

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 140

**KARTIRANJE HORIZONTALNE PROMETNE
SIGNALIZACIJE IZ GEOREFERENCIRANOG
VIDEOA**

Ante Majić

Zagreb, siječanj 2011.

Sadržaj

1.	Uvod	1
2.	Kartiranje prometnica	2
2.1.	Postojeća rješenja	2
2.2.	Primjena i tumačenje podataka dobivenih od GPS-a	3
2.2.1.	Općenito o GPS-u	3
2.2.2.	Tumačenje podataka dobivenih od GPS-a	4
2.3.	Primjena i tumačenje podataka dobivenih od žiroskopa	5
2.3.1.	Općenito o žiroskopu	5
2.3.2.	Tumačenje podataka dobivenih od žiroskopa	6
2.4.	Kalmanov filter	7
2.4.1.	Jednadžbe Kalmanovog filtra	7
2.4.2.	Primjena proširenog Kalmanovog filtra	9
2.5.	Interpolacija točaka polinomom trećeg stupnja	12
2.5.1.	Definiranje problema interpolacije točaka	12
2.5.2.	Transformacija točaka u koordinatni sustav vozila	13
2.5.3.	Izračun funkcije polinoma trećeg stupnja	15
2.5.4.	Diskretiziranje funkcije u koordinatnom sustavu vozila	16
2.5.5.	Određivanje preslikavanja iz t u Q_V^t	17
2.5.6.	Preslikavanje u koordinatni sustav Zemlje	19
3.	Upravljivi filter temeljen na drugoj derivaciji Gaussove funkcije	21
4.	Programska implementacija	24
4.1.	Ekstrakcija podataka iz datoteke sa GPS mjerenjima	24
4.2.	Iscrtavanje globalne slike prometnice	26
4.3.	Interpolacija točaka	27

4.4.	Iscrtavanje lokalne slike.....	29
4.5.	Prikaz smjera vozila i mjerila	30
4.6.	Detekcija prometnih zebri i otoka	31
4.7.	Problemi i moguća poboljšanja	33
5.	Opis rezultata	34
5.1.	Kartiranje prometnice	34
5.2.	Detekcija prometnih zebri i otoka	40
6.	Zaključak	44
7.	Literatura	45
8.	Sažetak	46

1. Uvod

Rastom broja populacije ljudi na Zemlji raste i broj vozila koja se koriste u privatne ili poslovne svrhe. Iako autoindustrija ulaže velika sredstva u zaštitu putnika u vozilima, broj nesreća je stalan ili jako sporo pada. Jedan od razloga je loša, istrošena prometnica ili manjak signalizacije na nekim mjestima gdje bi je trebalo biti. Kako bi se takva mjesta na prometnicama pravovremeno uočila, korisno bi bilo napraviti kartiranje horizontalne prometne signalizacije.

Kartiranjem horizontalne prometne signalizacije iz georeferenciranog videa dobije se niz povezanih slika prometnice kojom je vozilo na koje je prikopčana kamera prolazilo. Uz dobiveni video prometnice koriste se mjerenja iz GPS-a, koja prate poziciju vozila u diskretnim vremenskim intervalima. Alternativno, mogu se koristiti uređaji poput žiroskopa, kako bi određivanje pozicije vozila bilo preciznije. Kao rezultat se dobije kartirana prometnica sa svom horizontalnom signalizacijom kojom se vozilo kretalo.

Diplomski rad je organiziran na način da se nakon uvoda u drugom poglavlju prikažu neka slična postojeća rješenja, nakon čega se opisuju uređaji koji pružaju mjerenja i metode koje se koriste da bi se precizno pronašla pozicija vozila. U trećem poglavlju je ukratko opisan upravljivi filter temeljen na drugoj derivaciji Gaussove funkcije koji se koristi za detekciju prometnih zebri i otoka. Četvrto poglavlje prikazuje kompletnu programsku implementaciju sa navedenim bitnim funkcijama. Na kraju tog poglavlja navedeni su problemi koji nastali tokom izrade rada, ali i moguća poboljšanja. U petom poglavlju prikazani su rezultati dobiveni izvršavanjem programa, kao i njihov komentar.

2. Kartiranje prometnica

2.1. Postojeća rješenja

U svijetu već postoje neka slična rješenja, a jedno od njih jest inkrementalno skupljanje podataka iz tragova GPS-a [1]. U tom radu je opisan pronalazak prometnica iz odziva vozila koja u sebi sadrže GPS uređaje za navigaciju. Za svako se vozilo pamti gdje se nalazilo u nekom vremenskom trenutku, te se njegova trenutna i sve prethodne pozicije bilježe na karti. Isti proces se provodi nad većim brojem vozila u nekom području te se na taj način dobije karta s pozicijama promatranih vozila, iz čega se može prepoznati smjer i oblik prometnice. Drugi način na koji se ova metoda može koristiti, ukoliko je poznata prometnica nad kojom se promatraju tragovi GPS-a, jest detekcija eventualne nesreće ili odrona zemlje jer će se u tom slučaju primjetiti kako tragovi vozila zaobilaze nekakve smetnje na cesti.

Kako bi se prometnica što preciznije kartirala, koristiti se čitav skup senzora čija se mjerenja kombiniraju, kao što je to prikazano u radu [2]. Među mnogim sensorima nalaze se dvije video kamere i čak dva GPS uređaja. Za postizanje rezultata koristi se fuzija navigacijskih podataka, videa i očitavanja senzora montiranih na vozilu. Za razliku od prethodnog rješenja, ovo pruža skup trodimenzionalnih prostornih podataka o prometnici. Korištenje velikog broja senzora pruža visoku preciznost prilikom prikaza rezultata.

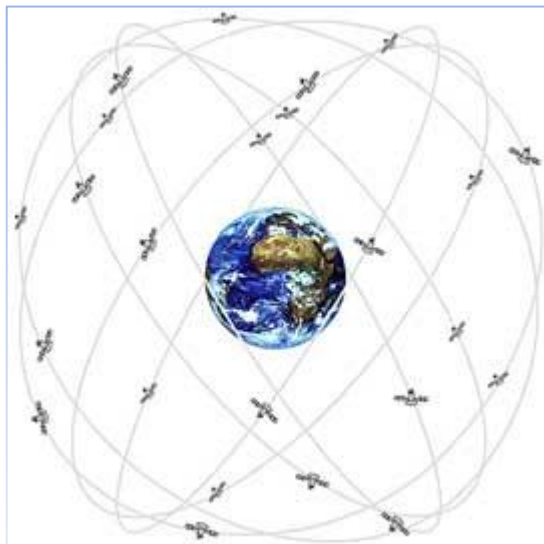
Uloga GPS-a ne mora biti nužno za kartiranje prometnice, već se može koristiti za njezino praćenje. Ovaj rad ima naglasak na praćenju prometnice, a kombinira vizualni slijed prometnice i DGSP (Differential GPS) [3]. Rad opisuje postupke za autonomnu vožnju pri čemu se pozicija vozila na prometnici određuje uz pomoć dva redundantna skupa senzora. Jedan od ta dva skupa sadrži DGPS koji sa velikom preciznošću određuje trenutnu lokaciju vozila.

Kao i u prethodnom radu, i ovaj rad ima veći naglasak na praćenju prometnice, a zanimljiv je jer za otkrivanje lokacije vozila koristi fuziju mjerenja GPS-a i žiroskopa [4]. Ovo rješenje je namijenjeno za navigaciju vozila, zbog čega je od vrlo velike važnosti imati točnu lokaciju vozila u svakom trenutku na prometnici.

2.2. Primjena i tumačenje podataka dobivenih od GPS-a

2.2.1. Općenito o GPS-u

GPS (engl. *Global Positioning System*) je navigacijski sustav koji omogućuje određivanje točne pozicije i brzine bilo kojeg korisnika, bilo gdje na Zemlji. GPS je razvijen 1980. godine za potrebe vojske SAD-a, da bi se u kasnijim devedesetima počeo koristiti u komercijalne svrhe. U današnje vrijeme GPS se pretežno koristi kao pomoćni sustav za navođenje korisnika tokom vožnje, pri čemu korisnik odabare određenu destinaciju, a računalo generira put koji će zadovoljiti korisnika prema nekom kriteriju: najbrži put, najbliži put...



Slika 1. Prikaz primjera kretanja satelita u orbiti oko Zemlje [5]

Pozicija dobivena od GPS-a se određuje uz pomoć satelita koji se nalaze na visini od otprilike 20.000 kilometara iznad površine Zemlje. Na toj visini kruži nešto više od 24 satelita koji su razmješteni na način da je svaka točka Zemljine površine pokrivena sa njih četiri [5]. Od ta četiri satelita, tri se koriste za određivanje pozicije, pa se taj postupak naziva triangulacija (engl. *triangle* - trokut).

2.2.2. Tumačenje podataka dobivenih od GPS-a

Izlaz iz GPS-a može biti u jednom od ukupno 58 formata [6]. Svaki format se razlikuje po tome što daje različita mjerenja, te zbog toga svaki format ima različitu primjenu.

Format se sastoji od rečenice koja počinje ključnom riječi. Ključna riječ se sastoji od znaka '\$', slova 'G' i 'P' te tri slova koja definiraju format, npr. \$GPGGA – *Global Positioning System Fix Data*, \$GPRMB – *Recommended Minimum Navigation Info* [6]. Nakon ključne riječi slijedi niz vrijednosti odvojenih zarezima koje su rezultat mjerenja GPS-a. Primjer jedne takve rečenice je dan u nastavku:

```
$GPGLL,4916.45,N,12311.12,W,225444,A
```

Ključna riječ na početku rečenice govori da se radi o *Geographic Position, Latitude / Longitude and Time*. Nakon ključne riječi, vrijednosti redom označavaju vrijednost geografske širine, smjer prema sjeveru, vrijednost geografske dužine, smjer prema zapadu, vrijeme u formatu hhmmss (h – sati, m – minute i s – sekunde) i oznaka valjanosti podataka.

Format koji je korišten u ovom radu je *Recommended minimum specific GPS/Transit data*. Ključna riječ ovog formata jest '\$GPRMC', a rečenica se sastoji od ukupno 12 vrijednosti dobivenih od GPS-a. Izgled rečenice ovog formata je prikazan na slici:

\$GPRMC,220516,A,5133.82,N,00042.24,W,173.8,231.8,130694,004.2,W*70											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 12
1	220516	vremenska oznaka									
2	A	valjanost - A-valjano, V-nije valjano									
3	5133.82	Geografska širina									
4	N	Sjever/Jug (North/south)									
5	00042.24	Geografska dužina									
6	W	Istok/Zapad (East/west)									
7	173.8	Brzina									
8	231.8	Smjer									
9	130694	Datum									
10	004.2	Varijacija									
11	W	Smjer varijacije Istok/Zapad (East/west)									
12	*70	kontrolna suma									

Slika 2. Prikaz rečenice formata GPRMC

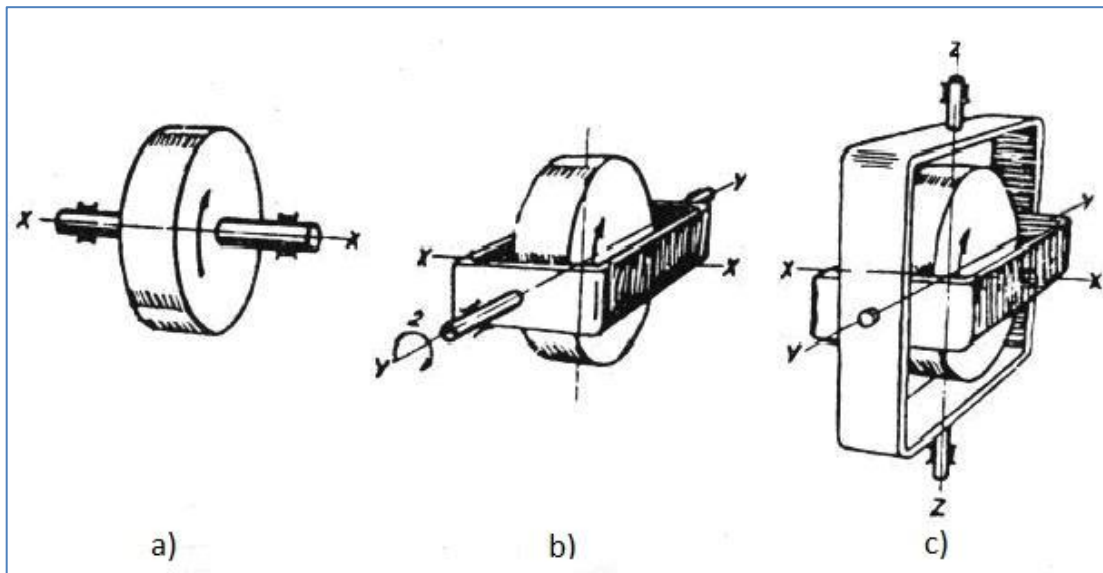
Od ovih 12 podataka koji su prikazani, od većeg značaja za ovaj rad su vremenska oznaka (format hhmmss), valjanost podataka, vrijednosti i smjer geografske širine i dužine (mjereno u stupnjevima), brzina mjerena u čvorovima te smjer mjeren u stupnjevima.

2.3. Primjena i tumačenje podataka dobivenih od žiroskopa

2.3.1. Općenito o žiroskopu

Kako bi se mogla preciznije odrediti pozicija vozila, mjerenja samog GPS-a nisu dovoljna. Zbog toga se koristi i žiroskop koji, za razliku od GPS-a, češće daje mjerenja na svoj izlaz.

