

ROZPOZNÁVANIE DOPRAVNÝCH ZNAČIEK A ICH POUŽITIE V MAPOVÝCH APLIKÁCIÁCH

Štefan TOTH

Katedra softvérových technológií, Fakulta riadenia a informatiky, Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26, Žilina, Slovenská republika
stefan.toth@fri.uniza.sk

Abstrakt

Článok popisuje metódy detekcie a rozpoznávania dopravných značiek spolu so zvoleným postupom vlastnej implementácie. Popisuje vyvinutý algoritmus, ktorý môže detegovať, rozpoznávať a sledovať zvislé európske dopravné značky podľa Viedenskej konvencie v reálnom čase z pohybujúceho sa vozidla. V súčasnosti je implementácia navrhnutá pre rozpoznávanie vybraných slovenských dopravných značiek s využitím segmentácie na základe farieb a klasifikácie pomocou neurónových sietí. K algoritmu bola vytvorená demonštračná aplikácia umožňujúca nielen rozpoznávanie, ale aj lokalizáciu a zber dopravných značiek. Lokalizácia je realizovaná vypočítaním približnej polohy získanej z GPS zariadenia a podľa umiestnenia dopravnej značky na spracovávanom obrázku získaného z kamery alebo z video súboru. Pomocou zberu značiek je možné aplikáciou klasifikátory aj trénovať a takto budovať databázu značiek, ktoré je možné potom rozpoznávať. Na zobrazenie polohy bol použitý Google Earth plugin, do ktorého sa zaznamenáva trajektória trasy pohybu a lokalizované umiestnenie rozpoznávaných dopravných značiek. Dopravné značky je možné zbierať do internej databázy za účelom ich ďalšieho spracovania, prípadne upozornenia vodiča. Jedným z možných využití získaných značiek je aj zobrazenie v mapách, pre navigačné systémy varujúce na rýchlostné a iné obmedzenia alebo pre algoritmy hľadajúce najrýchlejšiu optimálnu trasu. Celá aplikácia, ako aj knižnica na rozpoznávanie je písaná v jazyku C# s použitím troch externých .NET knižníc AForge.NET, EmguCV a GPS.NET, ktoré budú tiež stručne popísané.

Kľúčové slová: rozpoznávanie dopravných značiek, spracovanie obrazu, neurónové siete, Google Earth, GPS

Abstract

This paper describes methods of traffic sign detection and recognition, and also own chosen method of their implementation. It describes a developed algorithm that can detecting, recognition and tracking vertical European traffic signs by the Vienna Convention in real time from a moving vehicle on road. Nowadays the implemented algorithm is designed for recognition of selected Slovak traffic signs. It is used the color based segmentation and neural networks for classification. Along with algorithm was developed demo application allows in addition to recognition also localization and collecting traffic signs. Localization is perform by calculating the approximate location received from a GPS device, and location of traffic sign in the processing image captured from a camera or video file. By application it can also train classifiers of collected traffic signs and thus creating a database of signs that can be used for recognition. To view their location is used Google Earth plugin. On the map it is showing path of movement and localized placement of recognized traffic signs. Collecting of traffic signs is possible to an internal database for future processing or to alert the driver. One of possible using of the recognized traffic signs is also show on the maps, for navigation systems to warn of speed and other restrictions, or for the algorithms finding the fastest optimal path. The final application, as well as traffic sign recognition library is developed in C# using three external .NET libraries AForge.NET, EmguCV and GPS.NET.

Keywords: traffic sign recognition, image processing, neural networks, Google Earth, GPS

1 ÚVOD

Dopravné značky majú veľký význam, upravujú prednosť v jazde, informujú a upozorňujú účastníkov cestnej premávky, ukladajú im príkazy, zákazy a obmedzenia. Existujú v rôznych tvaroch a farbách, aby upútali pozornosť a rýchlo upozornili na svoj význam.

V súčasnej dobe sa prikladá veľký význam k asistenčným systémom pre podporu vodiča, ktoré mu majú pomáhať a zvyšovať tak bezpečnosť na cestách. Jedným z jeho podsystémov je aj systém na rozpoznávanie dopravných značiek. Dnešné takéto systémy, ktoré sú inštalované do luxusných verzií automobilov, dokážu rozpoznávať najmä dva typy dopravných značiek – najvyššie dovolenú rýchlosť a zákaz predchádzania. Ak vodič prekročí dovolenú rýchlosť alebo jazdný pruh, v prípade, že bola zdetegovaná značka zákazu predchádzania, systém ho na to upozorní.

Iné využitie rozpoznávania dopravných značiek má význam pre tvorcov máp a navigačných systémov. Priradenie významných dopravných značiek k jednotlivým cestám na mapách, hlavne príkazových a zákazových, môže zlepšiť výpočet optimálnej najkratšej alebo najrýchlejšej trasy vzhľadom k obmedzeniam daným dopravnými značkami. Navyše, aj keď sa v automobile nenachádza systém na rozpoznávanie dopravných značiek, navigačný systém môže prostredníctvom uložených značiek vodiča upozorniť. Dnes tak funguje v niektorých navigačných systémoch upozornenie na prekročenie rýchlosti vďaka tomu, že systém dokáže zistiť rýchlosť pomocou GPS prístroja a porovnať ju s najvyššie dovolenou rýchlosťou priradenou k danej ceste, po ktorej vodič prechádza. Toto všetko ale vyžaduje, aby boli v mapách doplnené značky s ich významom. Pre ich automaticky dopĺňanie a aktualizovanie môže pomôcť práve rozpoznávanie dopravných značiek.

Cieľom tejto práce bolo preto vytvoriť nielen *rozpoznávací systém*, ale aj lokalizačný, na zber značiek s ich polohou, za účelom vybudovania *databázy dopravných značiek*.

2 DOPRAVNÉ ZNAČKY

2.1 Stručná história dopravných značiek

Dopravné značky dnes patria k najdôležitejším elementom dopravnej infraštruktúry. Vyvíjali sa postupom času tak, ako rástla doprava. Na začiatku vznikla len potreba označovať smery pri nejasných križovatkách, neskôr aj vzdialenosti k určitým cieľom. Značky označujúce smer a vzdialenosť, zvané míľniky, sa začali budovať už v Rímskej ríši okolo roku 123 pred našim letopočtom [12]. Neskôr, za vlády mnohých európskych panovníkov začali pribúdať rôzne značky, napr. upozorňujúca značka Márie Terézie [14] alebo rôzne smerové značky. Najväčší posun vo vývoji dopravných značiek priniesol až rozvoj cyklistického a následne automobilového priemyslu od konca 19. storočia. V mnohých krajinách potom začali vznikať rôzne značky, čo bolo pre medzinárodnú dopravu nežiaduce. Preto bolo nevyhnutné ich zjednotenie a štandardizovanie. To sa podarilo v roku 1908 na prvom stretnutí Medzinárodného združenia stáleho cestného kongresu (Permanent International Association of Road Congresses, PIARC), kedy sa štandardizovali 4 dopravné značky, čo bol začiatok zrodu ich súčasnej podoby. Vývoj dopravných značiek pokračoval, postupne pribúdali nové značky. Najdôležitejšími medzníkmi vo vývoji boli roky 1926 (Parížska konvencia), 1949 (Ženevská konvencia OSN, Protokol o dopravných značkách a signáloch) a 1968 (Viedenská konvencia o dopravných značkách a signáloch Európskej hospodárskej komisie OSN). Posledná menovaná, *Viedenská konvencia* z roku 1968 bola zjednocujúcim štandardom, ktorú akceptovala väčšina európskych a mnoho ďalších krajín sveta [21]. Definovala nové značky a štandardizovala ich farby, tvary, veľkosti a symboly. Napriek tomu, nie všetky krajiny ju prijali a ratifikovali. Medzi krajiny, ktoré ju nepodpísali patrí napr. USA, Kanada, či Austrália [24]. Dôvodom USA môže byť aj to, že sa riadi svojim vlastným štandardom, popísaným v *Manuáli o jednotných dopravných riadiacich zariadeniach pre cesty a diaľnice (Manual on Uniform Traffic Control Devices for Street and Highways, MUTCD)* [11].

