x=H} I(x, y) \quad (6)$$

Sumace $S_V(y)$ je prováděna přes všechny řádky matice I , kde $I(x, y)$ je průběh jasové funkce v obrazu *RZ* a x je horizontální souřadnice (viz Obr. 7). Na Obr. 9 je zobrazen příklad *RZ* a odpovídající průběh funkce $S_V(y)$ s jasně patrnými maximy. Vzhledem k tomu, že průběh $S_V(y)$ v místech odpovídajících vertikálnímu řezu znaku je proměnný, je vhodné omezit vyhledávání maxim např. na oblasti odpovídající zhruba 33% výšky *RZ* od okrajů *RZ* [5].



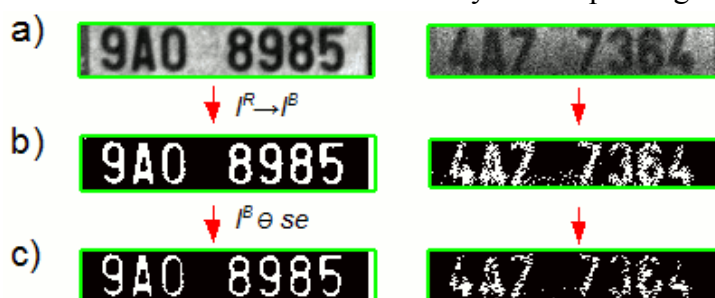
Obr. 9 - Průběh $S_V(y)$ a vztah k vertikálnímu řezu *RZ* na úrovni znaků

Prostor funkce $S_V(y)$ mezi maximy udává prostor výšky znaků. Výsledkem je *RZ* oříznutá od spodního a vrchního okraje, která může být dále podrobena vyhledání vertikálních okrajů znaků.

4.2 Extrakce znaků

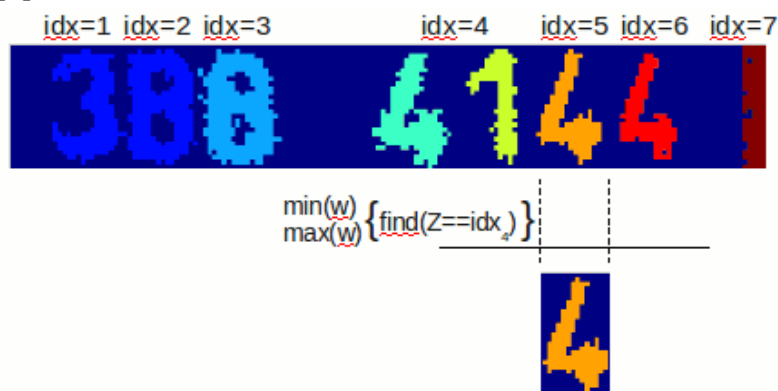
Z takto předpřipraveného obrazu RZ je již možné extrahovat jednotlivé symboly. Obraz RZ v odstínech šedi (Obr. 10a) je nejprve převeden do černobílého vyjádření. K převodu je možné použít adaptivně vypočítaný práh např. metodou *Otsu* [6], případně doplněný zavedením variace prahu zohledňující požadavek na počet spojených regionů s velikostí odpovídající oblasti znaku a odpovídající očekávanému počtu znaků.

Výsledkem je černobílá reprezentace obrazu RZ (Obr. 10b). Pro zvýšení strmosti je možné na černobílý obraz RZ aplikovat *morfologickou erozi* [8] s velmi malým *strukturálním elementem*⁸ (Obr. 10c), čímž dojde k odstranění malých objektů⁹. Na Obr. 10 je tento postup dokumentován pro kontrastní obraz RZ a obraz RZ se nízkým odstupem signál - šum.



Obr. 10 - Demonstrace postupu potlačení drobných objektů

Tímto postupem je zbavena černobílá reprezentace obrazu RZ většiny nežádoucích artefaktů a je možné přikročit k extrakci jednotlivých znaků (Obr. 11). Nejprve je provedeno indexování všech spojitých regionů v obraze některým z algoritmů vyhledávání spojitých regionů ve snímku [8].