Žiroskop je rotirajući predmet, najčešće disk, obješen u jednom ili dva okvira koji se nalaze u posebnom nosaču (kućištu žiroskopa). Rotacija diska proizvodi inerciju koja os rotacije diska u nedostatku nekih vanjskih smetnji zadržava usmjerenu u fiksnom pravcu u prostoru [7]. Shematski prikaz žiroskopa je prikazan na sljedećoj slici:

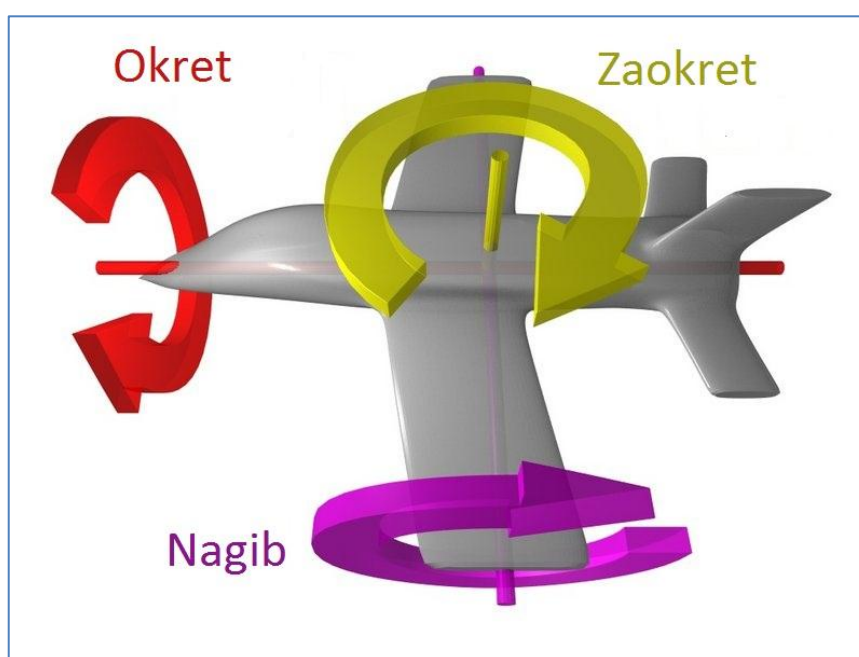


Slika 3. Shematski prikaz žiroskopa [7]

Slika 3 prikazuje shematski prikaz žiroskopa. Na slici 3a prikazan je jedan disk koji ima jedan stupanj slobode kretanja, što mu omogućuje kretanje oko jedne osi. Slika 3b prikazuje žiroskop s dva stupnja slobode s mogućnošću kretanja oko X i Y osi. I na

poslijetku slika 3c prikazuje žiroskop sa tri stupnja slobode, gdje je omogućeno kretanje u sva tri smjera.

Mjerenja koja daje poluvodički inercijski senzor se razlikuju od proizvođača, no svaki žiroskop na svom izlazu daje kutne brzine okreta (engl. *roll*), nagiba (engl. *pitch*) i zaokreta (engl. *yaw*). Okret pokazuje u kojem smjeru i koliko iznosi nagib vozila (predmeta) prema desnoj ili lijevoj strani, nagib pokazuje smjer i iznos nagiba vozila prema naprijed, odnosno natrag, te zaokret pokazuje na usmjerenost vozila (smjer kretanja) prema lijevo ili desno. Ta tri smjera čine tri stupnja slobode kretanja – opisuju sva moguća kretanja predmeta u prostoru. Primjer na modelu zrakoplova je dan na sljedećoj slici:



Slika 4. Prikaz tri stupnja slobode kretanja [7]

2.3.2. Tumačenje podataka dobivenih od žiroskopa

Od mjerenja koje žiroskop pruža, za ovaj rad je potrebna samo vrijednost kutne brzine zaokreta te vrijednost tzv. *Timerticks* (vremenska oznaka mjerenja). Kutna brzina zaokreta je potrebna kako bi se mogao odrediti smjer vozila u malim vremenskim razmacima koji se mogu dobiti iz očitavanja vremenske oznake.

Ovisno o proizvođaču postoji različitih formata u kojima se ispisuju mjerenja. Primjer jednog takvog mjerenja je dano u nastavku:

22.7.2009	14:07:10	3.58	0.67	-10.72	33055	0
1	2	3	4	5	6	7
1	22.7.2009	Datum mjerenja				
2	14:07:10	Vrijeme mjerenja				
3	3.58	Iznos roll kuta				
4	0.67	Iznos pitch kuta				
5	-10.72	Iznos yaw kuta				
6	33055	Vremenska oznaka mjerenja				
7	0	odoMetar				

Slika 5. Prikaz jednog mjerenja žiroskopa

Na slici 5 prikazano je jedno mjerenje žiroskopa, gdje su iznosi kutnih brzina izraženi u metrima po sekundi, dok je vremenska oznaka izražena u milisekundama. Maksimalni raspon kutnih brzina je ± 300 °/s, dok je preciznost ± 5 °/s. Žiroskop pruža oko 75 mjerenja po sekundi [8].

2.4. Kalmanov filter

2.4.1. Jednadžbe Kalmanovog filtra

Kalmanov filter je metoda koja uzima u obzir mjerenja, koja sadrže pogrešku, pri određivanju vrijednosti koje će biti bliže istinskoj vrijednosti mjerenja [9]. Ova metoda je dobila naziv prema Mađarsko – Američkom matematičaru Rudolfu Emilu Kalmanu. On je 1960. godine opisao optimalno rješenje linearnog filtriranja diskretnih podataka koje je od tada postalo objekt iscrpnih istraživanja u autonomnoj i potpomognutoj navigaciji.

Kalmanov filter omogućava efikasno izračunavanje stanja diskretnog linearnog procesa uz minimiziranje srednje kvadratne pogreške. Filter je rekurzivan, što omogućuje procesiranje novih mjerenja odmah nakon uzorkovanja [10]. U nastavku će biti prikazan Kalmanov filter prilagođen za izvedbu na računalima.

Filter rješava problem procjene stanja $x \in R^n$ procesa koji se odvija u diskretnom vremenu prema sljedećoj jednadžbi:

$$x_k = F_k \cdot x_{k-1} + B_k \cdot u_k + w_k, \quad (1)$$

gdje su vektori x_k i x_{k-1} vektori stanja u trenutnom i prethodnom trenutku, matrica F_k je matrica prijelaza stanja, matrica B_k povezuje opcionalni kontrolni signal u_k sa x_k , a w_k predstavlja procesni šum. Funkcija gustoće procesnog šuma je jednaka funkciji gustoće normalne razdiobe sa kovarijancom Q_k :

$$w_k \sim \mathcal{N}(0, Q_k) \quad (2)$$

Jednadžba mjerenja zadana stanjem x_k je dana u nastavku:

$$z_k = H_k \cdot x_k + v_k, \quad (3)$$

gdje matrica H_k povezuje stanje x_k sa mjerenjem z_k , a v_k predstavlja mjerni šum. Funkcija gustoće mjernog šuma je jednaka funkciji gustoće normalne razdiobe sa kovarijancom R_k :

$$v_k \sim \mathcal{N}(0, R_k) \quad (4)$$

Pošto je Kalmanov filter rekurzivan znači da za procjenu trenutnog stanja je potrebno samo trenutno mjerenje i stanje iz prethodnog koraka. Stanje filtra je prikazano sa dvije varijable:

- $\hat{x}_{k|k}$ – aposteriorna procjena stanja u koraku k
- $P_{k|k}$ – aposteriorna matrica kovarijance pogreške

Kalmanov filter je najčešće koncipiran u dvije faze: predikcija i korekcije. Faza predikcije koristi procjenjeno stanje iz prethodnog koraka kako bi se dobila procjena stanja u trenutnom koraku. Novo predviđeno stanje se naziva apriorna procjena stanja jer, iako je to procjena stanja u trenutnom koraku, ono ne koristi mjerenje iz tog koraka. Predviđena procjena stanja jest:

$$\hat{x}_{k|k-1} = F_k \cdot \hat{x}_{k-1|k-1} + B_k \cdot u_k, \quad (5)$$

dok je predviđena procjena kovarijance:

$$P_{k|k-1} = F_k \cdot P_{k-1|k-1} \cdot F_k^T + Q_k \quad (6)$$

U fazi korekcije se dobivena apriorna predviđanja povezuju sa trenutnim mjerenjem kako bi se poboljšalo procjenjeno stanje. Ta poboljšanja procjena se naziva aposteriorna procjena stanja. Da bi se izračunala ta procjena stanja, potrebno je izračunati još nekoliko parametara. Prvi od njih je inovacija y_k :

$$\tilde{y}_k = z_k - H_k \cdot \hat{x}_{k|k-1} \quad (7)$$

Nakon toga potrebno je izračunati kovarijancu inovacije:

$$S_k = H_k \cdot P_{k|k-1} \cdot H_k^T + R_k \quad (8)$$

Dobivenu kovarijancu inovacije možemo uvrstiti u izračun optimalnog Kalmanovog pojačanja (engl. *Optimal Kalman gain*):

$$K_k = P_{k|k-1} \cdot H_k^T + R_k \quad (9)$$

Izračunom ova tri parametra moguće je dobiti ažuriranu procjenu stanja i procjenu kovarijance prema sljedećim jednadžbama:

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k \cdot \tilde{y}_k \quad (10)$$

$$P_{k|k} = (I - K_k \cdot H_k) \cdot P_{k|k-1}, \quad (11)$$

gdje je I jedinična matrica.

U sljedećem koraku metode aposteriorna procjena stanja $\hat{x}_{k|k}$ postaje apriorna procjena stanja $\hat{x}_{k-1|k-1}$. Isto je i sa procjenom kovarijance $P_{k|k}$. Nakon toga postupak se ponavlja.

2.4.2. Primjena proširenog Kalmanovog filtra

Pošto GPS daje izlaz svake sekunde, potrebno je pronaći poziciju vozila između tog intervala. U tu svrhu može se koristiti prošireni Kalmanov filter (engl. *Extended Kalman filter* - EKF) kako bi se dobila sinteza mjerenja različitih uređaja: GPS-a i žiroskopa. Prošireni Kalmanov filter se koristi kada jednadžbe prijelaza stanja nisu linearne, kao što je to prikazano u ovom poglavlju.

Na početku je potrebno definirati jednadžbu procjene stanja modela. Za određivanje pozicije vozila između dva mjerenja GPS-a potrebna su sljedeća mjerenja: pozicija vozila na geografskoj dužini, pozicija vozila na geografskoj širini, brzina vozila, smjer vozila i njegova kutna brzina zaokreta. Uvrštavanjem redom ovih vrijednosti varijabla stanja će biti definirana na sljedeći način:

$$x = \begin{bmatrix} x \\ y \\ v \\ \theta \\ \omega \end{bmatrix}, \quad (12)$$

gdje je x pozicija vozila na geografskoj dužini, y pozicija vozila na geografskoj širini, v brzina vozila, θ smjer vozila i ω njegova kutna brzina. Prije uvrštavanja vrijednosti u vektor x potrebno je pretvoriti pozicije vozila iz stupnjeva u metre, brzinu iz čvorova u metre po sekundi te kut smjera vozila iz azimuta (mjeri otklon od geografskog sjevera u smjeru kazaljke na satu) u kut u Kartezijevom dvodimenzionalnom koordinatnom sustavu, u kojem se mjeri otklon od osi apscisa u smjeru suprotnom od smjera kazaljke na satu. Za definiranje jednadžbe evolucije modela potrebno je postaviti jednadžbu prema kojoj će se odrediti stanje vozila u sljedećem trenutku (koraku). Ta jednadžba je prikazana u nastavku:

$$x(t + \Delta t) = \begin{bmatrix} x \\ y \\ v \\ \theta \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v \cdot \cos \theta \cdot \Delta t \\ v \cdot \sin \theta \cdot \Delta t \\ 0 \\ \omega \cdot \Delta t \\ 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Iz gornje jednadžbe proizlazi da je:

$$x(t + \Delta t) = \begin{bmatrix} x + v \cdot \cos \theta \cdot \Delta t \\ y + v \cdot \sin \theta \cdot \Delta t \\ v \\ \theta + \omega \cdot \Delta t \\ \omega \end{bmatrix} \quad (14)$$

No za potrebe filtra potrebno je definirati matricu prijelaza stanja F . Ona je definirana kao jakobijan, što znači da su vrijednosti u matrici računate po sljedećem izrazu:

$$F_{i,j} = \frac{\partial x_i(t + \Delta t)}{\partial x_j}, \quad (15)$$

gdje su vrijednosti i i j indeks retka, odnosno stupca u matrici F . Uvrštavanjem jednadžbi (12) i (14) u jednadžbu (15) dobije se matrica F :

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cos\theta \cdot \Delta t & -v \cdot \sin\theta \cdot \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & \sin\theta \cdot \Delta t & v \cdot \cos\theta \cdot \Delta t & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Nakon definiranja jednadžbe procjene stanja modela potrebno je definirati i jednadžbe mjerenja. Pošto se Kalmanov filter koristi za sintezu mjerenja dva uređaja koji daju rezultate u različitim vremenskim intervalima, potrebno je definirati dvije različite jednadžbe mjerenja. Te dvije jednadžbe se razlikuju samo za matricu H . Za mjerenja dobivena od GPS-a matrica H je definirana sljedeći način:

$$H_{GPS} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Uvrštavanjem matrice H u izraz za mjerenje dobije se:

$$z = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ v \\ \theta \\ \omega \end{bmatrix} \quad (18)$$

Pošto žiroskop daje samo kutnu brzinu zaokreta, tada će matrica H izgledati na sljedeći način:

$$H_{\text{žiroskop}} = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1], \quad (19)$$

pa će tada mjerenje biti definirano:

$$z = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1] \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ v \\ \theta \\ \omega \end{bmatrix} \quad (20)$$

Kao što se može vidjeti iz jednadžbi (18) i (20), ovisno o uređaju čija se mjerenja uzimaju matrica z će imati različite dimenzije. Kada se uzimaju mjerenja od GPS-a, tada matrica z poprima dimenzije 4x4, dok mjerenja od žiroskopa daju skalarnu vrijednost. U ovisnosti dimenzija te matrice mijenjat će se i matrice y_k , S_k , R_k te K_k .

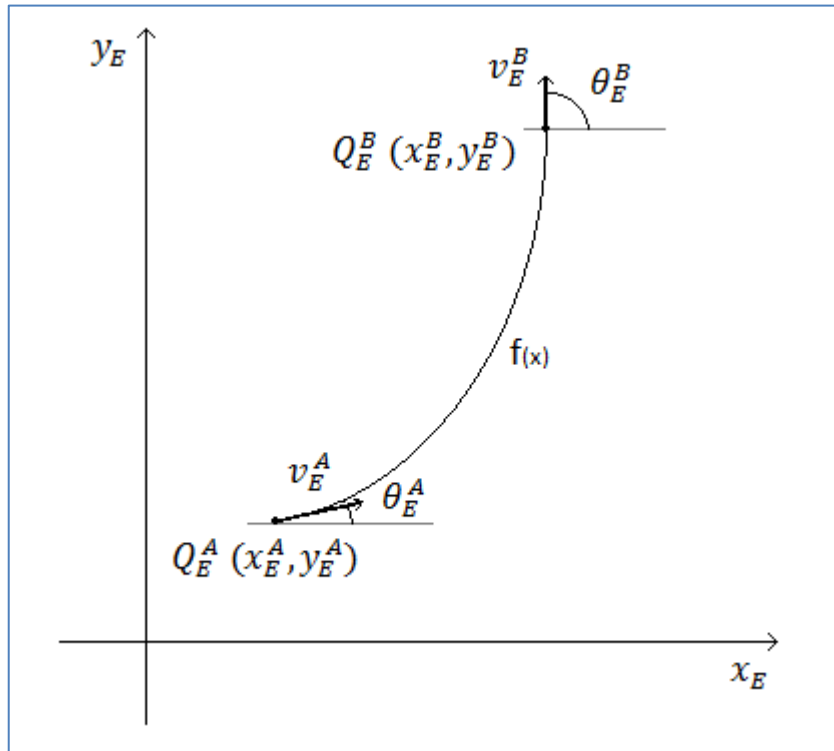
Od ostalih vrijednosti definiranih u prethodnom poglavlju potrebno je definirati matrice Q_k i R_k . Opcionalni kontrolni signal u_k se u ovom slučaju ne koristi, pa je zajedno sa matricom B_k izostavljen iz izračuna.