2.2 Rôznorodosť dopravných značiek

Podľa Maxwella [12] v súčasnosti existujú na svete dva hlavné systémy dopravných značiek – *európsky* na základe *Viedenskej konvencie* a *americký* na základe *MUTCD*.

Napriek týmto štandardom prijali mnohé krajiny vlastné zmeny a špecifikácie dopravných značiek. Tu treba pripomenúť, že mnohé z týchto modifikácií štandardy dovoľujú. Hlavné rozdiely značiek používaných v rôznych krajinách sú v *grafike, farbách, tvare, veľkosti, fonte písma*, merných jednotkách, lokalizovaných textoch a *význame*.

Prehľad odlišností niektorých vybraných dopravných značiek zobrazuje *Tab 1*. V nej môžeme vidieť, ako sa jednotlivé značky odlišujú hlavne v pozadí, piktogramoch a tvaroch. Typickou ukázkou amerických značiek sú výstražné značky v tvare kosoštvorca so žltým pozadím v porovnaní s európskymi v klasickom tvare trojuholníka. Za zmienku stojí aj to, že značný počet amerických značiek používa na vyjadrenie len textovú podobu namiesto piktogramov.

Tab 1. Porovnanie vyobrazení dopravných značiek používaných v uvedených krajinách

	Stoj, daj prednosť v jazde!	Daj prednosť v jazde!	Najvyššia dovolená rýchlosť	Zákaz odbočovania vpravo	Zákaz predchádzania	Prikázaný smer obchádzania vpravo	Padajúce kamene	Nerovnosť vozovky
USA								
Írsko								
Švédsko								
Poľsko								
Slovensko								

Zdroj obrázkov: [23] [13]

Ak chceme vytvoriť univerzálny systém na rozpoznávanie značiek, musíme túto rôznorodosť brať do úvahy. V práci som sa zamerlal na dopravné značky nachádzajúce sa na Slovensku, avšak systém je pripravený aj na rozpoznávanie značiek z iných krajín podľa Viedenskej konvencie.

3 ROZPOZNÁVANIE DOPRAVNÝCH ZNAČIEK

Problematikou rozpoznávania dopravných značiek (*traffic sign recognition, TSR*) sa zaoberalo mnoho popredných spoločností a univerzít. Prvé pokusy o rozpoznávanie dopravných značiek boli už na konci 60.

rokov minulého storočia, avšak tejto problematike sa začalo naplno venovať až v 90. rokoch, kedy sa pozornosť zamerala na inteligentnú navigáciu a bezpečnosť vodičov [17].

3.1 Princíp rozpoznávania dopravných značiek

Vo všeobecnosti, postup pre rozpoznávanie dopravných značiek môžeme vyjadriť nasledujúcim postupom:



Obr. 1. Postup rozpoznávania dopravných značiek

Po *získaní obrázka* z nejakého zdroja (snímaním z kamery alebo z nahraného videa) nasleduje jeho *predspracovanie*, čo znamená použitie filtrov, odstránenie, resp. potlačenie šumu a príprava obrázka na ďalší krok, ktorým je *detekcia*. Tá zahŕňa segmentáciu, oddelenie popredia od pozadia a na základe toho identifikuje možné objekty, ktoré by mohli byť dopravnými značkami. Tieto objekty sa ďalej podrobujú *klasifikácii do tried*, čo predstavuje rozpoznanie konkrétnych typov značiek. Teda, výsledkom klasifikácie je určenie konkrétneho označenia typu značky, prípadne rozhodnutie, či to značka je alebo nie je.

Ako bolo uvedené v predchádzajúcej kapitole, dopravné značky sa vyznačujú určitými vlastnosťami, z ktorých najdôležitejšie pre detekciu a rozpoznávanie dopravných značiek je farba a tvar. Na tému rozpoznávania bolo publikovaných množstvo článkov, v ktorých sa autori snažili použiť rôzne prístupy a metódy. V mnohých využívali na detekciu klasické prístupy založené na *prahovaní a segmentácii na základe farieb* s využitím rôznych *farebných modelov* (RGB, HSL, HSI, CIECAM97) [16] [3] alebo *na základe tvaru* v čiernobielym obraze [6], prípadne ich *kombinácie* [4]. Nunn a kol. využili vo svojej práci dokonca *3D modelovanie* [15]. Ďalšie možné prístupy sú pomocou algoritmov strojového učenia, či už určené na klasifikáciu, ale aj detekciu. Z týchto algoritmov prevažujú *neurónové siete* [25], *SVM* [18] *boosting* [2]. Ďalej *template matching* [22], *genetické algoritmy* a iné.

4 VLASTNÝ NÁVRH A IMPLEMENTÁCIA ROZPOZNÁVANIA DOPRAVNÝCH ZNAČIEK

4.1 Použité prostriedky

Pre vytvorenie tejto práce som použil nasledujúce hardvérové a softvérové vybavenie. Z hardvérovej časti sa jedná o:

- *webovú kameru Logitech Webcam Pro 9000* – na snímanie obrazu z pohybujúceho sa auta; kamera bola umiestnená v strede čelného skla pomocou univerzálneho držiaku, tzv. „husieho krku“,
- *GPS Garmin GP18 USB* – GPS prijímač, ktorý sníma a poskytuje v podobe NMEA viet údaje, ako sú zemepisná šírka, dĺžka, výška, dátum, čas, rýchlosť spolu so smerom pohybu; tri z týchto údajov, zemepisnú šírku, dĺžku a smer využívam na výpočet približnej polohy dopravnej značky,
- *menič napätia Belkin AC Anywhere DC to AC Power Inverter 140 W* – pre napájanie notebooku v aute, zariadenie transformuje 12 V napätie v automobile na 230 V,
- *notebook Acer Aspire 7730G* – na tomto počítači bola aplikácia vyvinutá, testovaná a uskutočnil sa prostredníctvom neho aj zber dát – snímanie obrazu.

