



2. laboratorijska vježba

Estimacija lokacije vozila pomoću globalnog sustava pozicioniranja

Ime i prezime:

JMBAG:

Uvodne napomene

- **Svrha vježbe**

Implementacija Kalmanova filtra za estimaciju stanja dinamičkog stohastičkog linearnog sustava.

- **Priprema**

Ova se vježba radi u Matlabu. Primjenjuje se linearni Kalmanov filter za estimaciju lokacije vozila u 2D pomoću mjerenja globalnog sustava pozicioniranja. Uz vježbu dobivate m-funkciju modela sustava koju je potrebno upotpuniti traženim izvedbama Kalmanova filtra. Proučite poglavlja predavanja o svojstvima i izvedbi linearnog Kalmanova filtra.

- **Grafovi i jednadžbe**

Odzive snimate kao slike te ih priložite u izvještaj u naznačena polja. Jednadžbe napišite u alatu po svojem izboru te ih priložite u izvještaj također kao slike u naznačena polja. (Za Adobe Reader: Tools->Comment & Markup->Attach a File as a Comment).

- **Korisne Matlab funkcije:**

help, diag, trace, cond, chol, std, mean

Rad na vježbi



Zadatak 1: Estimacija lokacije vozila pomoću mjerenja globalnog sustava pozicioniranja

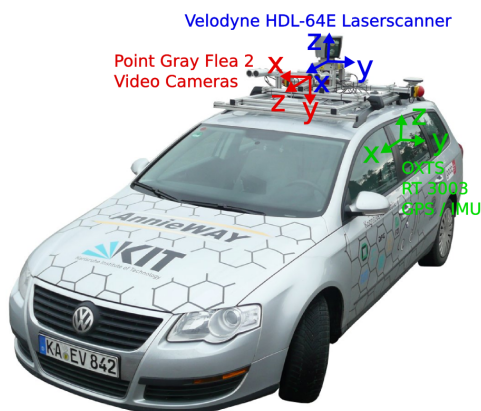
Poznavanje točne lokacije vozila u prostora jedan je od glavnih preduvjeta samostalne vožnje autonomnih vozila. Jedan od senzora koji se može koristiti za rješavanje tog problema je globalni sustav pozicioniranja, odnosno GPS, pomoću kojega možemo izračunati lokaciju vozila na Zemljinoj površini. Mjerenja GPS-a se uobičajeno dobivaju u ekliptičkom koordinatnom sustavu kao ekliptička dužina i širina (longituda i latituda); međutim, za potrebe laboratorijske vježbe ta su mjerenja transformirana u Euklidski koordinatni sustav pomoću Merkatorove projekcije. Iako je za autonomnu navigaciju potrebno poznavati lokaciju i orijentaciju vozila, u ovoj laboratorijskoj vježbi fokus će biti na estimaciji lokacije, odnosno (x, y) koordinata vozila. Estimacija lokacije vozila iz mjerenja komercijalnih GPS senzora često su zašumljena, a ponekad mjerenja znaju i izostati (tunel) ili dati očitavanja s velikom pogreškom (*ulični kanjon*). Iz navedenih razloga potrebno je koristiti metode stohastičke estimacije kako bi se poznavala lokacija vozila i u izazovnim uvjetima.

U laboratorijskoj vježbi koristit ćemo mjerenja dobivena vozilom prikazanim na Slici 1, koje je korišteno za snimanje skupa podataka **KITTI** namijenjenog evaluaciji algoritama lokalizacije autonomnih vozila. Pošto je navedeno vozilo bilo opremljeno i diferencijalnim GPS-om koji omogućuje mjerenje lokacije u visokoj točnosti, ti će se podaci koristiti za evaluaciju točnosti estimacije (varijabla \mathbf{x}_{gt}).

Stanje vozila \mathbf{x}_k u diskretnom trenutku k opisano je sljedećim vektorom

$$\mathbf{x}_k = [x_k \ y_k \ \dot{x}_k \ \dot{y}_k]^T, \quad (1)$$

gdje je x_k, y_k položaj vozila u trenutku k , a \dot{x}_k, \dot{y}_k su pripadajuće brzine.



Slika 1: Vozilo korišteno za snimanje skupa podataka KITTI za evaluaciju algoritama lokalizacije autonomnih vozila

Diskretni model sustava, odnosno model gibanja vozila, opisan je stohastičkim modelom konstante brzine:

$$\begin{aligned}x_k &= x_{k-1} + T\dot{x}_{k-1} + w_{x,k-1} \\y_k &= y_{k-1} + T\dot{y}_{k-1} + w_{y,k-1} \\ \dot{x}_k &= \dot{x}_{k-1} + w_{\dot{x},k-1} \\ \dot{y}_k &= \dot{y}_{k-1} + w_{\dot{y},k-1},\end{aligned}\tag{2}$$

gdje varijable w_{k-1} predstavljaju procesni šum, a T je vrijeme uzorkovanja senzora te iznosi 10 Hz. Procesni se šum modelira kao diskretni Gaussov bijeli šum nultog očekivanja i matrice kovarijanci Q .

Diskretni model mjerenja y_k opisan je sljedećom linearnom stohastičkom jednadžbom:

$$y_k = \begin{bmatrix} x_k + v_{x,k} \\ y_k + v_{y,k} \end{bmatrix},\tag{3}$$

gdje varijable v_k predstavljaju mjerni šum. Mjerni se šum modelira kao diskretni Gaussov bijeli šum nultog očekivanja i matrice kovarijanci R .