Matrice H_{GPS} , $H_{žiroskop}$, Q_k i R_k koje se koriste u filtru su konstantne, dok se u nekim implementacijama filtra mogu mijenjati ovisno o vremenu.

2.5. Interpolacija točaka polinomom trećeg stupnja

2.5.1. Definiranje problema interpolacije točaka

Mjerenja dobivena od GPS-a nisu dovoljna da bi se napravila kontinuirana karta prometnice zbog mjerenja koja se dobivaju svake sekunde. Zato je bilo potrebno pronaći funkciju kojom će se interpolirati točke između dva susjedna mjerenja. Problem je opisan na sljedećoj slici:



Slika 6. Prikaz funkcije koja povezuje dvije susjedne točke

Na slici 6 prikazane su dvije susjedne točke Q_E^A i Q_E^B dobivene od strane GPS-a u koordinatnom sustavu Zemlje. Svaka točka je definirana svojom pozicijom po x i y osi, te

svojom brzinom i smjerom. Potrebno je pronaći funkciju $f(x)$ kojom se povezuju te dvije točke, a koja će zatim poslužiti za interpolaciju ostalih točaka.

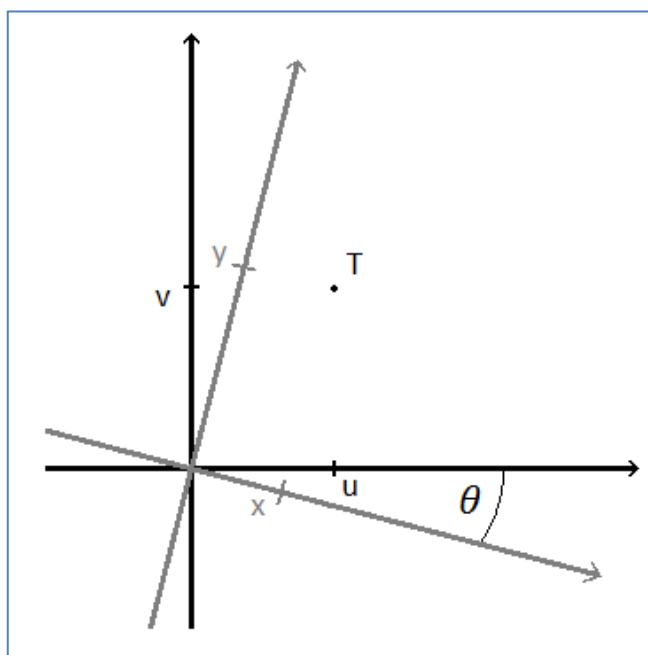
2.5.2. Transformacija točaka u koordinatni sustav vozila

No da bi se dobila ta funkcija potrebno je pronaći njezine koeficijente. Iz slike 6 je to dosta otežavajuće, pa bi se prethodno trebalo primijeniti neke transformacije nad točkama Q_E^A i Q_E^B u slici. Pošto bi za izračun koeficijenata funkcije bilo idealno kada bi jedna od točaka bila u ishodištu te kada bi njezin kut bio u smjeru x osi, tada će biti potrebno izvršiti dvije geometrijske transformacije: translaciju i rotaciju. Translacija je translacija sve točke u slici po jednolikom iznosu u x i y smjeru, a je definirana sljedećim jednadžbama:

$$x = u + t_x \quad (21)$$

$$y = v + t_y \quad (22)$$

gdje su x i y realne koordinate izlazne slike dobivene transformacijom nad ulaznom slikom sa koordinatama u i v . Parametri t_x i t_y su iznosi translacije. Rotacija rotira sve točke slike oko jedne točke za zadani kut, kao što je to prikazano na sljedećoj slici:



Slika 7. Točka T pri rotaciju sustava za kut θ

Rotacija je definirana sljedećim jednađbama:

$$x = u \cdot \cos\theta - v \cdot \sin\theta \quad (23)$$

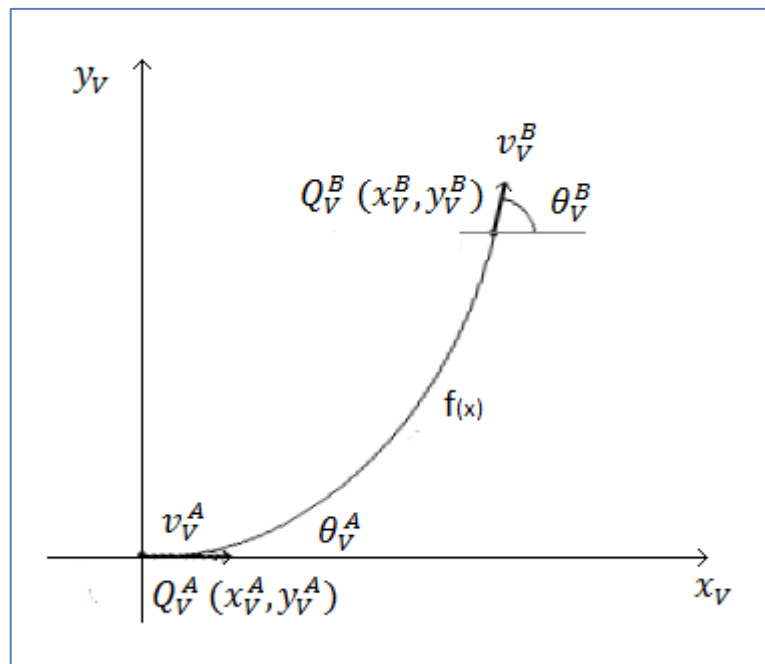
$$y = u \cdot \sin\theta + v \cdot \cos\theta \quad (24)$$

gdje su x i y realne koordinate izlazne slike dobivene rotacijom oko točke ulazne slike udaljene za u i v . Parametar θ je kut rotacije u smjeru kazaljke na satu. Spajanjem ovih dviju jednađbi dobije se složena transformacija oblika:

$$x = (u + t_x) \cdot \cos\theta - (v + t_y) \cdot \sin\theta \quad (25)$$

$$y = (u + t_x) \cdot \sin\theta + (v + t_y) \cdot \cos\theta \quad (26)$$

Primjenom prethodno definiranih geometrijskih transformacija nad slikom 6 transformirat će se točke koordinatnog sustava Zemlje u koordinatni sustav vozila. Slika nakon transformacije točaka prikazana je u nastavku:



Slika 8. Prikaz dobivenih točaka geometrijskim transformacijama

Slika 8 prikazuje točke i traženu funkciju nakon primjene geometrijskih transformacija. Za točku Q_v^A su poznate sljedeće vrijednosti:

$$x_v^A = 0 \quad (27)$$

$$y_v^A = 0 \quad (28)$$

$$\theta_V^A = 0 \quad (29)$$

$$v_V^A = v_E^A \quad (30)$$

Vrijednosti točke Q_V^B se računaju prema sljedećih formulama:

$$x_V^B = (x_E^B - x_E^A) \cdot \cos\theta_E^A + (y_E^B - y_E^A) \cdot \sin\theta_E^A \quad (31)$$

$$y_V^B = -(x_E^B - x_E^A) \cdot \sin\theta_E^A + (y_E^B - y_E^A) \cdot \cos\theta_E^A \quad (32)$$

$$\theta_V^B = \theta_E^B - \theta_E^A \quad (33)$$

$$v_V^B = v_E^B \quad (34)$$

U jednadžbama definiranim za točku Q_V^B može se primjetiti kako se izrazi za x_V^B i y_V^B razlikuju od onih definiranih u jednadžbama (25) i (26). Razlog tome je rotacija točaka za isti kut za koji se sustav prvobitno rotirao, samo u drugom smjeru.

2.5.3. Izračun funkcije polinoma trećeg stupnja

Nakon obavljenih geometrijskih transformacija translacije i rotacije nad točkama sustava, moguće je odrediti funkciju koja spaja dvije susjedne točke mjerenja (prikazanu na slici 8). Zbog svojih svojstava je za tu svrhu korištena funkcija polinoma trećeg stupnja. Oblik te funkcije je:

$$f_{(x)} = A \cdot x^3 + B \cdot x^2 + C \cdot x + D, \quad (35)$$

gdje su koeficijenti A, B, C i D realni brojevi. Ujedno su ti koeficijenti problem jer su nepoznanica, te ih je potrebno pronaći.

Koeficijenti funkcije se mogu pronaći iz sljedećih ograničenja:

$$f_{(x)} = y \quad (36)$$

$$f'_{(x)} = tg\theta \quad (37)$$

Jednadžba (36) pokazuje da se uvrštavanjem vrijednosti točke na x osi u funkciju dobije vrijednost na y osi, dok jednadžba (37) pokazuje da je derivacija funkcije u nekoj točki

jednaka tangens funkciji kuta koji tangenta u toj istoj točki zatvara sa x osi. Uvrštavanjem ove dvije jednažbe u jednadžbu (35) dobije se sljedeće:

$$y = A \cdot x^3 + B \cdot x^2 + C \cdot x + D \quad (38)$$

$$tg\theta = 3 \cdot A \cdot x^2 + 2 \cdot B \cdot x + C \quad (39)$$

Uvrštavanjem vrijednosti za točku Q_V^A u prethodne dvije jednadžbe dobiju se vrijednosti za koeficijente C i D:

$$D = 0 \quad (40)$$

$$C = 0 \quad (41)$$

Određivanjem ta dva koeficijenta ostali su za odrediti još koeficijenti A i B. Ovi koeficijenti se mogu odrediti iz sustava jednadžbi:

$$y_V^B = A \cdot (x_V^B)^3 + B \cdot (x_V^B)^2 \quad (42)$$

$$tg\theta_V^B = 3 \cdot A \cdot (x_V^B)^2 + 2 \cdot B \cdot x_V^B \quad (43)$$

Jednadžbe (42) i (43) su dobivene iz jednadžbi (38) i (39) uvrštavanjem vrijednosti točke Q_V^B , koeficijenata C i D te kuta θ_V^B .

2.5.4. Diskretiziranje funkcije u koordinatnom sustavu vozila

Nakon pronalaženja funkcije potrebno je na njoj pronaći točke za interpolaciju. Pošto je za pronalaženje točaka na funkciji potrebno rješavanje integrala, što nije pogodno za programsku implementaciju, ovaj problem će se riješiti uz diskretiziranje funkcije.

Diskretiziranje se vrši po x osi. Ukupna dužina funkcija između dvije točke se podijeli na jednake dijelove kao što je pokazano sljedećom jednadžbom:

$$x_{(i)} = i \cdot \frac{x_V^B}{N}, \quad (44)$$

gdje je i iterator, x_V^B dužina koja se diskretizira, a N je broj na koji će se zadana dužina diskretizirati. Nakon određivanja x komponente točke, pronalazi se i y komponenta na način da se u funkciju uvrsti x, kao što je prikazano u jednadžbi (36).

Uz samo diskretiziranje potrebno je i definirati udaljenosti između tako dobivenih točaka, kao i ukupnu udaljenost pojedine do početne točke. Udaljenost između točaka je definirana na sljedeći način:

$$\Delta s_{(i)} = \begin{cases} 0, & i = 0 \\ d(Q_V^i, Q_V^{i-1}), & 0 < i < N \end{cases} \quad (45)$$

gdje je operator d definiran kao:

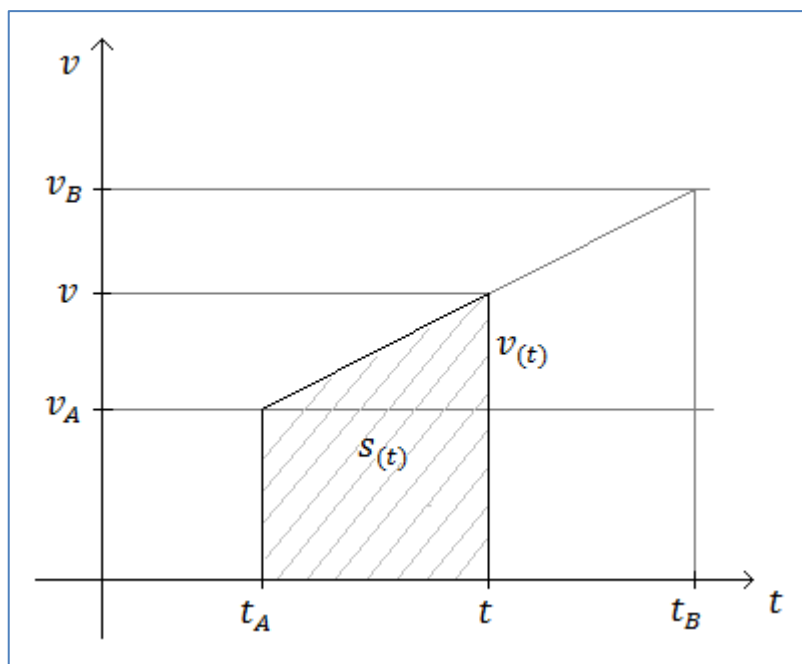
$$d(Q_V^i, Q_V^{i-1}) = \sqrt{(x_V^i - x_V^{i-1})^2 + (y_V^i - y_V^{i-1})^2} \quad (46)$$

Ukupna udaljenost od početne točke je definirana pomoću sljedeće jednadžbe:

$$S_{(i)} = \sum_{j=0}^i \Delta s_{(j)} \quad (47)$$

2.5.5. Određivanje preslikavanja iz t u Q_V^t

Nakon diskretizacije funkcije polinoma trećeg stupnja na N dijelova potrebno je odrediti skup točaka koji će se preslikati u interpolirane točke mjerenja. Određivanje točaka koje će se preslikati je moguće izraziti uz pomoć brzina vozila u točkama mjerenja dobivenih od GPS-a. Iz brzine se uz poznavanje vremena može izraziti prijeđeni put, kao što je prikazano na sljedećoj slici:



Slika 9. Prijedeni put uz zadanu brzinu i vrijeme

Slika 9 prikazuje kako put ($s(t)$) ovisi o brzini ($v(t)$) i vremenu t . Prijedeni put je površina trapeza kojeg zatvaraju početno vrijeme, trenutno vrijeme, početna i trenutna brzina. Kako bi se izračunao put, prethodno je potrebno izračunati brzinu u vremenu t . Ona se može izračunati uz pomoć teorema o sličnosti dvaju trokuta, koji su ovom slučaju trokuti $(t_A, v_A), (t, v_A), (t, v)$ i $(t_A, v_A), (t_B, v_A), (t_B, v_B)$. Jednadžba za sličnost trokuta je dana u nastavku:

$$\frac{v(t)}{v_B - v_A} = \frac{t - t_A}{t_B - t_A} \quad (48)$$

Kada se prethodna jednadžba pomnoži sa $v_B - v_A$ dobije se izraz za brzinu:

$$v(t) = \frac{(v_B - v_A) \cdot (t - t_A)}{t_B - t_A} \quad (49)$$

Izračunom brzine lako se može izračunati prijedeni put kao površinu trapeza sa slike 9:

$$s(t) = v_A \cdot (t - t_A) + \frac{v(t) \cdot (t - t_A)}{2} \quad (50)$$

Kako bi se moglo pronaći kojoj točki diskretizirane funkcije pripada izračunati put, potrebno je usporediti sve ukupne udaljenosti izračunate prema jednadžbi (47) sa izračunatim putem. Tražena točka je ona čiji je put manji od prethodno izračunatog, a put

sljedeće točka je veći od istog. Jednadžba koja opisuje navedeni postupak je dana u nastavku:

$$i_t = \max_i S(i) \leq s(t) \quad (51)$$

Pronalaskom točke čija ukupna udaljenost zadovoljava gornju jednadžbu određuje se interpolirana točka $Q_V^t(x_V^t, y_V^t)$. Pošto je izračunati put veći od puta prethodne diskretizirane točke, a manji od sljedeće, tada se pri određivanju interpolirane točke trebaju uzeti u obzir obje točke. Jednadžbe po kojima se to vrši su sljedeće:

$$x_V^t = \frac{s(t) - S(i_t)}{S(i_{t+1}) - S(i_t)} \cdot x_{(i_t)} + \frac{S(i_{t+1}) + s(t)}{S(i_{t+1}) - S(i_t)} \cdot x_{(i_{t+1})} \quad (52)$$

$$y_V^t = \frac{s(t) - S(i_t)}{S(i_{t+1}) - S(i_t)} \cdot y_{(i_t)} + \frac{S(i_{t+1}) + s(t)}{S(i_{t+1}) - S(i_t)} \cdot y_{(i_{t+1})} \quad (53)$$

Postupak za određivanje interpoliranih točaka se provodi uz različiti t koji se jednoliko povećava.