Zo softvérovej časti som použil:

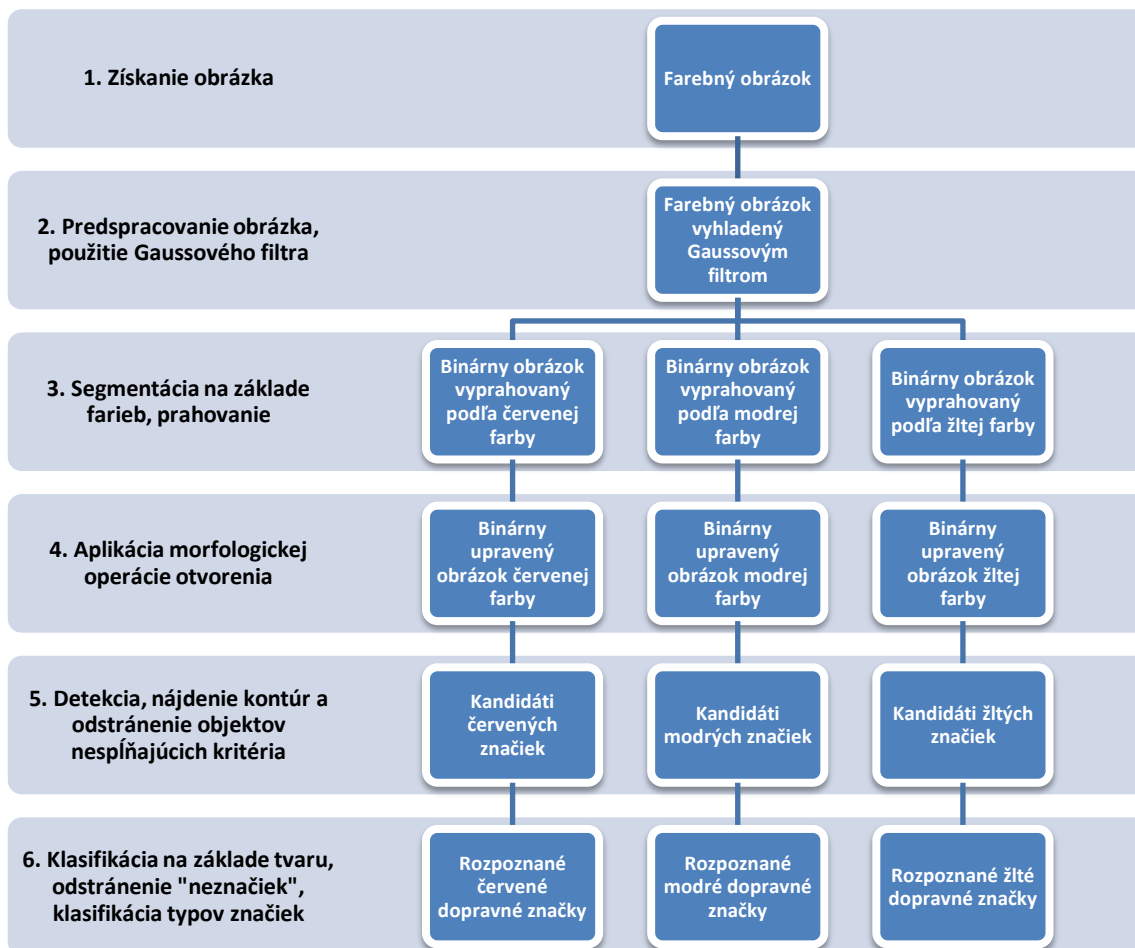
- program *Franson GpsGate for Windows 2.6.0.340* [9] – aplikáciu bolo nutné použiť kvôli zariadeniu GPS Garmin USB, nakoľko pre operačný systém Windows 7 nemá toto zariadenie zo strany výrobcu podporu; program tiež umožňuje preposielať a filtrovať výstupné NMEA vety z jedného zariadenia do vopred vytvorených virtuálnych COM portov (vrátane BlueTooth servera), na sieť, rozličných

programov, čím umožňuje zdieľať jedno GPS zariadenie medzi viacerými aplikáciami; umožňuje tiež nahrávať údaje do súborov a simulovať GPS,

- *Visual Studio 2008*, *.NET framework 3.5* a programovací jazyk *C#*,
- *.NET* knižnica *AForge.NET* [1] – knižnicu využívam hlavne na prácu s kamerami (snímanie, nahrávanie) a následne aj prehrávanie zosnímaného videa, okrem toho knižnica poskytuje algoritmy pre spracovanie obrazu, počítačového videnia, umelej inteligencie, robotiky, genetických algoritmov a strojového učenia,
- *.NET* knižnica *EmguCV* (OpenCV 2.1) [19] [20] – je to wrapper, t.j. obalujúca knižnica nad knižnicou OpenCV, čo je jedna z najznámejších a najpoužívanejších knižníc spracovania obrazu, počítačového videnia a strojového učenia, obsahuje viac než 500 optimalizovaných algoritmov písaných v C a C++; túto knižnicu využívam vo veľkej miere na detekciu (spracovanie obrazu, prahovanie, segmentácia, filtre) a klasifikáciu dopravných značiek (neurónová sieť),
- *.NET* knižnice *GPS.NET* [8] spolu s *GeoFramework* [7] – umožňuje spracovať údaje získané z GPS zariadení (t.j. NMEA vety, z ktorých dokáže získavať hodnoty, prepočítavať ich do rôznych jednotiek, atď.), ako je zemepisná dĺžka, šírka, výška, dátum, čas, smer a rýchlosť.

4.2 Navrhnutý postup rozpoznávania

Navrhnutý postup detekcie a rozpoznávania je znázornený na Obr. 2. Jednotlivé kroky budú podrobne vysvetlené v nasledujúcich častiach.



Obr. 2. Navrhnutý postup rozpoznávania dopravných značiek

Získanie obrázka

Pomocou kamery alebo z videosúboru sa získa farebný snímok, ktorý je reprezentovaný RGB farebným modelom. Rozlíšenie obrázkov získaných z kamery som zvolil 640 x 360, ktoré sa tiež javí ako dostačujúce na rozpoznávanie v reálnom čase.

Predspracovanie obrázka

Po získaní snímku nasleduje jeho úprava. Predspracovaním obrázka vylepšujem obrázok odstránením šumu, v prípade prehrávania z komprimovaného videa alebo kamery. Využívam tu vyhladenie (*smoothing*) pomocou Gaussového filtra.

Segmentácia na základe farieb a prahovanie

Na detekciu kandidátov som zvolil segmentáciu na základe farieb. Jej výhodou je jednoduchšia implementácia a nízka výpočtová zložitosť, na rozdiel od segmentácie podľa tvaru. V nasledujúcich častiach budem spracovávať 3 typy dopravných značiek podľa ich farby – červené, modré a žlté. Rozpoznávanie zelených a hnedých značiek som do úvahy nebral, ale v budúcnosti bude možné aj tieto značky do systému pre rozpoznanie začleniť.