Obr. 11 - Extrakce symbolů z obrazu RZ

Následně je pro každý objekt zjištěna minimální a maximální horizontální souřadnice a znak je vyříznut (7), (8).

$$Z_h = (\text{find}(RZ = idx)) \quad (7)$$

$$Z_{hmin} = \min(Z_h); Z_{hmax} = \max(Z_h) \quad (8)$$

⁸ Aplikace morf. eroze způsobí zvětšení odstupů minim a maxim v průběhu funkce $S_H(x)$, pro další výpočty je však používán původní $I^B(x,y)$

⁹ Objekty – spojené oblasti sestávající z menšího počtu obrazových bodů, než nastavená konst.

V případě nedokonale prahovaných znaků, nejčastěji z důvodu poškozeného obrazu *RZ* (znečištěná *RZ*) dochází ke slití obrazů jednotlivých znaků. V takovém případě je nutné z rozdílu $Z_{hmax}-Z_{hmin}$ určovat pravděpodobný počet znaků (Obr. 11 idx=5). Při předpokladu minimální šířky nejužšího znaku λ je možné symboly s $Z_{hmax} Z_{hmin} \leq \lambda$ z extrakce vyloučit (Obr. 11 idx=7) a snížit tak chybovost segmentace.

Výsledkem uvedených operací je k samostatných objektů symbolů, které mohou být postoupeny k rozpoznání.

5. ROZPOZNÁVÁNÍ ZNAKŮ

Rozpoznávání znaků je realizováno upravenou verzí oblíbeného algoritmu *Template matching* [8]. Vstupem pro tento algoritmus jsou šablony znaků a obrazy znaků získané segmentačními postupy popisovanými v předchozích částech. U každého obrazu znaku je přizpůsobena velikost¹⁰ a znak je porovnáván se všemi šablonami. Po nalezení extrému funkce shody je vybrán kandidátní znak.

Pro tyto typy algoritmů je příznačná citlivost na správné překrytí analyzovaného znaku a šablony. Vzhledem k tomu, že porovnávání matic probíhá v prostorové oblasti, kdy jediným posuzovaným kritériem je počet shod vzájemně se překrývajícími shodnými obrazovými body, hraje správná segmentace znaku významnou roli.

Postupy předpřípravy a segmentace obrazu popisované v předchozí části umožňují získat poměrně přesnou reprezentaci znaku a to i v případě značného poškození. Tímto postupem by mělo být dosaženo zvýšení pravděpodobnosti správného rozpoznání znaku.

