

Modeliranje estimacije kvalitativnih lastnosti vožnje

Gregor Felzer, Uroš Sadek, Amor Chowdhury, Dalibor Igrec

MARGENTO R&D d.o.o., Turnerjeva ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija

E-pošta: gregor.felzer@margento.com

Estimation modeling of qualitative driving characteristics

Abstract. An estimation modeling of qualitative driving characteristics, also a driving behavior evaluation, is basically a mandatory requirement in today's fleet management systems in a cargo and a passenger transportation. With proper driving behavior evaluation, informing and educating drivers, operators can save on fuel, on servicing and on other operating expenses. Streaming to active fleet optimization reduces accidents, makes fleet greener and increases the quality of transportation service in the specific segment.

Presented paper is a continuation of a paper [1] where we tried to evaluate a driving behavior using MEMS accelerometer signal analysis in time, frequency and power spectral domain. Besides promising results in early stages of testing, an analysis on a larger vehicle fleet with different styles of driving and different terrain configurations showed that we need a different approach. New approach is presented in the following chapters.

1 Uvod

V sistemih za upravljanje voznega parka je modeliranje estimacije kvalitativnih lastnosti vožnje oz. ocene kvalitete vožnje danes že več ali manj zahteva s strani upravljalcev. Z ustreznim ocenjevanjem voženj in informiranjem ter izobraževanjem voznikov v tovornem in potniškem prometu, upravljalci ustvarijo prihranke pri gorivu, servisiranju in ostalih stroških. Aktivno izvajanje optimizacije flote omogoča zmanjšanje možnosti nesreč, zmanjšanje emisij flote in povečanje kvalitete izvajanja storitve prevozov v svojem segmentu.

Prispevek je nadaljevanje prispevka [1], kjer smo skušali pridobiti oceno vožnje s pomočjo MEMS pospeškometra z analizami v časovnem prostoru, frekvenčnem spektru in s pomočjo spektralne močnostne gostote. Kljub začetnim zadovoljivim rezultatom se je v času testiranja izkazalo, da je na večji floti vozil, z različnimi stili voženj, po različnih konfiguracijah terena, potreben drugačen pristop. Ta je podrobneje predstavljen v tem prispevku.

2 Mobilna enota

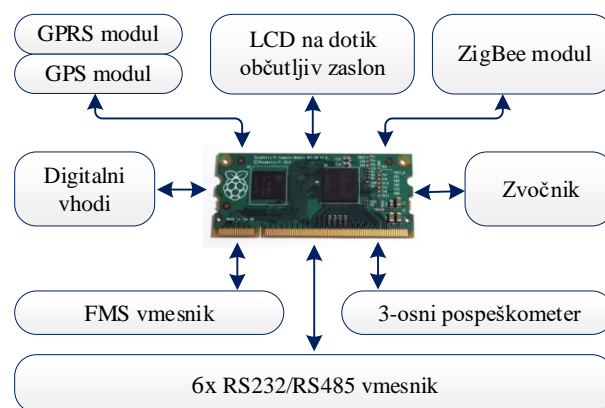
V vozilih je instalirana mobilna enota [2], ki je preko mobilnega omrežja stalno povezana v zaledni sistem podatkovnega strežnika [3]. Arhitektura mobilne enote je prikazana na sliki 1. To sestavlja mobilni

računalnik in komponente združene v ohišje z LCD zaslonom občutljivim na dotik. Ostale komponente zajemajo GPRS in GPS vmesnik, pospeškometer, digitalne vhode in komunikacijske vmesnike (RS232, RS485 in USB). Za oceno kvalitete vožnje je uporabljen 3-osni MEMS pospeškometer ADXL345 [4] proizvajalca Analog devices.

Procesno enoto predstavlja Raspberry Pi Compute Module [5] prve generacije. Kot je razvidno iz slike 1, se uporabljena verzija Raspberry Pi razlikuje od klasične verzije, saj le-ta za priključitev v »zunanji svet« potrebuje gostitelja s katerim je povezana preko SO-DIMM konektorja. Vlogo gostitelja opravlja ločena tiskanina, ki zaprta v ohišje z ostalimi komponentami predstavlja končni produkt - mobilno enoto.

Pospeškometer je s procesno enoto povezan preko SPI vodila. Na nivoju sistema je implementiran gonilnik, ki vsako sekundo izvede 100 meritev za vsako od 3-osi posebej. Sledi izračun ocene vožnje, ki je podrobneje opisan v 3. poglavju. Po obdelavi obdelane histograme posreduje glavni aplikaciji v nadaljnjo uporabo (prikaz na zaslonu in posredovanje v zaledni sistem).