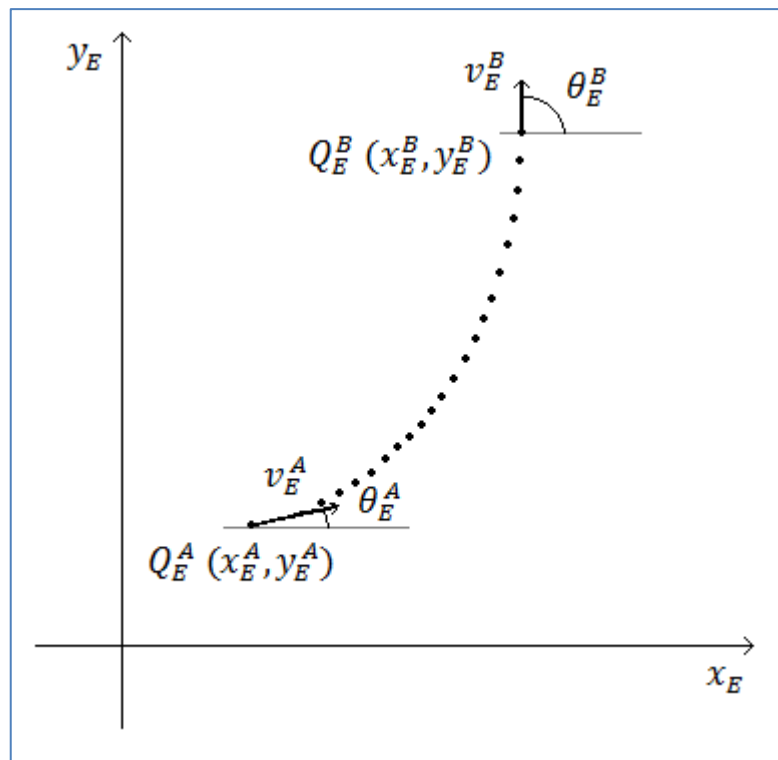
2.5.6. Preslikavanje u koordinatni sustav Zemlje

Nakon što su pronađene sve točke koje će se interpolirati, potrebno je sustav rotirati i translirati za isti iznos za koji je prvobitno transformiran. Na svaku interpoliranu točku se primjenjuju geometrijske transformacije prema sljedećim jednadžbama:

$$x_E^t = x_E^A + x_V^t \cdot \cos\theta_E^A - y_V^t \cdot \sin\theta_E^A \quad (54)$$

$$y_E^t = y_E^A + x_V^t \cdot \sin\theta_E^A + y_V^t \cdot \cos\theta_E^A \quad (55)$$

gdje su x_E^A , y_E^A i θ_E^A vrijednosti definirane sa slike 6, a x_V^t i y_V^t su vrijednosti nastale diskretiziranjem funkcije polinom trećeg stupnja. Nakon obavljenih transformacija, sustav sa slike 6 poprima sljedeći oblik:



Slika 10. Sustav sa slike 6 nakon interpolacije točaka

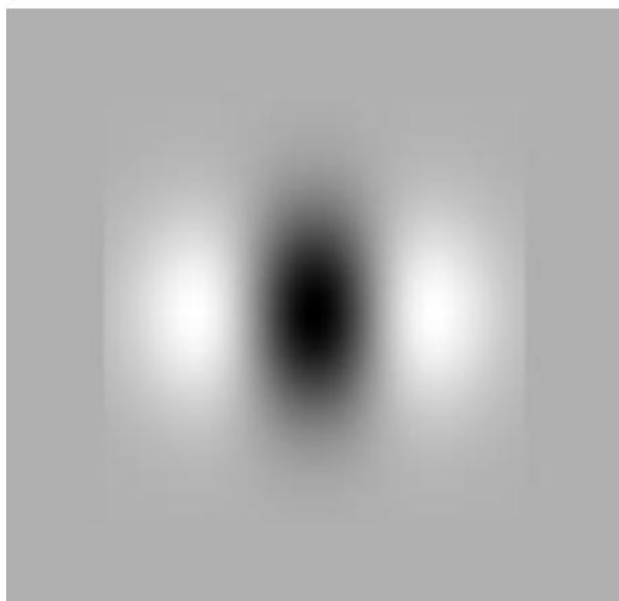
3. Upravljivi filter temeljen na drugoj derivaciji Gaussove funkcije

Za detekciju prometnih zebri i otoka korišten je upravljivi filter temeljen na drugoj derivaciji Gaussove funkcije. Upravljivi filter (engl. steerable filter) služi za detekciju linearnih struktura jednake širine na slici [11]. Njegovo glavno svojstvo jest analitičko određivanje kuta rotacije filtra za koji se postiže najveći odziv. Pošto se za određivanje vrijednosti pojedinog piksela u izlaznoj slici koristi skup piksela u njegovoj okolini, tada se upravljivi filter se svrstava među prostorne operacije [12].

Upravljivi filter se sastoji od nekoliko komponenti. Jedna od njih je komponenta G_{xx} koja se dobije iz druge derivacije Gaussove funkcije po x-u, a definirana je sljedećom jednačinom [11]:

$$G_{xx}(x, y) = \frac{x^2 - \sigma^2}{2 \cdot \pi \cdot \sigma^6} \cdot e^{-\frac{x^2 + y^2}{2 \cdot \sigma^2}}, \quad (56)$$

gdje je x udaljenost po x-osi od središnjeg piksela do piksela za koji se računa odziv filtra, a y ista takva udaljenost po y-osi. Parametar σ se određuje prema strukturi koja se želi detektirati na slici: za šire strukture zadaje se veća vrijednost parametra. Impulsni odziv komponente filtra G_{xx} je prikazan na sljedećoj slici:



Slika 11. Impulsni odziv komponente filtra G_{xx} [11]

No kako bi se mogle detektirati strukture na slici koje nisu vertikalne, potrebno je rotirati ovu komponentu. U tu svrhu se definira komponenta G_{XX}^θ koja se računa prema sljedećoj jednađbi [11]:

$$G_{XX}^\theta = G_{XX} \cdot \cos^2 \theta + G_{YY} \cdot \sin^2 \theta - 2 \cdot G_{XY} \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta \quad (57)$$

Jednađbe komponenti G_{XY} i G_{YY} mogu se izraziti na sličan način kao i jednađba za komponentu filtra G_{XX} , samo što je potrebno za komponentu G_{XY} Gaussovu funkciju derivirati najprije po x-u, zatim po y-u, a za komponentu G_{YY} izraziti drugu derivaciju po y-u. Kut θ se određuje analitički kako bi se dobio maksimalan odziv filtra.

Nakon definiranja komponente filtra G_{XX}^θ slijedi izračun kuta θ za koji će filter dati maksimalni, odnosno minimalni odziv. Izračun tih kuteva počinje derivacijom dvostrukog intervala (interval po x-u i po y-u) konvolucije zarotiranog filtra i slike, kao što je to prikazano sljedećom jednađbom [11]:

$$h_\theta(x_0, y_0) = \int_x \int_y G_{XX}^\theta(x, y) \cdot I(x + x_0, y + y_0) \quad (58)$$

Primjenom Leibnitzovog pravila gornja jednađba postaje [11]:

$$\frac{\partial h_\theta}{\partial \theta}(x_0, y_0) = 2 \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta (A_{YY} - A_{XX}) - 2(\cos^2 \theta - \sin^2 \theta \cdot A_{XY}) \quad (59)$$

U gornjem izrazu parametri A_{XX} , A_{XY} i A_{YY} su konvolucije komponenti filtra G_{XX} , G_{XY} i G_{YY} i slike. Sređivanjem gornjeg izraza i izjednačavanjem desne strane sa nulom dolazi se do sljedećih rješenja [11]:

- ako je A_{XY} jednak nuli, tada kut θ može poprimiti jedno od sljedećih vrijednost: $0, \frac{\pi}{2}$ ili $-\frac{\pi}{2}$
- ako je razlika parametara A_{YY} i A_{XX} jednaka nuli, tada vrijednost kuta θ može biti: $\frac{\pi}{4}, -\frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}$ ili $-\frac{3\pi}{4}$
- ako su A_{XY} i razlika parametara A_{YY} i A_{XX} različiti od nule, tada vrijednost θ je jedna od sljedećih dviju vrijednosti:

$$\theta_1 = \frac{1}{2} \cdot \arctan \frac{2 \cdot A_{xy}}{A_{yy} - A_{xx}} + \frac{\pi}{2} \quad (60)$$

$$\theta_2 = \frac{1}{2} \cdot \arctan \frac{2 \cdot A_{xy}}{A_{yy} - A_{xx}} - \frac{\pi}{2} \quad (61)$$

Ove dvije vrijednosti kuta θ prikazane u prethodnim jednadžbama služe za određivanje maksimalnog, odnosno minimalnog odziva. No da bi se odredilo koja vrijednost kuta odgovara kojem odzivu, potrebno je uvrstiti obje vrijednosti u jednadžbu za izračun komponente filtra G_{xx}^{θ} te usporediti dobivene odzive. Tek njihovom usporedbom se može zaključiti koja vrijednost kuta pripada maksimalnom, a koja minimalnom odzivu. Na ovaj način se određuje odziv filtra $G_{\max}$, pri čemu se svakom pikselu pridruži negativna vrijednost minimalnog odziva zbog prijelaza tamni kolnik, bijela linija, tamni kolnik.

4. Programska implementacija

Diplomski rad je u cijelini napravljen u programskom jeziku C++ unutar programskog okruženja Visual Studio 2008 tvrtke Microsoft. Rad je napravljen unutar cvsh ljske koja je razvijena od strane doc. dr. sc. Siniše Šegvića.

Program kao ulaznu datoteku uzima mjerenja od GPS-a, koja su u tekstualnom formatu, te video prikaz prometnice kojom se vozilo kretalo. Video prikaz prometnice i GPS mjerenja su usklađeni. Kao izlaz program reproducira ulazni video, iscrtava i prikazuje kretanje vozila po kompletnoj prometnici, te iscrtava i prikazuje kontinuirano kretanje vozila sa prikazom prometnice do pet sekundi unaprijed i pet sekundi unatrag. Uz iscrtavanje i prikaz kretanja vozila priložena su i mjerila sa omjerom piksela svake slike (engl. *frame*) i metara u prirodi. Argumenti komandne linije kojom se definiraju parametri ljske su:

```
-a=mapping -i="p n" -sf="C:\video\22_7_2009-14_07_10-IPV#1.wmv"
```

Parametar „-a“ označava da algoritam unutar ljske pokrenuti koji će se pokrenuti će biti upravo ovaj opisan u ovom radu, „-i“ određuje naredbu koja će se izvršiti pri pokretanju programa (u ovom slučaju to je poziv metode `process`) te „-sf“ označava putanju na računalu do ulazne datoteke (engl. *source file*) koja je, kao što je to već ranije spomenuto, video prikaz prometnice.

4.1. Ekstrakcija podataka iz datoteke sa GPS mjerenjima

Mjerenja GPS-a potrebno je iz ulazne datoteke učitati u memoriju kako bi se mogla koristiti u programu. U tu svrhu kreirana je struktura `GPS` koja je definirana na sljedeći način:

```
struct GPS {  
    GPS (int s=0): seconds(s) {}  
    int seconds;  
    double width;  
    double height;  
    double speed;  
    double bearing;  
};
```

Pošto postoji više mjerenja, potrebno je definirati i vektor koji će sadržavati niz struktura. U tu svrhu definiran je vektor `GPSmeasures` u kojeg će biti učitana sva mjerenja koja je GPS zapisao u datoteku.

Podaci u datoteci su organizirani na način da svaki redak datoteke predstavlja jedno mjerenje, kao što je to prikazano na slici 2. Podaci se učitavaju u memoriju na način da program čita redak po redak iz datoteke. Pošto su sve vrijednosti jednog retka (mjerenja) odvojene zarezima, korištena je funkcija `strtok` (engl. *string token*) iz biblioteke `string.h` koja za zadani niz znakova i zadani separator vraća pokazivač na sljedeću oznaku niza znakova u zadanom nizu. Tako izdvojeni nizovi znakova koji predstavljaju različite vrijednosti potrebno je pretvoriti u brojeve s decimalnom točkom. Za to je zadužena funkcija `strtod` (također iz biblioteke `string.h`) koja zadani niz znakova pretvara u decimalni broj.