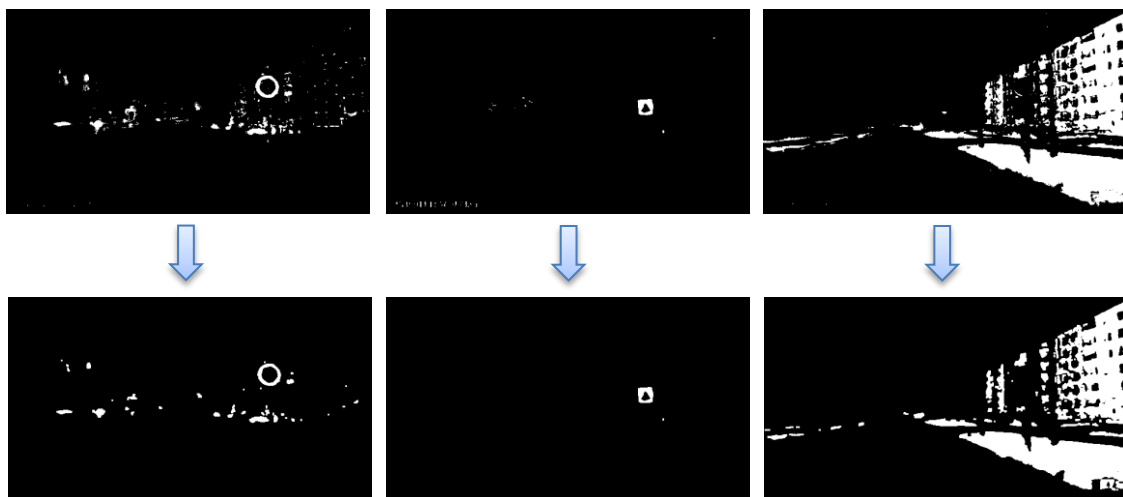
Aby som mohol použiť segmentáciu na základe farieb efektívnejšie vzhľadom na osvetlenie a jednoduchšie získanie rozsahu farebného spektra, prevádzam predspracovaný obrázok do modelu *CIELAB*, pomocou ktorého z farebného obrázka vyprahujem červenú, modrú a žltú farbu. Takto získam 3 binárne obrázky (Obr. 3), na ktorých sa nachádza popredie reprezentované bielou farbou (pixely, ktoré spĺňali podmienku hodnoty prahu) a zvyšok (pozadie) čiernou. Prahy boli určené staticky, zistené experimentovaním, pre každú prahovanú farbu zvlášť.



Obr. 3. Prahovanie farebného obrázka, dole zľava podľa červenej, modrej a žltej farby

Aplikácia morfolologickej operácie otvorenia

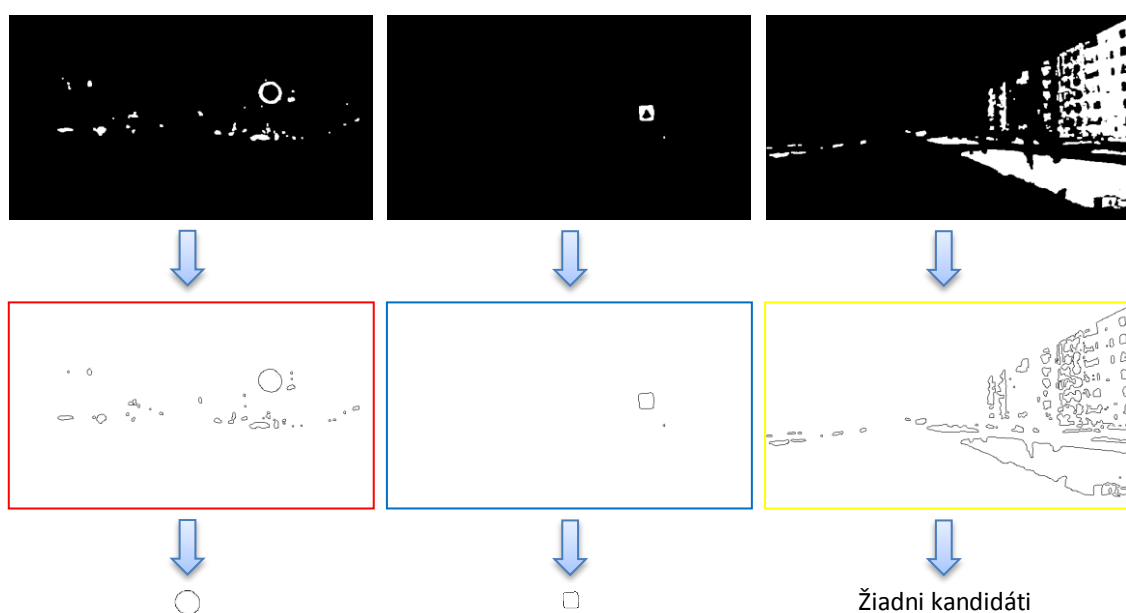
Na takto získané 3 binárne obrázky som ďalej použil *morfológickú operáciu otvorenia*, teda zloženú operáciu z morfológických operácií *erózie* a *dilatácie*. Tým sa odstránil šum, t.j. odstránili sa niektoré príliš malé objekty a zvýraznili sa väčšie (Obr. 4).



Obr. 4. Použitie morfolologickej operácie otvorenia na jednotlivé vyprahované obrázky