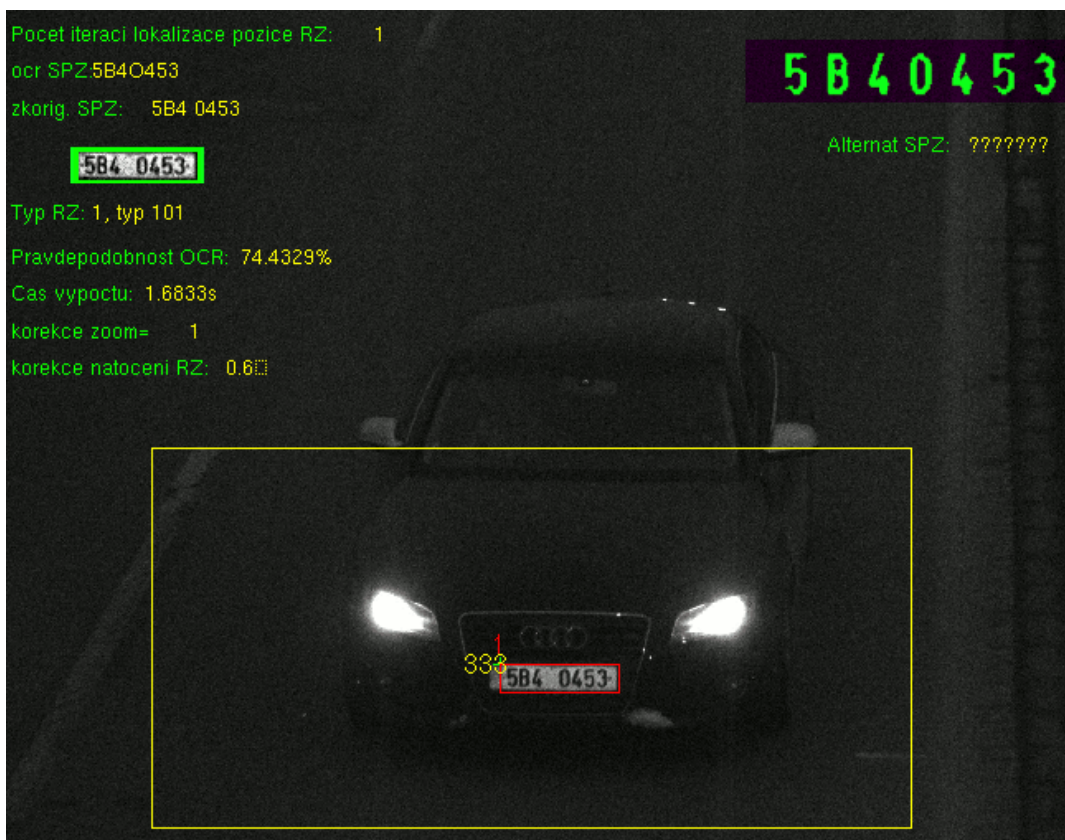
6. ZÁVĚR

Popisovaný deterministický systém detekce *RZ* a rozpoznání znaků je velmi rychlý a implementačně nenáročný. Velkou výhodou popisovaného postupu je možnost použití pro obecně jakoukoli jednořádkovou *RZ* s předem neznámým počtem znaků, tedy i zahraniční *RZ*. Doplněním postupu popisovaném v [5] systémem kompenzace rotace došlo k dalšímu zvýšení pravděpodobnosti správné detekce *RZ* vozidla. K určení výšky znaků reprezentujících *RZ* se nevyužívá výška každého separátního znaku, ale horizontální průběh všech znaků, což dále zvyšuje robustnost systému. Vzhledem k použití jednoduchých technik a metod počítačového zpracování obrazu, je algoritmus velmi rychlý. Na Obr. 12 a Obr. 13 jsou zobrazeny příklady výstupu detekcí *RZ*.

¹⁰ Při změně rozměrů obrazu znaku je při takto malém rozlišení vždy nezbytné použít vhodné interpolace (např. bilineární, Lanczos apod.)



Obr. 12 - Příklad výstupu algoritmu rozpoznání RZ osobních vozidel



Obr. 13 - Příklad výstupu algoritmu rozpoznání RZ osobních vozidel – tmavá RZ

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Operation of License Plate Readers For Law Enforcement Agencies in New York State*. Division of Criminal Justice Services, New York, June 2007
- [2] SHAPIRO V., DIMOV D., BONCHEV S., VELICHKOV V., GLUHCHEV G. *Adaptive License Plate image Extraction*, International Conference Computer Systems and Technologies 2004, ISBN 954-9641-38-4
- [3] EL-ADAWAI M., KESHK H., HARAGI M. *Automatic license plate recognition*, Third Saudi Technical Conference and Exhibition STCEX 2004, Vol. 3, pp 1-6, Dec. 2004
- [4] SULEHRIA H., ZHANG Y., IRFAN D. *Mathematical Morphology Methodology for Extraction of Vehicle Number Plates*, International Journal of Computers 2007, Vol. 1, Issue 3, pp 66-73
- [5] Dobrovolný M., *Rozpoznávání registračních značek motorových vozidel*, Seminář: Elektrotechnika a elektronika v dopravě, Univerzita Pardubice DFJP 2009, ISBN: 978-80-7395-194-8
- [6] OTSU N. *A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics 1979,
- [7] CASTLEMAN K. *Digital Image Processing*, Prentice Hall 1995, ISBN 0-132114-67-4
- [8] HARALICK M., SHAPIRO G. *Computer and Robot Vision*, Volume I, Addison-Wesley, 1992, pp. 28-48
- [9] Dobrovolný M., *Aplikace Houghovy transformace pro kompenzaci rotace obrazu registračních značek vozidel*, Seminář: Elektrotechnika a elektronika v dopravě, Univerzita Pardubice DFJP 2009, ISBN: 978-80-7395-194-8

Recenzenti: Ing. Zdeněk Šilar
Univerzita Pardubice, FEI, Katedra informačních technologií
Ing. Pavlína Brožová, Ph.D.
Univerzita Pardubice, DFJP, Katedra technologie a řízení dopravy