No prije nego što se pretvorene vrijednosti sprema kao struktura u vektor, potrebno ih je pretvoriti kako bi bile pogodnije za daljnju obradu. Pozicije vozila po geografskoj širini i dužini su izražene u stupnjevima, i to u formatu `ddmm.mmmm` („d“ predstavlja stupnjeve, a „m“ minute). Da bi se te vrijednosti mogle koristiti u proračunima sa brzinom, potrebno ih je prethodno pretvoriti u metre. Pretvaranje se vrši umnoškom izmjerenih vrijednosti sa konstantama koje su dobivene eksperimentalno. Izraz za geografsku širinu glasi:

$$h_m = h_s \cdot 1800, \quad (62)$$

dok je izraz za geografsku dužinu sljedeći:

$$w_m = w_s \cdot 1300 \quad (63)$$

U prethodne dvije jednadžbe vrijednosti h_m i w_m predstavljaju tražene vrijednosti geografske širine i dužine u metrima, dok su h_s i w_s izmjerene vrijednosti u stupnjevima. Razlog zašto se izmjerene vrijednosti u stupnjevima ne množe s jednakim konstantama je zbog sfernog oblika Zemlje. Meridijani su na ekvatoru najviše udaljeni (mjereno u metrima), no kako se udaljavamo od ekvatora, tako njihova međusobna udaljenost postaje sve manja. Zbog toga ovisno o poziciji na Zemljinoj kugli potrebno je pronaći odgovarajuću konstantu za pretvorbu udaljenosti u metre.

Pošto je brzina dobivena od GPS-a izražena u čvorovima, potrebno je pretvoriti je u metre po sekundi množenjem sa konstantom kako bi bila kompatibilna s ostalim vrijednostima u proračunima. Brzina se pretvara po sljedećoj formuli:

$$v = v_{\text{č}} \cdot 0.514444444, \quad (64)$$

gdje je v brzina izražena u metrima po sekundi, a $v_{\text{č}}$ brzina izražena u čvorovima.

Kut koji na svom izlazu daje GPS je izražen u stupnjevima. Pošto sve trigonometrijske funkcije u programu kao zadani parametar traže kut u radijanima, tada je i ovdje potrebno napraviti konverziju. U tu svrhu je napravljena funkcija `toRad` koja za zadanu vrijednost u stupnjevima pretvara u radijane. Ta se pretvorba vrši prema sljedećoj formuli:

$$\theta_{\text{rad}} = \frac{\theta_{\text{deg}} \cdot \pi}{180}, \quad (65)$$

gdje je θ_{rad} tražena vrijednost kuta u radijanima, a θ_{deg} (engl. *degree* - stupanj) zadana vrijednost kuta u stupnjevima.

4.2. Iscrtavanje globalne slike prometnice

Uz prikupljanje podataka iz datoteke i učitavanja u memoriju, posebno su se spremala četiri podatka. To su najveće i najmanje vrijednosti geografskih širina i dužina. Ovi podaci su bitni kako bi se moglo napraviti preslikavanje svake pozicije vozila u piksel globalne slike prometnice.

Pri računanju omjera koji će poslužiti pri iscrtavanju prometnice potrebno je uzeti u obzir odnos između Δw i Δh , gdje su Δw i Δh definirani na sljedeći način:

$$\Delta w = w_{\text{max}} - w_{\text{min}} \quad (66)$$

$$\Delta h = h_{\text{max}} - h_{\text{min}} \quad (67)$$

Vrijednosti w_{max} i h_{max} predstavljaju najveću izmjerenu geografsku širinu, odnosno visinu, dok w_{min} i h_{min} predstavljaju najmanju širinu, tj. visinu. Računanje omjera je prikazano sljedećom jednačinom:

$$f_G = \begin{cases} \frac{h_I}{h_{max} - h_{min}}, & \text{ako je } \Delta h > \Delta w \\ \frac{w_I}{w_{max} - w_{min}}, & \text{inače} \end{cases} \quad (68)$$

U prethodnoj jednadžbi vrijednost f_G je traženi omjer globalne slike, a vrijednosti h_i i w_i su visina, odnosno širina slike (mjerene u pikselima). U programskoj implementaciji te dvije vrijednosti su bile jednake i iznosile su 600 piksela. Ova jednadžba ukazuje na to da će ovisno o prijašnjem putu vozila krivulja prometnice biti rastegnuta po visini ili širini slike.

Određivanjem omjera kreće se u iscrtavanje globalne slike prometnice. Pošto je slika u memoriji organizirana kako jednodimenzionalno polje, tada je potrebno za svaku točku izračunati piksel na kojem se želi označiti dio prometnice. Željeni piksel se određuje na sljedeći način:

$$p = w_I \cdot \text{round}((h - h_{min}) \cdot f_G) + \text{round}((w - w_{min}) \cdot f_G), \quad (69)$$

gdje je p traženi piksel, h i w su vrijednosti mjerenja GPS-a koje se žele preslikati. Funkcija *round* dobiva decimalnu vrijednost, a vraća vrijednost zaokruženu na najbliži cijeli broj. Ona je potrebna kako bi umnožak odmaka visine i širine od njihovih najmanjih izmjerenih vrijednosti s omjerom f_G bio cijelobrojna vrijednost jer mjesto u slici (jednodimenzionalnom polju) ne može biti decimalni broj.

Pošto je prazna slika crne boje, tada je prometnicu potrebno označiti bijelom bojom. Da bi se to postiglo, potrebno je na prethodno izračunatom mjestu u jednodimenzionalnom polju promijeniti vrijednost u 255, što predstavlja bijelu boju.

4.3. Interpolacija točaka

Interpolacija točaka se vrši kao što je to opisano u poglavlju 2.5. No, prije nego što se krene sa geometrijskim transformacijama potrebno je prilagoditi kuteve Kartezijevom koordinatnom sustavu. Kao što je rečeno ranije, smjer vozila koji pruža GPS je azimut, što znači da GPS mjeri odklon smjera vozila od geografskog sjevera u smjeru kazaljke na satu. Zbog toga je potrebno obaviti transformaciju kuta koja se vrši po sljedećoj formuli:

$$\theta = -\theta_A + \frac{\pi}{2}, \quad (70)$$

gdje je θ traženi kut u Kartezijevom koordinatnom sustavu, a θ_A azimut.

Transformacijom sustava u koordinatni sustav vozila, potrebno je riješiti dvije jednačbe s dvije nepoznanice, koje su opisane u jednačbama (42) i (43). U tu svrhu napravljena je funkcija `solveEquation`, koja kao ulazne parametre prima $(x_V^B)^3$, $(x_V^B)^2$, $3 \cdot (x_V^B)^2$, $2 \cdot x_V^B$, y_V^B i $tg\theta_V^B$, a vraća tražene koeficijente A i B. Funkcija ulazne vrijednosti na početku posloži u matricu dimenzija 2x3. Ta matrica poprima sljedeći oblik:

$$M = \begin{bmatrix} (x_V^B)^3 & (x_V^B)^2 & y_V^B \\ 3 \cdot (x_V^B)^2 & 2 \cdot x_V^B & tg\theta_V^B \end{bmatrix} \quad (71)$$

Zatim se sustav jednačbi rješava po principu Gaussove eliminacije, tako da se na kraju u matrici M nalaze sljedeće vrijednosti:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & A \\ 0 & 1 & B \end{bmatrix} \quad (72)$$

Tražene vrijednosti koeficijenata A i B se na kraju vraćaju iz funkcije uz pomoć referenci.

Novo nastale interpolirane točke dosta ovise i o broju dijelova na koje je funkcija diskretizirana. Taj broj je u jednačbi (44) prikazan kao broj N. Što je on veći, to će funkcija biti više diskretizirana, pa će samim time preciznost interpoliranih točaka biti veća. No povećanjem tog broja usporava se izvršavanje programa. Iz dobivenih rezultata se može vidjeti kako je vrijednost 1000 za broj N sasvim dovoljna za zadovoljavajuće rezultate, pri čemu je izvođenje programa u razumnom vremenu.

Pošto se ulazni video sastoji od 25 slika po sekundi, to znači da je između dva mjerenja potrebno interpolirati 24 točaka. Ukoliko se uzme u obzir da je svako GPS mjerenje predstavlja prvu interpoliranu točku, tada se kroz algoritam za interpolaciju dobije 25 točaka. Dakle, ukoliko se želi interpolirati 25 točaka, a vremenski period između dva mjerenja GPS-a je jedna sekunda, tada se vremenski period mora podijeliti na 25 dijelova. Vrijednost t će u tom slučaju iznositi 0.04 sekunde. Poznavajući tu vrijednost lako je pronaći tražene točke; računa se prijedni put za svake 0.04 sekunde, pod pretpostavkom da se vozilo između dva mjerenja kretalo jednolikom brzinom.

Provedbom interpolacije točaka između dva mjerenja GPS-a dobile su se pozicije novih točaka, no ne i smjer vozila u njima. Jedan od načina kako pronaći smjer jest derivacija funkcije polinoma trećeg stupnja, izvedene u jednadžbi (38), u interpoliranoj točki. Iznos derivacije te funkcije u zadanoj točki predstavlja tangens funkciju kuta kojeg tangenta funkcije te točke zatvara sa osi apscisa. Jednadžba koja opisuje navedenu relaciju opisana je u izrazu (39). Da bi se dobio kut potrebno je izračunati inverznu funkciju tangensa nad dobivenom vrijednošću te pribrojiti vrijednost kuta za koju se rotirao sustav.

Novo izračunate interpolirane točke i smjerove vozile (dobivene iz derivacije funkcije polinoma trećeg stupnja) u njima je potrebno spremati u memoriju, kako bi bili kasnije dostupni tokom izvođenja programa. U tu svrhu napravljena je sljedeća struktura:

```
struct Points {
    int seconds;
    double koordinates[2][25];
    double bearing[25];
};
```

Slično kao i za mjerenja GPS-a, kreiran je vektor u koji će se spremati novo izračunate točke i smjerovi, koji se naziva `AllPoints`.

4.4. Iscrtavanje lokalne slike

Prethodni postupci su definirani unutar konstruktora razreda jer je njihovo izvođenje bilo potrebno samo jednom. Za razliku od globalne slike koja je statička, lokalna slika je dinamička, što znači da se mijenja svaki put kada se promijeni slika ulaznog videa. Da bi se to postiglo, potrebno je za svaku sliku videa računati omjer f_L koji će se koristiti pri iscrtavanju lokalne slike. Omjer se računa na isti način kao što je to opisano u jednadžbi (68), samo što se vrijednosti h_{max} i h_{min} pronalaze unutar vremenskog intervala od deset sekundi, pri čemu je pozicija vozila na sredini tog intervala. Na sličan način pronalaze se i vrijednosti za geografsku dužinu. Izuzetak ovom pronalaženju spomenutih vrijednosti jest kada se prikazuje prometnica za prvih pet, odnosno posljednjih pet, sekundi videa. To su rubni slučajevi u kojima navedene vrijednosti ostaju jednake.

Iscrtavanje lokalne slike se vrši na sličan način kao iscrtavanje globalne slike: računaju se mjesta na slici (pikseli) za svaku točku koja je prethodno izračunata i pohranjena u vektoru `AllPoints`. Na izračunatom mjestu u slici se promijeni vrijednost u 255 (bijela boja). Prilikom iscrtavanja lokalne slike uzimaju se u obzir margine i centriranje linije prometnice. Margina se koristi kako bi se lakše moglo pratiti prometnicu u slučajevima kada je iscratana uz sam rub prozora za prikaz, dok je centriranje linije korišteno kako bi prometnica bila prikazana na sredini prozora. Dodavanjem ovih dviju komponenti izračun piksela na kojem će se prikazati točka je sljedeći:

$$p = Y_L + X_L, \quad (73)$$

gdje su Y_L i X_L komponente u koordinatnom sustavu koje se računaju na sljedeći način:

$$Y_L = w_I \cdot (\text{round}((h - h_{min}) \cdot f_L) + o_h + d_M) \quad (74)$$

$$X_L = \text{round}((w - w_{min}) \cdot f_L) + o_w + d_M \quad (75)$$

U prethodnim jednadžbama vrijednosti o_h i o_w su odmaci po vertikalnoj, odnosno horizontalnoj osi radi centriranja prometnice, dok je vrijednost d_M odmak zbog margine. Odmaci se računaju prema sljedećim formulama:

$$o_h = \begin{cases} h_I - \frac{\text{round}((h_{max} - h_{min}) \cdot f_L)}{2}, & \text{ako je } \Delta w > \Delta h \\ 0, & \text{inače} \end{cases} \quad (76)$$

$$o_w = \begin{cases} w_I - \frac{\text{round}((w_{max} - w_{min}) \cdot f_L)}{2}, & \text{ako je } \Delta h > \Delta w \\ 0, & \text{inače} \end{cases} \quad (77)$$

4.5. Prikaz smjera vozila i mjerila

Kako bi se na iscrtanoj globalnoj i lokalnoj slici mogla pratiti pozicija vozila, ona je na slici označena uz pomoć anotacije kao crveni kvadrat. No uz tu oznaku dosta je bitan i smjer samo vozila, koji označen kao crvena linija koja pokazuje u kojem je smjeru vozilo okrenuto. Kvadrat je kreiran na način da se strukturi `win_ann_util` poziva metoda `addRectangle` kojoj se predaje instanca anotacije, donja lijeva i gornja desna točka

kvadrata, boja kvadrata i debljina linije. Linija je pak kreirana na način da su metodi anotacije `addLine` predane početna i krajnja točka, boja linije, izgled i debljina.

Prikaz mjerila je također napravljen uz pomoć anotacije. Za to je korištena metoda razreda koja se naziva `addStr` kojoj se predaje donja lijeva točka pravokutnika unutar kojeg će biti niz znakova, boja ispisa, niz znakova koji se želi prikazati te veličina ispisa. Format mjerila je sljedeći:

$$1 \text{ px} = X \text{ m}$$

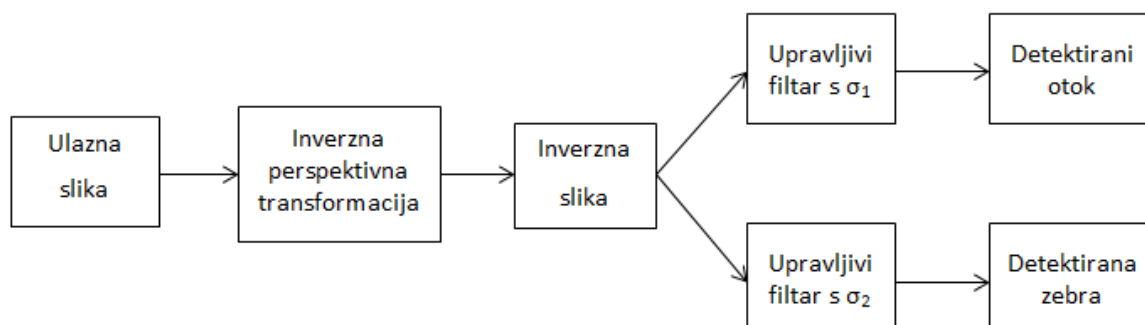
gdje je X vrijednost koju je potrebno izračunati. Kod globalne slike, ova vrijednost je fiksna te se računa samo jednom. Kod lokalne slike ona se mijenja i ovisi o brzini vozila; ako se vozila giba većom brzinom veća je vrijednost X , u suprotnom je manja. Formula po kojoj se ona računa je sljedeća:

$$X = \frac{1}{f'} \quad (78)$$

gdje je X tražena vrijednost, a f omjer za prikaz prometnice iz zadane geografske dužine i širine pojedine točke.