Ker so instalacije enot v posameznih vozilih postavljene na različne nosilce pod različnim kotom, ne moremo zagotoviti ustrezne horizontalne in vertikalne usmerjenosti pospeškometra za enostavno ugotavljanje pospeškov zaviranj, pospeševanja, zavijanja, konfiguracije terena in tresljaje s strani vozišča.



Slika 1: Arhitektura mobilne enote

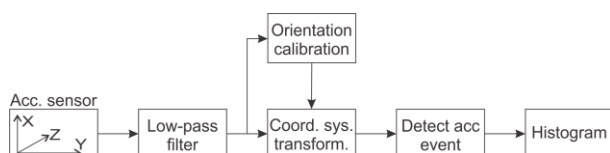
Zaradi omenjenih razlogov smo v jedro funkcionalnosti vključili programsko rešitev, ki pred izračunom ocene zagotavlja tudi ustrezno korekcijo naklona osi pospeškometra in s tem enotno oceno kvalitete vožnje neglede na tip vozila in tip vozišča.

3 Izračun estimacije kvalitativnih lastnosti

Ocena kvalitete vožnje temelji na analizi pospeškov vozila, ki se po amplitudi razvrščajo v normiran histogram. Takšen histogram predstavlja relativno oceno kvalitete vožnje, ki jo je moč primerjati z drugimi vožnjami. Absolutna ocena kvalitete vožnje je odvisna od posameznikovega dojemanja kvalitete vožnje (med posamezniki se razlikujejo prioritete karakteristik vožnje, kakor tudi meje pospeškov nelagodne vožnje) in je v splošnem ni moč določiti.

Ocena kvalitete vožnje je sestavljena iz več segmentov:

- meritev pospeškov 3-dimenzionalnega prostora,
- nizko-pasovno filtriranje,
- korekcija koordinatnega sistema (korekcija naklona),
- zaznavanje dogodkov pospeška,
- razvrščanje dogodkov pospeška,
- normiranje dogodkov.



Slika 2: Shema sistema za detekcijo in prikaz ocene kvalitete vožnje

Meritev pospeškov vožnje je izvedena s 3-osnim pospeškometrom, ki meri trenutne vrednosti pospeška v treh neodvisnih dimenzijah 3-dimenzionalnega prostora. Za pridobitev koristnega signala pospeškov posamezne osi pospeška so uporabljeni nizko-prepustni FIR filtri. S filtri odpravimo visokofrekvenčne komponente pospeška, ki so posledica vibracij vozila in so po amplitudi primerljive koristnemu signalu. FIR filter v splošni obliki zapišemo kot

$$F(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b(1) + b(2)z^{-1} + \dots + b(n+1)z^{-n}}{a(1) + a(2)z^{-1} + \dots + a(n+1)z^{-n}} \quad (1)$$

kjer sta $B(z)$ polinom števca in $A(z)$ polinom imenovalca diskretne prenosne funkcije. Pri filtriranju pospeškov smo se omejili na FIR filter 2. reda

$$F_2(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b(1) + b(2)z^{-1} + b(3)z^{-2}}{a(1) + a(2)z^{-1} + a(3)z^{-2}} \quad (2)$$

Načrtovanje koeficientov filtra smo izvedli v Matlab okolju, kjer smo upoštevali mejno frekvenco filtra (cut off frequency) 3 Hz in frekvenco tipanja 100 Hz.

Koeficienti polinomov uporabljenega filtra so

$$F_2(z) = \frac{0.007820 + 0.015640z^{-1} + 0.007820z^{-2}}{1 - 1.734726z^{-1} + 0.766007z^{-2}} \quad (3)$$

Ker analiza kvalitete temelji na pospeških horizontalne ravnine (pospeševanje/zaviranje vozila, zavoj levo/desno), se v drugem segmentu obdelave podatkov izvede korekcija naklona horizontalnih osi in gravitacijskega pospeška. V praksi se izkaže, da vrednosti vertikalnih pospeškov vozila (vdolbine, ovire za zmanjševanje hitrosti) presegajo vrednosti horizontalnih pospeškov. S korekcijo naklona horizontalnih osi poravnamo vertikalno os (z-os) koordinatnega sistema merilnega sistema z gravitacijskim pospeškom (koordinatni sistem zemlje) in s tem izločimo vpliv vertikalnih pospeškov vozila v horizontalni ravnini (XY osi) merilnega sistema. Korekcija naklona se opravi z rotacijo koordinatnega sistema, na osnovi rotacijske matrike (4), določene v postopku kalibracije merilnega sistema. Kalibracija merilnega sistema se izvede ob zagonu, ko je vozilo še v mirovanju, in je nujno potrebna zaradi morebitnih nastavitvev nosilca enote v vozilu.

$$R_{xyz} = R_x(\phi)R_y(\theta)R_z(\psi) \quad (4)$$

$$= \begin{pmatrix} \cos\theta\cos\psi & -\cos\theta\sin\psi & \sin\theta \\ \cos\phi\sin\psi + \cos\psi\sin\theta\sin\phi & \cos\phi\cos\psi - \sin\theta\sin\phi\sin\psi & -\cos\theta\sin\phi \\ \sin\phi\sin\psi - \cos\phi\cos\psi\sin\theta & \cos\psi\sin\phi + \cos\phi\sin\theta\sin\psi & \cos\theta\cos\phi \end{pmatrix}$$

S postopkom kalibracije določimo kota ϕ in θ iz rotacijske matrike (4). Pri tem predpostavimo gravitacijski vektor $1g$ v smeri z-osi.