Detekcia kandidátov

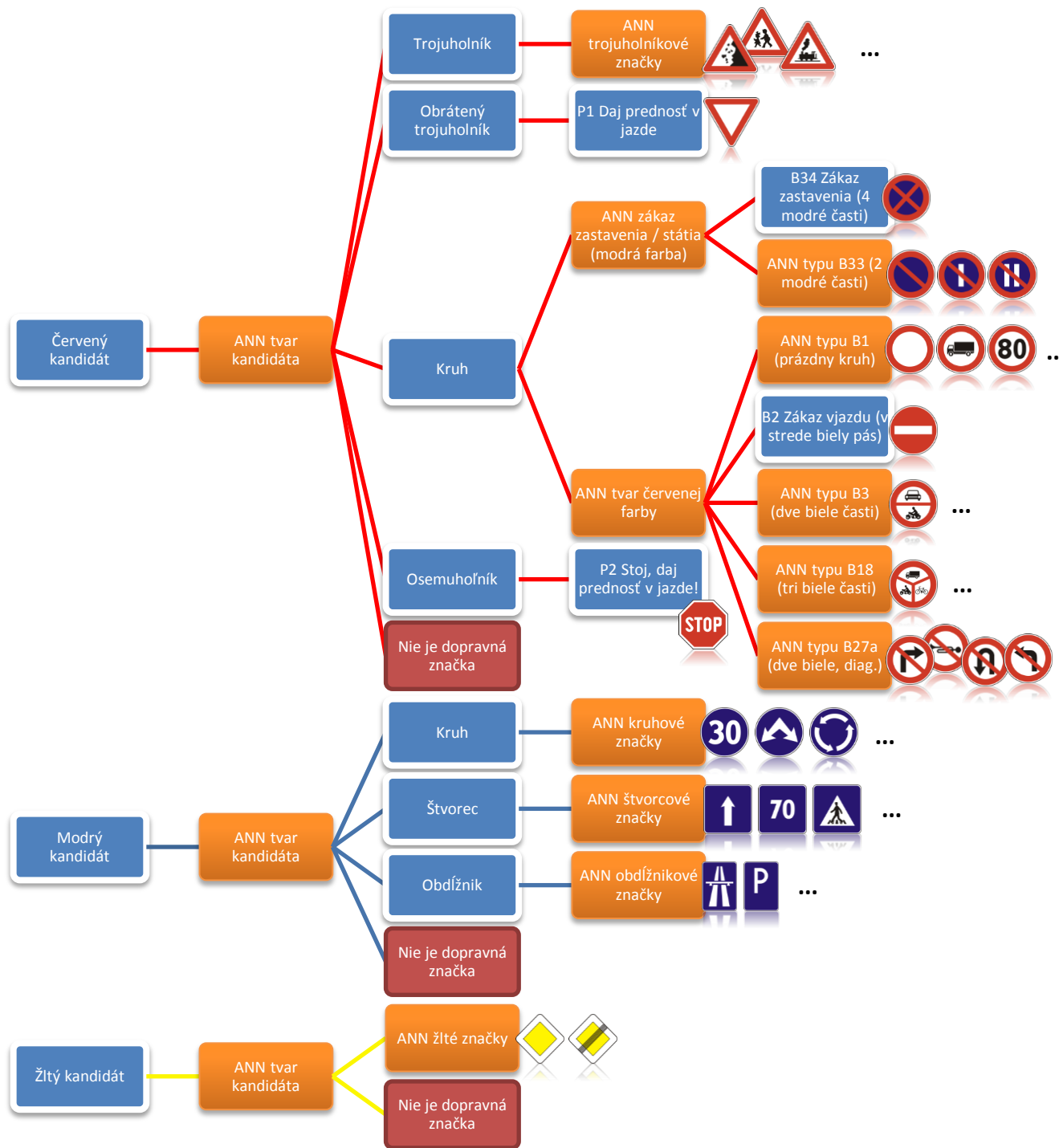
Po upravení všetkých 3 binárnych obrázkov som na ne aplikoval *algoritmus na hľadanie kontúr*. Pomocou neho sa hľadajú na jednotlivých obrázkoch obrysy – súvislé oblasti. Reprézntácia kontúry pritom umožňuje použitie vlastností, ako je výška a šírka ohraničujúceho obdĺžnika kontúry, veľkosť obsahu a obvodu, pričom je ďalej možné dodatočne vypočítať konvexný obal alebo najmenší opísaný obdĺžnik s uhlom, v akom je natočený. Z týchto informácií si môžeme vypočítať aj vlastnosti ako pozdĺžnosť, pravouhlosť, kruhovosť, či konvexnosť [5]. Tieto vlastnosti používam na to, aby som odstránil také kontúry, ktoré s najväčšou pravdepodobnosťou nie sú dopravnými značkami. Opäť som hraničné hodnoty týchto vlastností hľadal experimentovaním. Tu bol však problém nájsť také vyvážené hodnoty, aby neprepustili čo najväčší počet falošných detekcií a naopak, aby prepustili práve tie, ktoré v skutočnosti sú značkami. Po dlhej analýze a pozorovaniach som našiel kompromis, ktorý vyhovoval parametrom pre danú testovaciu vzorku rozličných obrázkov. Vďaka tomu sa odstránilo množstvo falošných kandidátov, hoci stále je ich prepustených ešte dosť. Tí budú eliminovaní v nasledujúcej časti klasifikáciou tvaru.



Obr. 5. Hľadanie kandidátov na značky z kontúr na jednotlivých vyprahovaných obrázkoch

Klasifikácia kandidátov

Na klasifikáciu som navrhol niekoľko *umelých neurónových sietí* (*artificial neural network, ANN*), vychádzajúc hlavne z farby a rozdelenia tvaru značiek (Obr. 6).



Obr. 6. Kaskáda navrhnutých neurónových sietí určených na klasifikáciu

Každý kandidát je na začiatku podrobený klasifikácii podľa tvaru (na obrázku ANN tvar kandidáta). Výstupom tejto prvej *tvarovej neurónovej siete* je rozhodnutie, akého tvaru je kandidát (kruh, trojuholník, štvorec atď.) alebo či nie je dopravnou značkou (tu sa odfiltrujú a zachytia všetky „neznačky“, samozrejme len na základe vzorov, podľa ktorých boli naučené). Ak kandidát prejde, tzn. nebol označený ako „Nie je dopravná značka“, pokračuje klasifikáciou cez ďalšiu neurónovú sieť.

Z implementačného hľadiska sú všetky *neurónové siete* typu viacvrstvový perceptrón (*multilayer perceptron*, MLP) s 3 vrstvami (vstupná, skrytá, výstupná) so sigmoidálnou aktivačnou funkciou.

Pri tvarových neurónových sieťach (ANN tvar kandidáta) dávam na ich vstup výsledok z horizontálneho a vertikálneho histogramu (vyjadruje početnosť bodov z riadkov, resp. stĺpcov obrázka) z binárnych obrázkov, na ktorých sa nachádza vyplnená kontúra normalizovanej veľkosti.

U ostatných neurónových sietí privádzam na ich vstup tiež výsledok z horizontálneho a vertikálneho histogramu, avšak z obrázka, na ktorom sa nachádza len vnútro značky. Na tento účel odstraňujem okraj značky kandidáta a navyše, ak sa jedná o obdĺžnikový, štvorcový alebo trojuholníkový tvar a ak je kandidát natočený pod istým malým uhlom, pokúsim sa ho vyrovnať jednoduchou afínnou transformáciou – rotáciou podľa uhla, ktorý som získal opísaným obdĺžnikom kontúry. Ďalej normalizujem veľkosť obrázka na 50 x 50, interpoláciou najbližšieho suseda.

4.3 Sledovanie dopravných značiek

Vyššie uvedeným postupom môžeme značky detegovať a rozpoznávať na statických, samostatných obrázkoch. Cieľom práce je ale rozpoznávanie dopravných značiek z pohybujúceho sa vozidla, teda zo sekvencie obrázkov. Tu nastáva niekoľko problémov, ktoré musíme brať do úvahy. Jedným z problémov je to, ako zistiť z postupnosti dvoch alebo viacerých obrázkov, že sa na nich nachádza jedna a tá istá dopravná značka. V niektorých obrázkoch postupnosti sa totiž môže stať, že sa tá istá značka rôzne (chybne) klasifikuje, prípadne sa vôbec nezdeteguje. Auto sa nehýbe len priamo, ale manévruje, čím je trajektória značky rôzna a v neposlednom rade je najväčším problémom oneskorenie medzi snímkami (niektoré obrázky sú spracované rýchlo, iné sú náročnejšie na výpočtový čas procesora, takže ich spracovanie trvá dlhšie), čo závisí aj od rýchlosti pohybujúceho sa vozidla. Oneskorenie má za následok, že ak je rozdiel medzi dvoma snímkami príliš vysoký, tak sa dve rôzne značky môžu spojiť do jednej, tzn. druhá značka sa mylne bude považovať za prvú.