4.6. Detekcija prometnih zebri i otoka

Detekcija prometnih zebri i otoka uz pomoć upravljivih filtara se vršila s različitim vrijednostima parametra σ . Dijagram toka detekcije je prikazan na sljedećoj slici:



Slika 12. Dijagram toka detekcije prometnih zebri i otoka

Kao što se može vidjeti iz prethodne slike, u programu se koriste dvije komponente upravljivog filtra s različitim vrijednostima parametra σ . Razlog tome je različita debljina

struktura na prometnici koja se detektira. Pošto je debljina svakog elementa zebre deblja od svake linije prometnog otoka, tada bilo potrebno odvojiti te dvije detekcije, odnosno koristile su se dvije instance razreda `ext_steer`.

Prilikom detekcije zebri za parametar σ koristila se vrijednost 10, koja je pronađena eksperimentalno. Kod odziva filtra sa zadanim parametrom izostali su svi elementi horizontalne prometne signalizacije čija je širina manja od širine zebre. Odzivi nekih elemenata, poput linija zaustavljanja ispred zebre ili nekih pokazatelja smjera na kolniku, su ipak prikazani. Kako se ti elementi ne bi tumačili kao zebra, korišteno je još jedno svojstvo zebre, a to je da je smjer njezinih linija uvijek u smjeru pružanja prometnice. Zatim je odziv filtra podijeljen u pet jednakih dijelova. Na granici tih dijelova postavljene su kontrolne linije koje traže promjenu vrijednosti susjednih piksela iz crne u bijelu uzduž slike. Ukoliko je pronađeno više od četiri (određeno eksperimentalno) tih vrijednosti, tada se smatra da je detektirana struktura na tom mjestu upravo zebra.

Detekcija prometnih otoka je nešto složenija od detekcije zebri, zato jer nije poznato gdje se otoci na slici mogu očekivati. Za njihovu detekciju korištena vrijednost parametra σ također je određena eksperimentalno i ima vrijednost 8. Prometni otok ima različite dvije vrste linija koje su različitih širina: linije koje tvore granicu otoka i paralelne linije koje su unutar otoka. Linije koje se nalaze unutar otoka su šire od onih koje tvore granicu, pa u nekim slučajevima nema odziva filtra za granične linije. No kako bi detekcija otoka bila što bolja, kreirano je akumulatorsko polje kuteva u kojem se bilježi broj kuteva maksimalnog odziva. Za svaki piksel koji je dio odziva komponente filtra $G_{\max}$ (na izlazu filtra je bijele boje) povećana je vrijednost u akumulatorskom polju na mjestu koje odgovara vrijednosti piksela istih koordinata u odzivu komponente filtra G_{XX}^0 . Na ovom mjestu dolazi do izražaja svojstvo prometnih otoka da je smjer unutarnjih linija otoka rastući, s lijeve strane prema desnoj. Koristeći to svojstvo, pronađene su granice na eksperimentalan način koje određuju da li je struktura na slici otok ili ne. Ukoliko je odziv najvećeg broja piksela očitao iz akumulatora između 0.43 i 1.14 radijana, tada je pronađen otok. U tom slučaju, traži se udaljenost pravca zadanog pikselom, koji je dio odziva komponente filtra $G_{\max}$, i smjerom koji je dobiven iz akumulatorskog polja od donjeg lijevog kuta slike (ishodišta koordinatnog sustava slike). Te udaljenosti se spremaju

u drugo akumulatorsko polje, u kojem nastaju brijegovi za svaku liniju unutar otoka. Dobiveni brijegovi omogućuju grupiranje piksela svake linije otoka, kao i prikaz na ekran.

4.7. Problemi i moguća poboljšanja

Korištenje mjerenja samo od GPS-a daje zadovoljavajuće rezultate, no kako bi oni bili još bolji potrebno je upotrijebiti mjerenja koja daje još jedan uređaj – žiroskop. Iako su jednadžbe već bile postavljene (jednadžbe Kalmanovog filtra) ispostavilo se da žiroskop, koji je bio postavljen unutar vozila, davao netočna mjerenja. To je bio razlog zašto se odustalo od njegovih mjerenja, a samim time i od Kalmanovog filtra. Jedno od mogućih poboljšanja leži upravo u tome: korištenju mjerenja ispravnog žiroskopa kako bi se moglo preciznije odrediti položaj, smjer i kretanje vozila.

Drugi problem koji se pojavio prilikom izrade ovog rada jest pretvorba udaljenost dviju točaka čija je pozicija definirana u stupnjevima geografske dužine, odnosno širine. Kako bi se interpolirale točke između dva mjerenja GPS-a potrebno je udaljenost pretvoriti u metre. Problem je bio taj što udaljenost između neke dvije točke, koje imaju konstantnu vrijednost geografske dužine, mjerena u metrima na nekoj paraleli nije ista na nekoj drugoj paraleli. Zato je bilo potrebno pronaći vrijednosti koje će odgovarati za mjerenja dobivena od GPS-a. Pronađene vrijednosti su dobivene eksperimentalnim putem, te u njihovom određivanju leži jedno od mogućih poboljšanja.

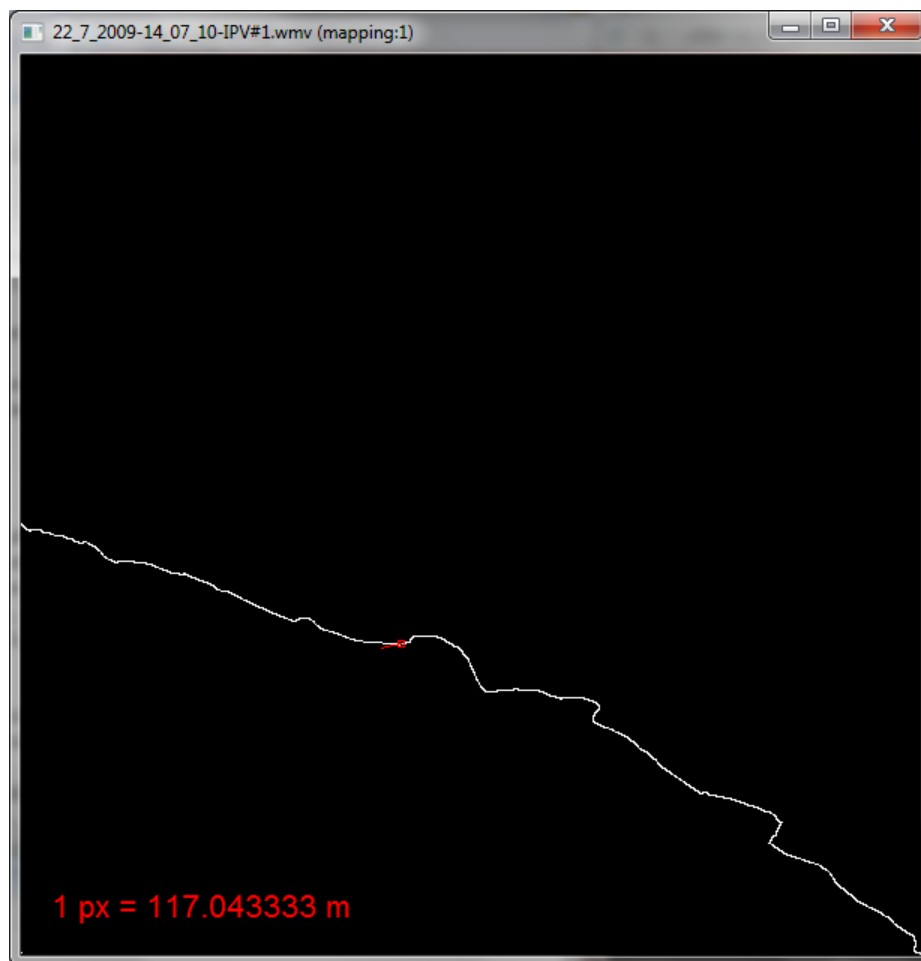
Detekcija prometnih zebri pruža jako dobre rezultate, dok detekcija otoka pruža zadovoljavajuće. Kao što je spomenuto u prethodnom potpoglavlju, u odzivu upravljivog filtra, kod detekcije otoka, na nekim mjestima se pojavljuju druge strukture na prometnici, među kojima su granične linije otoka, ali i centralne linije. U tim slučajevima veći broj kuteva maksimalnog odziva se javlja za te vertikalne linije, nego za unutarnje linije otoka, što rezultira propustom detekcije. Ovaj slučaj se pogotovo javlja na mjestima na kojima je otok tanak (na mjestima gdje počinje) jer je broj piksela čiji je kut maksimalnog odziva u smjer unutarnjih linija otoka manji. Drugi problem koji se javlja kod detekcije prometnih otoka jest pogrešna detekcija koja se javlja kod desnog zavoja. Razlog tome je što je kut maksimalnog odziva unutar granica definiranih u prošlom potpoglavlju.

5. Opis rezultata

5.1. Kartiranje prometnice

Rezultati programske implementacije su prikazani unutar dva zasebna prozora čiji se sadržaj dinamički mijenja. Paralelno s njima prikazan je i treći prozor na je pokrenut ulazni video. Sadržaj u sva tri prozora je sinkroniziran, odnosno u istom vremenskom periodu mijenja se sadržaj u njima.

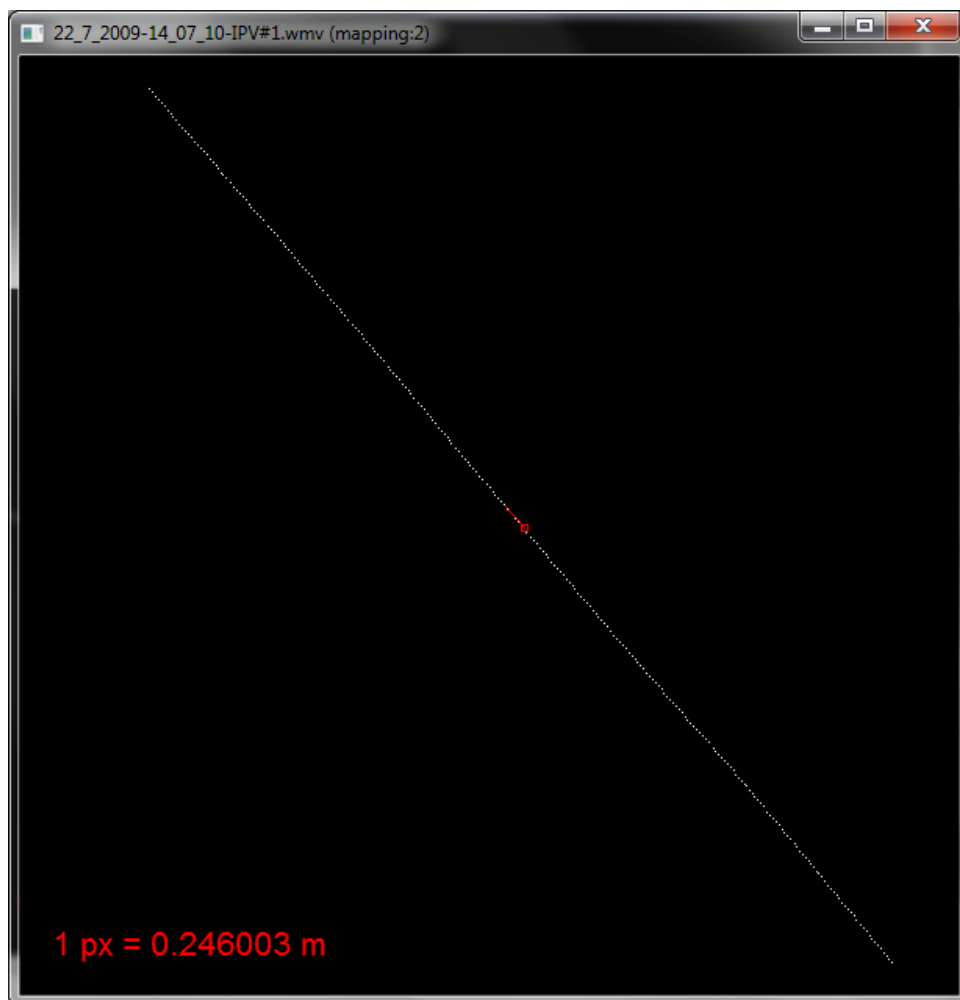
Kao što je već rečeno ranije, u prvom prozoru nalazi se pokrenut ulazni vide, dok su u druga dva prikazani globalna, odnosno lokalna slika. Na globalnoj slici se nalazi prikaz prometnice kojom se vozilo kretalo, kao i oznaka vozila u nekom trenutku sa svojim smjerom. Prikaz prometnice je statički, a jedina komponenta koja se mijenja i ovisna je u o vremenu jest pozicija vozila na prometnici, a samim time i smjer vozila. Prikaz prozora s globalnom slikom u nekom trenutku je prikazan u nastavku:



Slika 13. Prikaz globalne slike

Na slici 13 prikazana je globalna slika prometnice s prikazom pozicije vozila i njegovim smjerom. Prometnica je prikazana u skladu sa stranama svijeta, na način da je na slici gornja strana sjever, donja jug, lijeva zapad i desna istok. Ukupna zračna udaljenost u stvarnosti između donje desne točke (početna točka) i krajnje lijeve točke (krajnja točka) je otprilike 77.6 kilometara, dok trajanje puta iznosi jedan sat, 28 minuta i 17 sekundi.