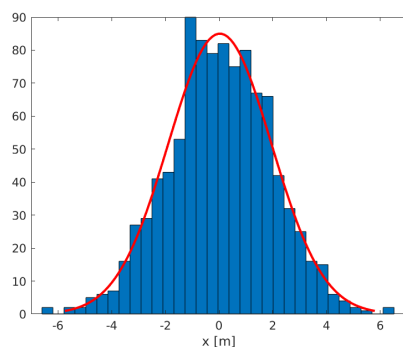
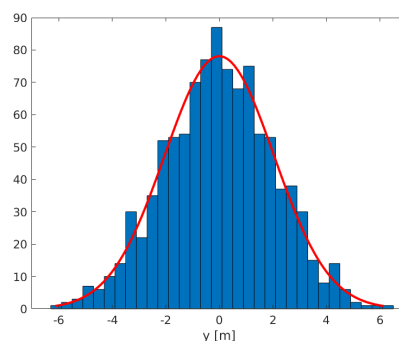
- a) Napišite diskretni model sustava u prostoru stanja uz varijable stanja $x_1 = x_k$, $x_2 = y_k$, $x_3 = \dot{x}_k$, $x_4 = \dot{y}_k$. Napišite matrice A, B, L, H, M .

Diskretni model sustava u
prostoru stanja

- b) Parametrirajte procesni i mjerni šum diskretnog linearnog stohastičkog sustava.

Matricu kovarijanci procesnog šuma Q slobodno postavite kao dijagonalnu matricu s procijenjenim vrijednostima kovarijanci da modeliraju očekivano odstupanje unaprijedne estimacije stanja vozila od stvarnog stanja vozila. Možete pretpostaviti da je prosječna brzina 50 km/h. Obrazložite!

Matricu kovarijanci mjernog šuma R estimirajte iz sljedećeg eksperimenta, gdje je stacionarno vozilo na lokaciji $(0,0)$ snimalo mjerenja GPS-a. Histogram pogreške mjerenja i pripadajuća estimirana Gaussova razdioba po pojedinoj koordinati prikazani su na Slici 2. Uz pretpostavku nekoreliranosti pogrešaka mjerenja koordinata x i y , odredite matricu kovarijanci mjernog šuma R vizualnom analizom prikazanih histograma. Obrazložite!

(a) Histogram mjerenja x koordinate(b) Histogram mjerenja y koordinate

Slika 2: Pogreška mjerenja senzora globalnog sustava pozicioniranja

- c) Projektirajte diskretni linearni Kalmanov filter (KF) za estimaciju stanja danog sustava. Implementirajte filter u dobivenoj m-funkciji `Vozilo.m` te u prostor ispod izdvojite jednadžbe predikcije i korekcije tog filtra.

Jednadžbe predikcije Kalmanova filtra	Jednadžbe korekcije Kalmanova filtra
--	---

- d) Simulirajte vladanje KF-a kroz cijelu trajektoriju koristeći skup mjerenja `gps_easy.mat`. Inicijalizirajte stanje KF-a na sljedeći način za lokacijske komponente: $\hat{\mathbf{x}}_0^{(1:2)} = \mathbf{y}_0$ i $P_0^{(1:2,1:2)} = R$, a brzinske komponente postavite kao nepoznate s visokom nesigurnosti. Iscrtajte estimiranu trajektoriju vozila zajedno s točnom trajektorijom i mjerenjima GPS-a.

Estimirana i točna trajektorija vozila, mjerenja senzora

Izračunajte korijen srednje kvadratične pogreške estimacije i mjerenja. Komentirajte rezultat!

- e) Iscrtaajte pogrešku estimacije lokacije vozila i vremensku ovisnost traga matrice kovarijanci P_k^+ .

Pogreška estimacije lokacije
vozila

Trag matrice kovarijanci P_k^+

- f) Ponovite d) i e), ali sa složenijim skupom mjerenja `gps_hard.mat` koji uključuje gubitak signala GPS-a i mjerenja s velikom pogreškom. Koje ste izmjene uveli u KF-u kako biste postigli točnost estimacije sumjerljivu prethodnom slučaju?



Isrtaajte estimiranu trajektoriju vozila zajedno s točnom trajektorijom i mjerenjima GPS-a.

Estimirana i točna trajektorija
vozila, mjerenja senzora

Isrtaajte pogrešku estimacije lokacije vozila i vremensku ovisnost traga matrice kovarijanci P_k^+ .

Pogreška estimacije lokacije
vozila

Trag matrice kovarijanci P_k^+

Izračunajte korijen srednje kvadratične pogreške estimacije. Komentirajte rezultat!

RMSE mjerenja lokacije vozila 1.9856 1.9717 m -> gps_hard
RMSE estimacije lokacije vozila 0.97088 0.98467 m

Zbog složenijeg skupa mjerenja s većim pogreškama smanjila se točnost estimacije (povećalo se odstupanje) i činjenice da zbog toga bilo potrebno smanjiti važnost rezultata mjerenja pomoću Matrice R. Ovdje također vrijedi zaključak da i dalje Kalmanov filter daje točnije rezultate od samog mjerenja.

Zaključak

Vaš zaključak nakon vježbe koji daje sažet prikaz i komentar dobivenih rezultata.