Obr. 7. Sledovanie dopravnej značky

Pre rozpoznávanie dopravných značiek na sekvencii obrázkov musíme značku ihneď po jej rozpoznaní začať sledovať a to aj v prípade, že to značka nie je (ak bola chybne klasifikovaná) alebo sa na nasledujúcich obrázkoch nezdeteguje z rôznych dôvodov (napr. zlé svetelné podmienky, poškodená alebo prekrytá značka iným objektom apod.). Na tento účel slúžia algoritmy sledovania (*tracking*) a pohybu (*motion*) spolu s určením optického toku (*optical flow*). Tu som využil *sledovanie vybraných bodov* (pixelov) rozpoznaného objektu pri porovnávaní predchádzajúceho a aktuálneho obrázka. Na sledovanie je možné použiť niekoľko metód, z ktorých som si vybral *Lucas-Kanadeho* algoritmus. Ten pracuje na princípe porovnávania dvoch po sebe idúcich obrázkov, prvý (predchádzajúci) v čase t a druhý (súčasný) obrázok v

časte $t + \Delta t$. Pomocou nich sa prepočítavajú nové pozície určitých sledovaných bodov z predchádzajúceho obrázka pre súčasný.

4.4 Určenie približnej polohy dopravnej značky

Pre určenie približnej polohy dopravnej značky musíme poznať *zemepisnú dĺžku (longitude)*, *šírku (latitude)* a *smer (bearing)* v čase jej rozpoznania. K týmto údajom ešte potrebujeme informáciu o tom, v ktorej časti obrázka sa nachádza rozpoznaná dopravná značka (pre jednoduchosť, v pravej alebo ľavej polovici). Výslednú približnú súradnicu zloženú zo zemepisnej dĺžky *signLon* a šírky *signLat* môžeme vypočítať rotáciou podľa smeru *b*:

$$\text{signLon} = \text{lon} + \text{sign} * x * \cos b - y * \sin b$$

$$\text{signLat} = \text{lat} + \text{sign} * x * \sin b + y * \cos b$$

kde *lon* je aktuálna zemepisná dĺžka, *lat* aktuálna zemepisná šírka, *sign* znamienko podľa polohy rozpoznanej značky na obrázku (ak sa nachádza vpravo, nadobúda hodnotu +1, inak -1), *x* je konštanta pre posunutie o dĺžku v decimálnych stupňoch, *y* konštanta pre posunutie o šírku v decimálnych stupňoch a *b* smer v radiánoch. Premenné *lon*, *lat* a *b* sú získané z GPS zariadenia v decimálnych stupňoch, konštantám *x* a *y* som empiricky stanovil rovnakú hodnotu 0.00005.



Obr. 8. Zobrazenie rozpoznávaných značiek s trasou na mape cez Google Earth plugin

4.5 Testy a výsledky

Na začiatku, aby som mohol klasifikovať a teda rozpoznávať a testovať dopravné značky, musel som najskôr naučiť neuronové siete. Preto som potreboval absolvovať niekoľko trás, ktoré mi poskytli solídnu zbierku dopravných značiek i objektov, ktoré neboli značkami. Prešiel som niekoľko miest Slovenska, ako okolím mesta Partizánske, mestom Trenčín, Prievidzou, Bánovcami nad Bebravou a časťou Žiliny, z čoho som získal 25 958 anotovaných kandidátov dopravných značiek i neznačiek vo farebnom, šedotónovom i binárnom prevedení. Z týchto trás som získal celkovo 75 rôznych druhov dopravných značiek.

Za účelom testovania som absolvoval dve trasy, jednu z Partizánskeho do Žiliny a druhú trasu po meste Žilina. Z testovacích absolvovaných trás vyplynula *úspešnosť detekcie* dopravných značiek 70 %. Pritom *priemerná rýchlosť spracovania jedného snímku* spolu so sledovaním bola 25 ms (pohybuje sa od 10 ms do 50 ms, v závislosti od zložitosti scény). Tento čas je nadmieru vynikajúci pre rozpoznávanie v reálnom čase.

Do miery úspešnosti musíme zaradiť podmienky, za akých bola získaná a aké značky boli/neboli zdetegované. Značky, ktoré neboli na trasách zdetegované, boli väčšinou modré *priechody pre chodcov*. Tieto boli vylúčené z detekcie z toho dôvodu, že boli príliš malé a kamera bola od nich značne vzdialená (niektoré sa nachádzali na okrajoch). Najväčší problém spôsobovali zlé svetelné podmienky. V dôsledku toho segmentácia na základe farieb zlyhávala, keďže farby oproti svetlu sú kvôli tomu veľmi tmavé. Farby sú kľúčové, čo je problém aj pri značkách, ktoré sú vyblednuté alebo majú zlé farby. Rovnako aj odlesky spôsobujú problémy, či príliš veľké rozmazanie, ku ktorému zase dochádza za slabých svetelných podmienok. Ďalej kvôli natočeniam a chybám na značkách – pomaľované, chýbajúce časti, či inak poškodené alebo prekryté vetvami stromov, alebo inými objektmi.

V poslednom prípade, značky, ktoré boli detegované, ale boli chybné klasifikované je problém jednak v neurónovej sieti a jednak hlavne v počte vzoriek, z ktorých sa neurónová sieť učila. Problém je tiež v nerovnomernosti počtu vzoriek. Tieto by mali byť ideálne vyvážené, preto by boli potrebné ďalšie zbery dát, aby sme získali väčší počet vzoriek, hlavne tých značiek, ktoré sa nevyskytujú v takom veľkom počte.