Za razliku od globalne slike prometnice, kod lokalne slike se mijenjaju svi elementi prikazani na slici. To uključuje promijene izgleda prometnice, ali i iznosa samog mjerila. Izgled prometnice nije kontinuiran kao kod globalne slike, već su prikazane točke u kojima se vozilo nalazi za svaki diskretizirani trenutak, sukladno s promjenama slike na ulaznom videu. Prikaz jedne lokalne slike prometnice je dan u nastavku:

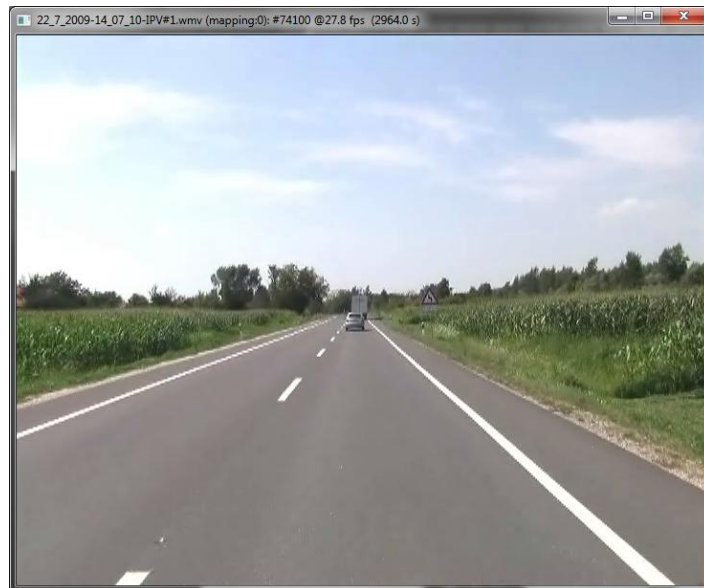


Slika 14. Prikaz lokalne slike

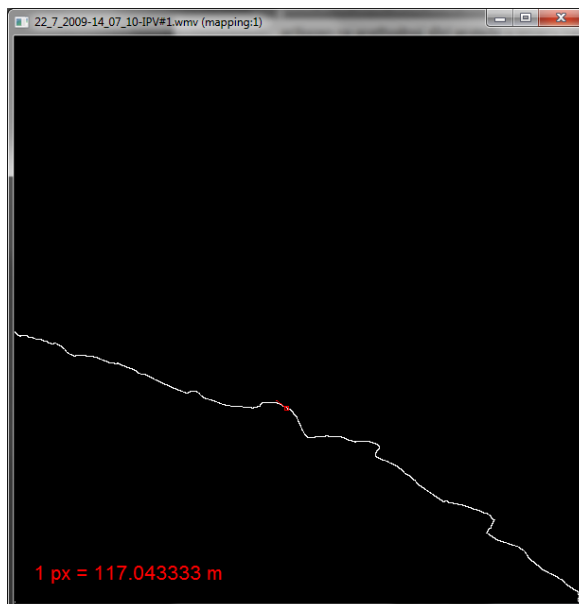
Slika 14 prikazuje lokalnu sliku prometnice i vozila na njoj. Pošto je prometnica na slici ravna, tada se može vidjeti kako se smjer vozila poklapa sa smjerom pružanja prometnice. Isto kao i kod prikaza globalne prometnice s prethodne slike, kod lokalne slike se jednako

tako strane svijeta poklapaju sa stranama na slici. To bi značilo da se dio prometnice prikazan na prethodnoj slici proteže u smjeru jugoistok – sjeverozapad.

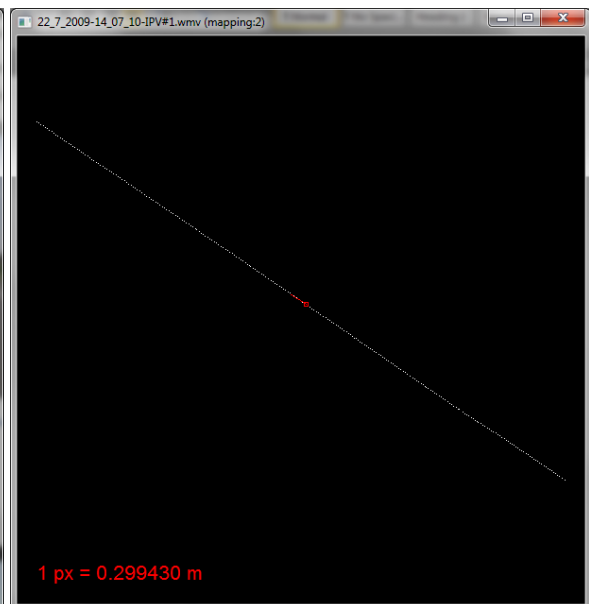
U nastavku bit će prikazano nekoliko dobivenih rezultata. Svaki rezultat se sastoji od prikazanog ulaznog videa, globalne i lokalne slike za pojedini vremenski trenutak.



Slika 15 a) Ulazna slika prve skupine rezultata



Slika 15 b) Globalna slika prve skupine rezultata



Slika 15 c) Lokalna slika prve skupine rezultata

Na slikama 15 prikazan je skup rezultata za ravni dio prometnice.



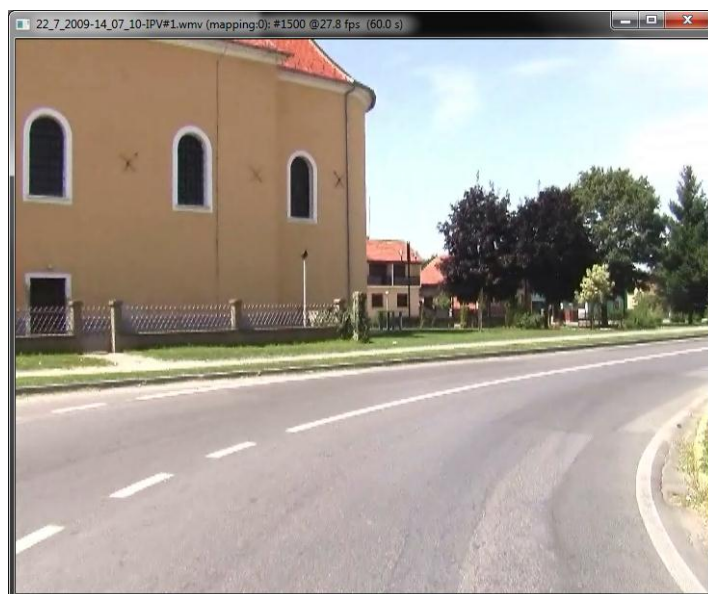
Slika 16 a) Ulazna slika druge skupine rezultata



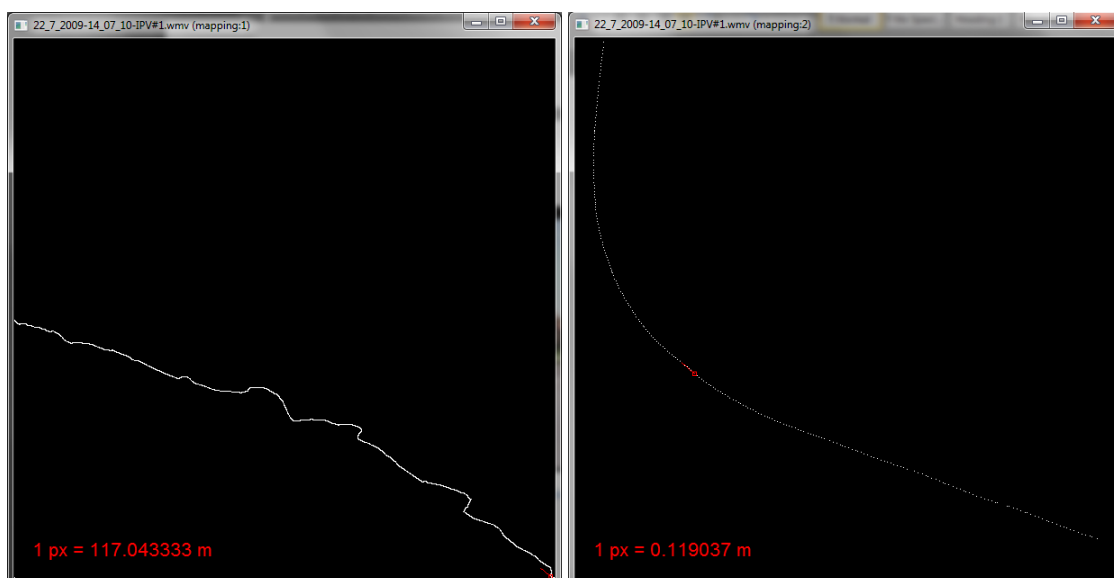
Slika 16 b) Globalna slika duge skupine rezultata

Slika 16 c) Lokalna slika druge skupine rezultata

Na slikama 16 se može vidjeti prikaz rezultata kada se vozilo nalazi u blagom zavoju.



Slika 17 a) Ulazna slike treće skupine rezultata



Slika 17 b) Globalna slika treće skupine rezultata

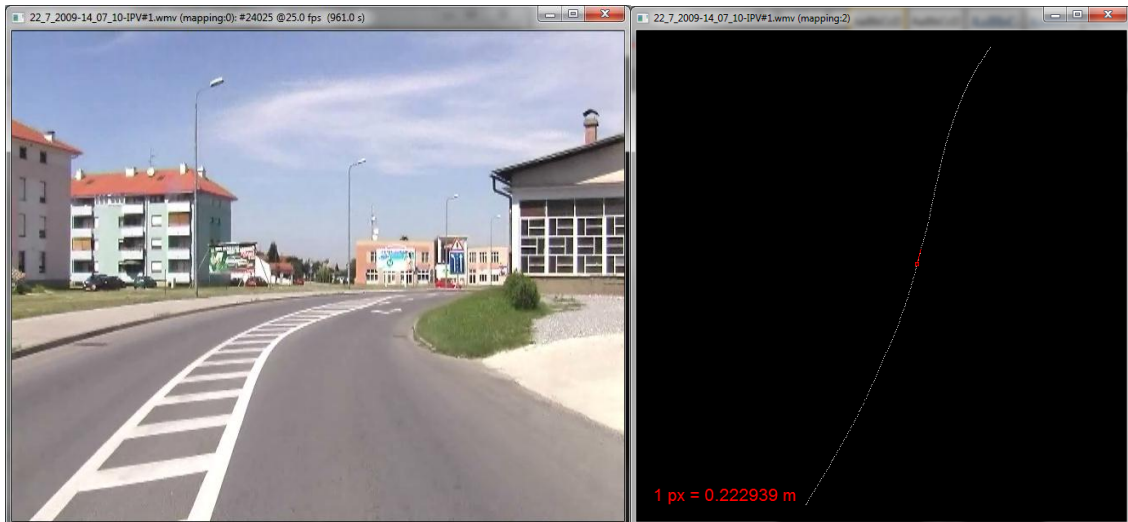
Slika 17 c) Lokalna slika treće skupine rezultata

Na slikama 17 prikazani su rezultati u trenutku kada se vozilo nalazi u oštrom zavoju. Na dobivenim rezultatima za tri različita dijela prometnice može se primjetiti kako je mjerilo lokalne slike na ravnoj cesti veće, a mjerilo lokalne slike u oštrom zavoju manje od mjerila lokalne slike u kojoj je prikazano vozilo u blagom zavoju. To je sukladno brzini vozila na prikazanim dijelovima prometnice (na ravnom dijelu vozila ima najveću brzinu).

Nastavak na ovaj rad jest šivanje slike videa u mozaik prometnice. Da bi se to ostvarilo, potrebno je prethodno pretvoriti svaku sliku ulaznog videa pomoću inverzne perspektivne transformacije. Pretvorenu sliku potrebno je rotirati za kut koji je jednak

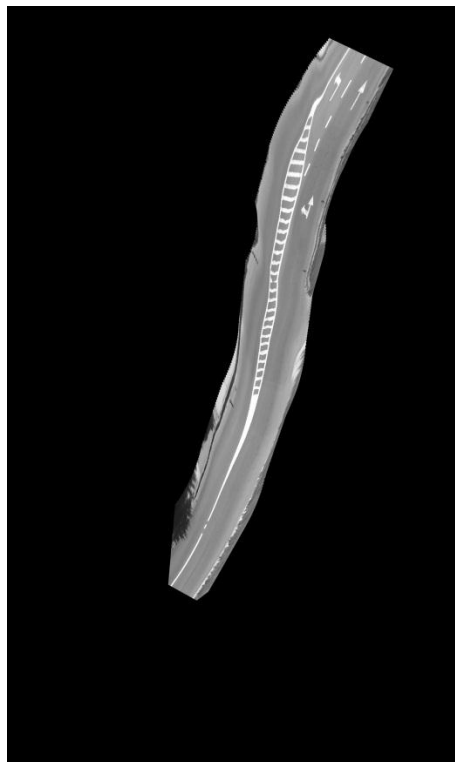
smjeru vozila u toj točki. Na taj način će se dobiti slika koji će predstavljati cijelu pređenu prometnicu iz ptičje perspektive (mozaik). Iz mozaika je tada moguće vidjeti kakvo je stanje prometnice, i u kojem je stanju horizontalna prometna signalizacija.

Ovaj problem je razmatrao g. Ivan Sikirić u svom doktorskom radu. On je na temelju mjerenja dobivenih u ovom radu napravio takve mozaike. Primjer jednog takvog je dan u nastavku:



Slika 18 a) Prikaz prometnice iz vozačeve perspektive

Slika 18 b) Iscrtana lokalna slika

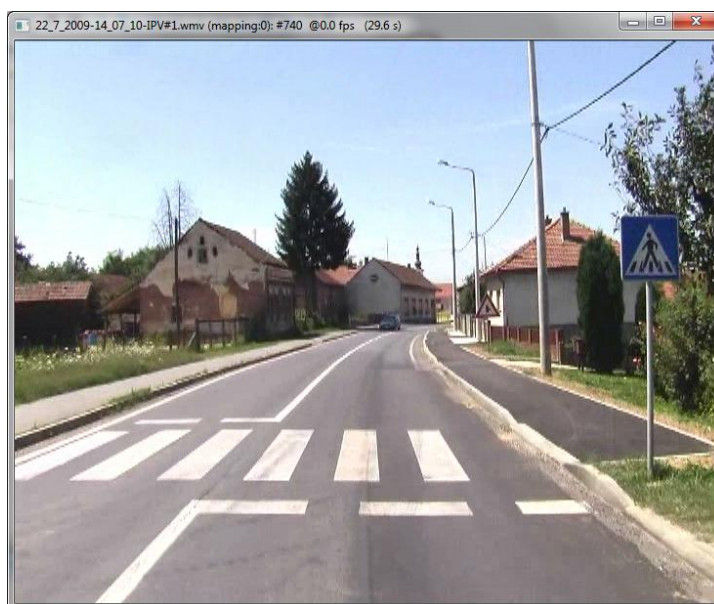


Slika 18 c) Dobiveni mozaik

5.2. Detekcija prometnih zebri i otoka

Izvođenje algoritma za detekcije prometnih zebri i otoka je značajno duže od algoritma kartiranja prometnica. Procesiranje jedne slike videa traje oko 11 do 12 sekundi, što ovaj algoritam čini neprikladnim za pokretanje u stvarnom vremenu.

U nastavku su prikazani rezultati detekcije. Kod detekcije zebre, mjesta na kojima je uspješno detektirana zebra su označena crvenim horizontalnim linijama. Kao što je opisano u prethodnom poglavlju, ta su mjesta postavljena na svakoj petini visine slike. Prikaz uspješne detekcije zebre je prikazano na sljedećem skupu slika:



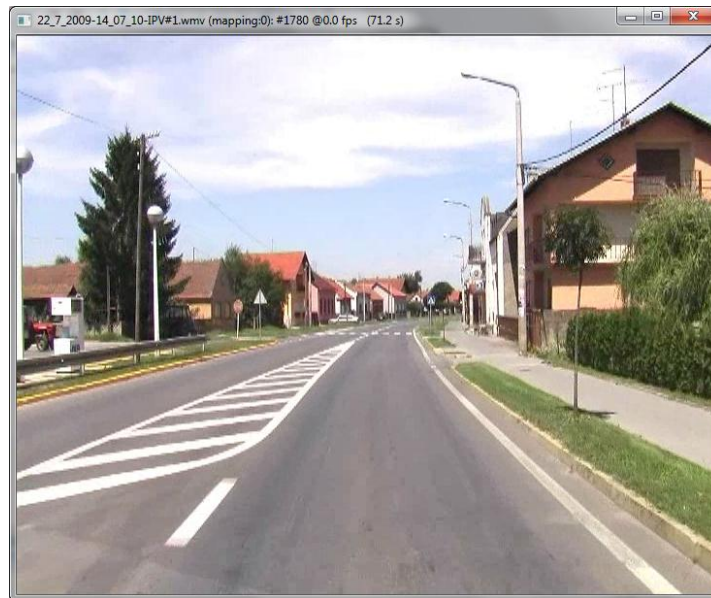
Slika 19 a) Ulazna slika



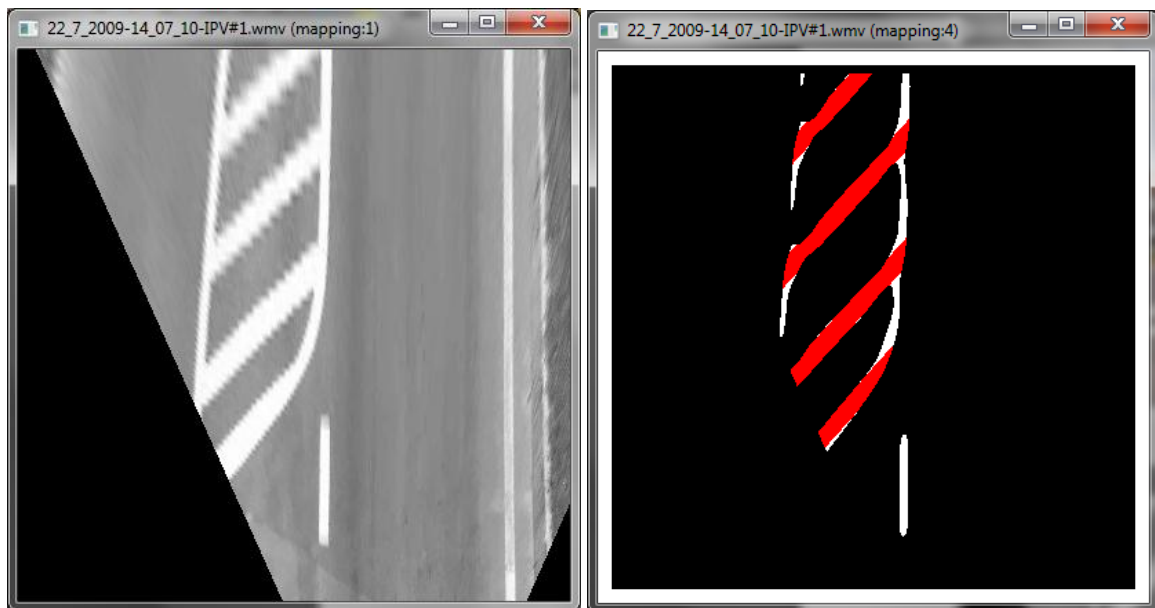
Slika 16 Transformirana slika

Slika 1719 c) Uspješno detektirana prometna zebra

Rezultati detekcije prometnih otoka bit će prikazani u tri skupine: primjer uspješne detekcije, primjer propuštene detekcije i primjer pogrešne detekcije. Najprije će biti prikazan primjer uspješne detekcije:



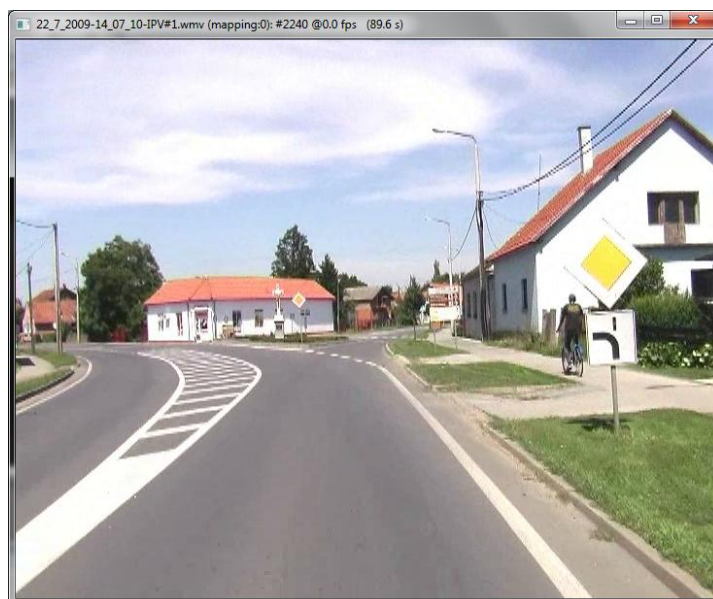
Slika 18 a) Ulazna slika



Slika 20 b) Transformirana slika

Slika 20 c) Uspješno detektiran i označen otok

Zatim slijedi primjer propuštene detekcije:



Slika 21 a) Ulazna slika

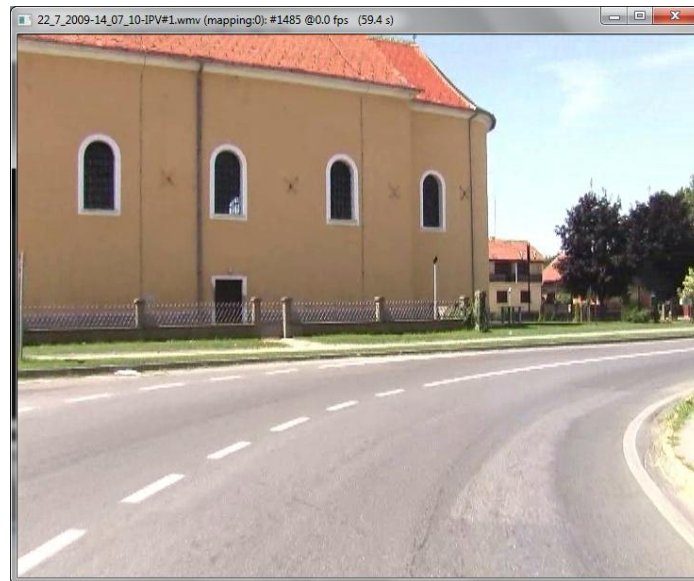


Slika 21 b) Transformirana slika

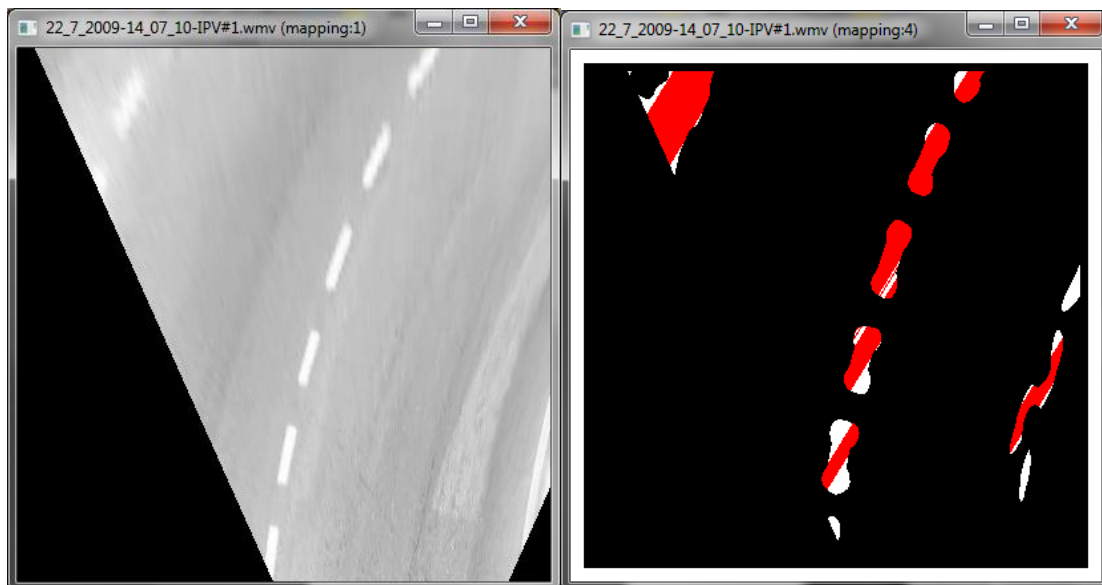
Slika 21 c) Primjer propuštene detekcije

Na prethodnom skupu slika se može vidjeti u odzivu filtra kako postoji veći broj piksela koji su dio vertikalnih struktura nego što ima piksela koji su dio unutarnjih linija otoka. To je razlog zašto se u ovom slučaju nije detektirao prometni otok.

Kao posljednji skup primjer prikazana je pogrešna detekcija otoka:



Slika 22 a) Ulazna slika



Slika 22 b) Transformirana slika

Slika 22 c) Primjer pogrešne detekcije

Na ovom primjeru se može vidjeti pogrešna detekcija. Razlog tome je kut maksimalnog odziva koji se nalazi unutar zadanih granica, što je protumačeno kao prometni otok.

6. Zaključak

Ovaj rad je prikazao kartiranje horizontalne prometne signalizacije iz mjerenja dobivenih od GPS uređaja. U radu je teorijski opisana sinteza mjerenja GPS-a i žiroskopa uz pomoć Kalmanovog filtra te interpolacija točaka uz pomoć funkcije polinoma trećeg stupnja. Prikazane su i metode za detekciju zebri i prometnih otoka iz videa, koje se temelje na upravljivim filtrima. Na kraju rada prikazano je nekoliko rezultata dobivenih nad stvarnim mjerenjima i videom.

Algoritam za kartiranje prometnice daje zadovoljavajuće rezultate nad cijelim skupom mjerenja. Mjesto za poboljšanja postoji, pogotovo na preciznosti određivanja lokacije vozila u svakom trenutku. Za dobivanje preciznih rezultata bitno je pravilno odrediti i koeficijente za pretvorbu udaljenosti pozicija točaka u metre.

Izvršavanje algoritma je moguće izvoditi u stvarnom vremenu. Učitavanje mjerenja iz datoteke, interpolacija točaka i računanje smjera se vrši samo prilikom pokretanja programa te traje samo nekoliko sekundi. Ukoliko se broj diskretiziranih točaka kod interpolacije točaka poveća, tada će se povećati i vrijeme izvođenja. Ukoliko bi se pak koristio Kalmanov filter, tada bi taj počeni dio programa trajao još dulje zbog zahtjevnih matričnih operacija.

Algoritam za detekciju prometnih zebri i otoka također daje zadovoljavajuće rezultate. Detekcija prometnih zebri daje bolje rezultate od detekcije otoka zbog svoje strukture koja je jedinstvena među segmentima horizontalne signalizacije. Kod detekcije prometnih otoka se na nekim mjestima pojavljuju pogrešne detekcije, dok se na nekim prometni otok ne detektira sve dok nije prikazan na cijeloj slici.

Ovaj algoritam je vremenski značajno zahtjevniji od algoritma za kartiranje prometnica. Razlog tome su inverzna perspektivna transformacija, ali i izračun odziva upravljivih filtara, posebno za zebre i otoke. Upravo detekcija zebri zahtijeva mnogo vremena za izvršavanje, jer se na prometnici traže strukture velike širine.

7. Literatura

- [1] Zhang, L., Sester, M., Incremental data acquisition from GPS-traces, A special joint symposium of ISPRS Technical Commission IV & AutoCarto, studeni 2010.
- [2] Shi, Y., Shibasaki, R., Shi, Z.C., Towards automatic road mapping by fusing vehicle-borne multi-sensor data, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XXXVII, str. 867-872, godina 2008.
- [3] Goldbeck, J., Huertgen, B., Ernst, S., Kelchm L., Lane following combining vision and DGPS, Image and vision computing 18, str. 425-433, rujan 1999.
- [4] Hu, Z., Uchimure, K., Real-time data fusion on stabilizing camera pose estimation output for vision-based road navigation, članak, Dept. of Computer Science, Kumamoto University, Japan
- [5] GPS Satellite Orbits, 19.4.2009., *GPS explained: Satellite orbits*, <http://www.kowoma.de/en/gps/orbits.htm>, 22.10.2010.
- [6] GPS – NMEA sentence information, 20.7.2001., *GPS – NMEA sentence information*, <http://aprs.gids.nl/nmea/>, 23.10.2010.
- [7] Žiroskop, Wikipedia, <http://hr.wikipedia.org/wiki/%C5%BDiroskop>, 28.10.2010.
- [8] 3DM-G User Manual, proizvođač Microstrain, godina 2003
- [9] Kalman filter, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Kalman_filter, 17.11.2010.
- [10] Bašić, Š., Kalmanov filter, seminar, Fakultet elektrotehnike i računarstva, godina 2010.
- [11] Majić, A., Pronalaženje prometnog traka korištenjem upravljivih filtara, završni rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, godina 2009.
- [12] Lončarić, S., Poboljšanje slika u prostornoj domeni, predavanje iz predmeta Digitalna obrada i analiza slike, Fakultet elektrotehnike i računarstva, ožujak 2010.

8. Sažetak

Kartiranje horizontalne prometne signalizacije iz georeferenciranog videa

Sažetak

U ovom radu prikazano je kartiranje prometnice iz mjerenja GPS-a. Opisane su metode interpolacije točaka funkcijom polinoma trećeg stupnja detekcija prometnih zebri i otoka uz pomoć upravljivijih filtara, koje su korištene u radu. Uz njih je opisana metoda Kalmanovog filtra za sintezu mjerenja GPS-a i žiroskopa, čija se primjena nije implementirala. Uz objašnjenu programsku implementaciju navedeni su problemi i moguća poboljšanja. Na kraju rada prikazani su i komentirani eksperimentalni rezultati algoritma.

Ključne riječi: kartiranje prometnice, GPS, upravljivi filtri, interpolacija točaka, Kalmanov filter

Creating the map of road surface markings from georeferenced video

Summary

In this paper is presented road mapping from GPS measurements. The following methods used in the paper have been also described: points interpolation by the third degree polynomial function and horizontal road elements detection by steerable filters. Description of Kalman filter method, for the synthesis of GPS and gyroscopes measurements, whose application is not implemented, has been given too. Problems and possible improvements have been described alongside with the implementation of the program. At the end of the study are presented and discussed experimental results of the algorithm.

Keywords: road mapping, GPS, steerable filters, points interpolation, Kalman filter