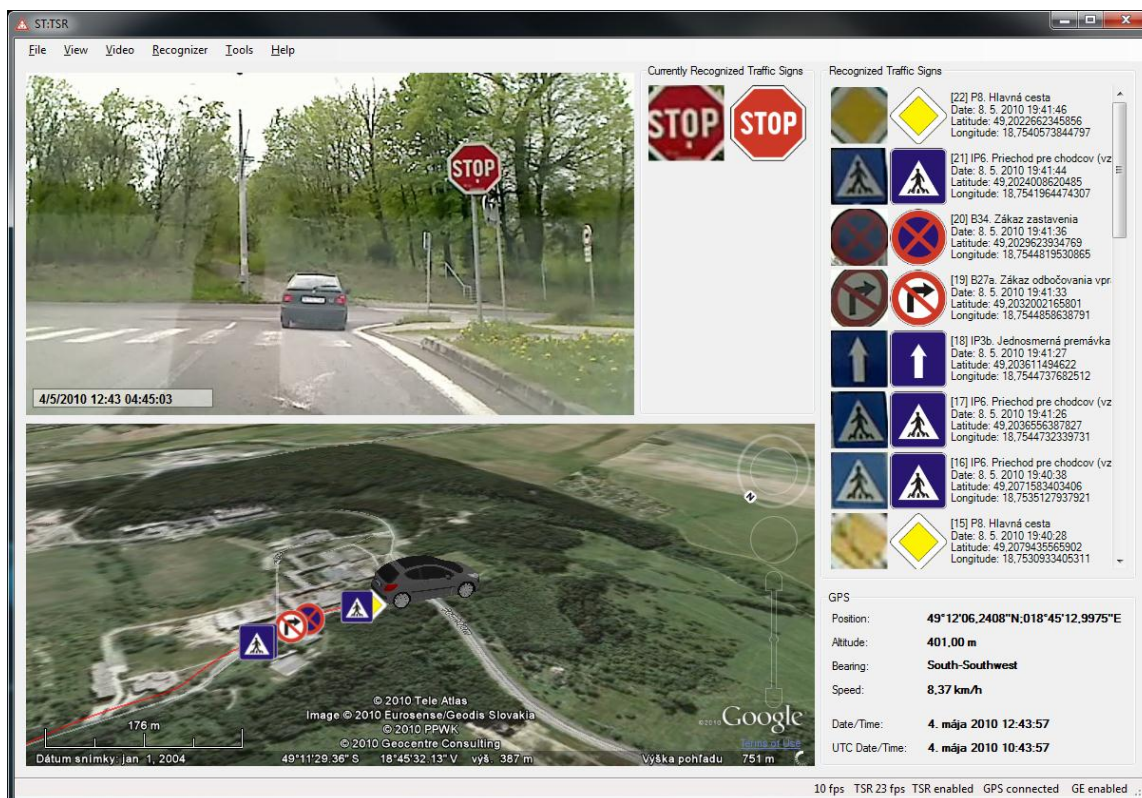


Obr. 9. Príklady nerozpoznaných dopravných značiek

Vylepšovať je tu ešte stále toho dosť, v prvom rade detekcia a potom klasifikácia, ktoré sú pre rozpoznávanie kľúčové. Ideálne by bolo použiť segmentáciu na základe tvaru a až potom použiť farby na ďalšiu klasifikáciu, prípadne použiť iné techniky.

5 VÝSLEDNÁ APLIKÁCIA

Cieľom bolo vytvoriť systém na rozpoznávanie dopravných značiek s určením ich približnej polohy. Navrhnutá aplikácia umožňuje okrem toho aj *testovať systém*, *zbierať dáta* (dopravné značky i neznačky za účelom natrénovania klasifikátora), *spracovávať ich*, *anotovať* (označovať ich kategórie), následne *učiť a testovať neurónové siete*, *simulovať* i *bežať v reálnom prostredí* so zobrazením výsledných značiek na mape.



Obr. 10. Hlavné okno výslednej aplikácie

Aplikácia sa skladá z hlavného okna, z ktorého sa môžu rozpoznávať značky buď z *video súboru* alebo priamo z *kamery*. Pri kamere je možné nastaviť jej rozlíšenie a ďalšie parametre, ktoré dovoľujú ovládače kamery. Podľa nastavení sa program pripája na GPS zariadenie na určitý port so zvolenou rýchlosťou. Možná je aj automatická detekcia GPS.

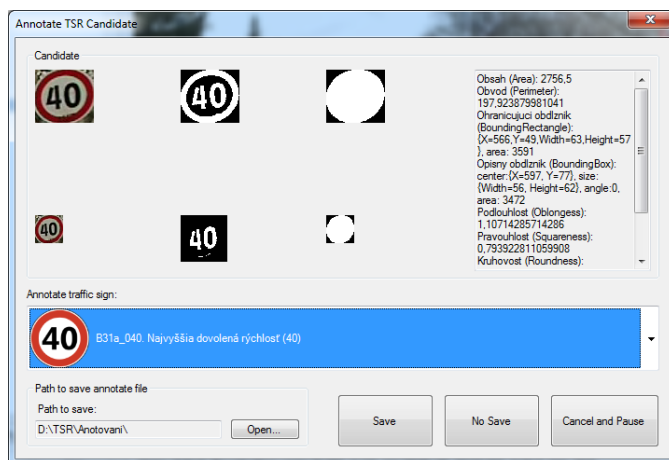
V programe sa potom zobrazujú výsledné rozpoznané značky s ich súradnicami jednak vpravo, v zozname všetkých rozpoznaných značiek alebo priamo na mape. Mapa je realizovaná cez komponent Google Earth, ktorý som vytvoril na základe myšlienky a demonštračného kódu Frasera Chapmana [10]. Základom je stránka s javascriptom, v ktorej sa načíta Google Earth plugin. Stránka sa otvorí v komponente typu `WebBrowser`. Kód v javascripte sa volá zo C# aplikácie, pričom javascript môže volať i kód v C#. To je zabezpečené vďaka prepojeniu objektu s vlastnosťou `ObjectForScripting` komponentu `WebBrowser` a z druhej strany vďaka nastavaniu atribútov triedy na `PermissionSet` a `ComVisibleAttribute`.

Po zbere značiek, nemusia byť všetky zdetegované úspešne. Preto program umožňuje *opraviť typ značky* alebo ju *odstrániť* pravým kliknutím myši na značku v zozname rozpoznaných značiek, čím sa vyvolá kontextové menu, z ktorého je toto možné vykonať (Obr. 11). Ďalej je možné množinu rozpoznaných značiek *uložiť do súboru* a neskôr z neho tieto *načítať* pre budúce spracovanie. Možný je aj *export do KML súboru*, ktorý sa dá otvoriť v rôznych GIS aplikáciách podporujúcich tento otvorený formát založený na XML, ako je aj plná aplikácia Google Earth.

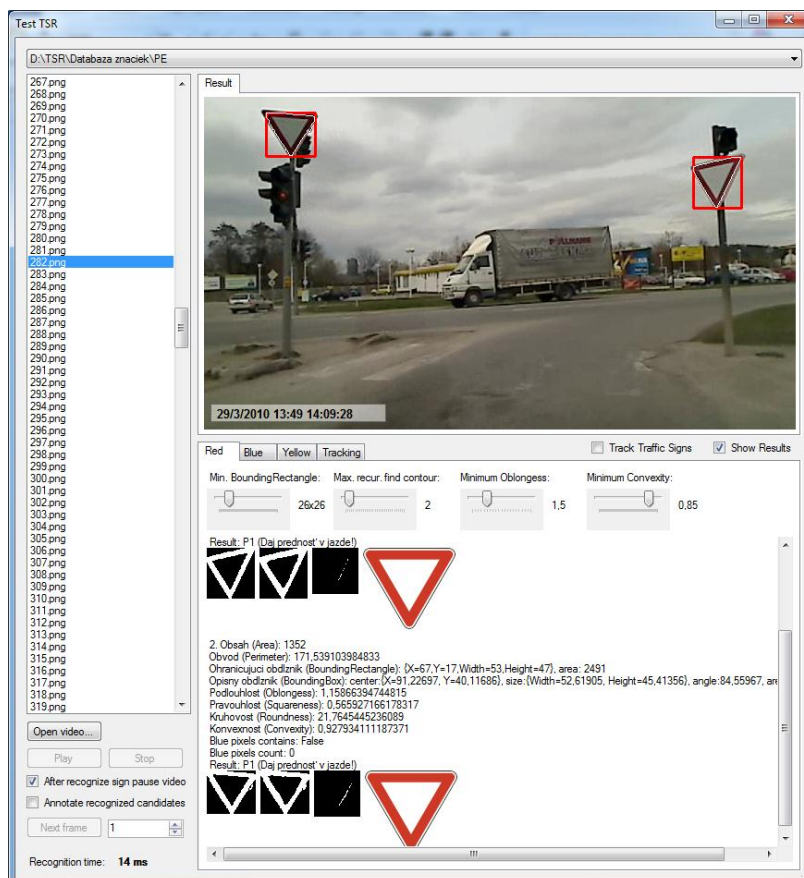


Obr. 11. Možnosť vymazania alebo modifikovania typu značky z kontextové menu

Na to, aby systém dokázal rozpoznávať dopravné značky, musia byť neurónové siete natréňované. Aby som ich mohol trénovať, musel som absolvovať niekoľko testovacích trás, z ktorých som získal videá, ktoré som následne spracoval. Získal som z nich kandidátov na značku, anotoval ich a takto naučil neurónové siete. Anotácia prebiehala analýzou videí a manuálnym určovaním typu označenia značky. Anotovať dopravné značky je možné, rovnako ako aj testovať cez špeciálne okno programu (Obr. 12., Obr. 13)



Obr. 12. Dialógové okno pre anotáciu dopravných značiek



Obr. 13. Dialógové okno pre testovanie TSR systému a anotáciu

6 ZÁVER

Výsledkom práce je .NET knižnica a aplikácia umožňujúca rozpoznávať a sledovať dopravné značky, pričom aplikácia umožňuje tiež zber, spracovanie, anotáciu, tréning a testovanie dopravných značiek, ďalej ich zobrazenie na mape a export do KML. Systém je v súčasnosti natrénovaný tak, že umožňuje rozpoznávať 75 rôznych druhov dopravných značiek a tieto je možné ďalej rozširovať učením nových značiek.

Úspešnosť detekcie a rozpoznania dopravných značiek je 70 %, pričom z týchto úspešnosť neurónových sietí sa pohybuje okolo 85 %. Priemerná rýchlosť spracovania jedného snímku pritom dosahuje 25 ms. Na týchto výsledkoch vidieť, že je stále čo zlepšovať, preto do budúcnosti bude prvoradé zlepšenie detekcie a klasifikátora s výberom vhodných príznačov.

Ďalší postup bude tiež smerovať na prepojenie so službou OpenStreetMap, za účelom automatického označovania ciest dopravnými značkami. Značky bude možné do služby vkladať, aktualizovať a na základe nich vypočítavať optimálnu trasu podľa dopravných obmedzení daných značkami.

LITERATÚRA

- [1] AForge.NET : Computer Vision, Artificial Intelligence, Robotics. [Online]. <http://www.aforge.net.com/>
- [2] Bahlmann, C., a iní (2005) A system for traffic sign detection, tracking, and recognition using color, shape, and motion information : *Intelligent Vehicles Symposium, 2005. Proceedings. IEEE*. ISBN: 0-7803-8961-1.
- [3] Broggi, A., a iní. (2007) Real Time Road Signs Recognition. Istanbul : *Intelligent Vehicles Symposium, 2007 IEEE*. ISBN: 1-4244-1067-3.

- [4] Cardarelli, E., a iní. (2009) Road signs shapes detection based on Sobel phase analysis. Xi'an : *Intelligent Vehicles Symposium, 2009 IEEE*. ISBN: 978-1-4244-3503-6.
- [5] Dobeš, M. (2008) *Zpracování obrazu a algoritmy v C#*. Praha : BEN - technická literatúra, 2008. ISBN 978-80-7300-233-6.
- [6] Fang, Chiung-Yao, Chen, Sei-Wang a Fuh, Chiou-Shann. (2003) Road-sign detection and tracking. s.l. : *IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2003* . Zv. 52, 5. ISSN : 0018-9545 .
- [7] GeoFramework 2.0. [Online]. <http://geoframework.codeplex.com/>
- [8] GPS.NET 3.0. [Online]. <http://gps3.codeplex.com/>
- [9] GpsGate Client. [Online]. http://gpsgate.com/products/gpsgate_client
- [10] Chapman, F. (2008) Google Earth Plug-in in a windows application. *Fraser Chapman blog*. [Online] <http://fraserchapman.blogspot.com/2008/08/google-earth-plug-in-and-c.html>
- [11] Manual on Uniform Traffic Control Devices, FHWA [Online]. <http://mutcd.fhwa.dot.gov/>
- [12] Maxwell, L. (2004) History of Traffic Signs. [aut. knihy] Cándida, C. a Horberry, T. *The human factors of transport signs*. Boca Raton, Florida : CRC Press LLC.
- [13] Ministerstvo vnútra SR. Vyhláška Ministerstva vnútra Slovenskej republiky č. 9/2009 Z.z. [Online]. <http://www.minv.sk/?vyhlaska-mv-sr-c-9-2009-z-z>
- [14] Narodeniny dopravných značiek, *D.A.S. revue*, 02/2008. [Online]. http://www.das.sk/fileadmin/klientska_zona/archiv_revue/oktober2008.pdf
- [15] Nunn, C., Kummert, A. a Muller-Schneiders, S. (2008) A novel region of interest selection approach for traffic sign recognition based on 3D modelling. Eindhoven : *Intelligent Vehicles Symposium, 2008 IEEE*. ISSN: 1931-0587.
- [16] Pacheco, L., Batlle, J. a Cufi, X. (1994) A new approach to real time traffic sign recognition based on colour information. Spain : *Proceedings of the Intelligent Vehicles '94 Symposium, 1994*. ISBN: 0-7803-2135-9.
- [17] Ruta, A. a Li, Y. (2007) Towards Real-Time Traffic Sign Recognition by Class-Specific Discriminative Features. Coventry, United Kingdom : In *Proceedings of the 18th British Machine Vision Conferenc, Proceedings of the 18th British Machine Vision Conference, 2007*. 1:399-408.
- [18] Shi, M., Wu, H. a Fleyeh, H. (2008) Support vector machines for traffic signs recognition. *IEEE World Congress on Computational Intelligence*. Hong Kong. ISBN: 978-1-4244-1820-6.
- [19] Emgu CV. SourceForge.net. [Online]. <http://sourceforge.net/projects/emgucv/files/>
- [20] Open Computer Vision Library. SourceForge.net. [Online]. <http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary/files/opencv-win/2.1/>
- [21] Toth, Š. (2010) *Rozpoznávanie a lokalizácia dopravných značiek*. Diplomová práca. Fakulta riadenia a informatiky Žilinská univerzita v Žiline.
- [22] Wang, Y., Shi, M. a Wu, T. (2009) A Method of Fast and Robust for Traffic Sign Recognition. *Fifth International Conference on Image and Graphics, 2009*. Xi'an, Shanxi. ISBN 978-1-4244-5237-8.
- [23] *Wikipedia, the free encyclopedia*. [Online]. <http://www.wikipedia.org/>

- [24] Vienna Convention on Road Traffic. *Wikipedia, the free encyclopedia*. [Online]. http://en.wikipedia.org/wiki/Vienna_Convention_on_Road_Traffic
- [25] Zhenghe, S., a iní. (2008) Research on Recognition Methods for Traffic Signs. *Second International Conference on Future Generation Communication and Networking, 2008. FGNC '08*. Hainan Island. Zv. 1. ISBN: 978-0-7695-3431-2.