Tako sledi

$$\frac{G}{\|G\|} = R_{xyz} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin\theta \\ -\cos\theta\sin\phi \\ \cos\theta\cos\phi \end{pmatrix} \quad (5)$$

kjer je $G = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \\ G_z \end{bmatrix}$ in zajema vrednosti izmerjenega

pospeška posamezne osi merilnega sistema. $\|G\|$ je absolutna vrednost pospeška v tri dimenzionalnem prostoru in je potrebna za normalizacijo pospeškov posamezne osi. Na osnovi enačbe (5) lahko zapišemo izračun kotov

$$\phi_{xyz} = \arctan\left(-\frac{G_y}{G_z}\right) \quad (6)$$

$$\theta_{xyz} = \arctan\left(\frac{G_x}{\sqrt{G_y^2 + G_z^2}}\right)$$

kjer indeks $_{xyz}$ označuje kota, ki pripadata rotacijski matriki zaporedja rotacij $R_x(\phi)R_y(\theta)R_z(\psi)$.

Na osnovi naklona horizontalne ravnine xy (6), ob predpostavki $\psi = 0$, določimo korekcijsko rotacijsko matriko

$$R_{xyz} = \begin{pmatrix} \cos \theta_{xyz} & 0 & \sin \theta_{xyz} \\ \sin \theta_{xyz} \sin \phi_{xyz} & \cos \phi_{xyz} & -\cos \theta_{xyz} \sin \phi_{xyz} \\ -\cos \phi_{xyz} \sin \theta_{xyz} & \sin \phi_{xyz} & \cos \theta_{xyz} \cos \phi_{xyz} \end{pmatrix} \quad (7)$$

Ker je orientacijska matrika ortogonalna in velja $R_{xyz}^{-1} = R_{xyz}^T$, lahko iz enačbe (5) zapišemo korekcijsko enačbo

$$R_{xyz}^T G = G_{kor} \quad (8)$$

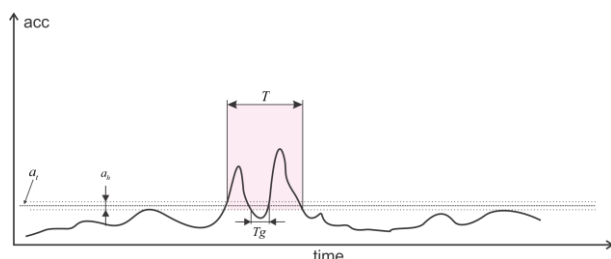
kjer je G_{kor} vektor pospeškov posamezne osi novega koordinatnega sistema, kjer sta gravitacijski vektor in vertikalna z -os vzporedna. Tako izločimo vpliv gravitacijskega pospeška na absolutni pospešek horizontalne ravnine

$$G_{hor} = \sqrt{G_{kor,x}^2 + G_{kor,y}^2} \quad (9)$$

Zaradi pomanjkanja senzorja horizontalne orientacije (magnetometer), ni moč določiti kota horizontalnih osi koordinatnega sistema med merilnim sistemom in vozilom. Zato se v sklopu detekcije dogodkov horizontalnega pospeška uporablja absolutna vrednost horizontalnega pospeška, ki je v mirovnem stanju vozila enaka 0 (gravitacijski pospešek je poravnan z vertikalno osjo).

Detekcija dogodkov horizontalne osi temelji na zaznavi oken s parametri:

- Prag pospeška (a_t),
- Histereza pragu pospeška (a_h),
- Čas trajanja pospeška (T),
- Čas luknje pospeška (T_g).



Slika 3: Prikaz časa trajanja pospeška v časovnem prostoru

Prag pospeška predstavlja srednjo vrednost histereze pragu. Na osnovi histereze določamo začetek (pospešek preide nad prag) in konec (pospešek preide pod prag) morebitnega dogodka. Da določen pospešek smatramo kot dogodek, mora biti čas trajanja pospeška nad pragom večji ali enak minimalnemu času trajanja dogodka ($T \geq T_{min}$). Prav tako mora biti čas morebitne luknje pospeška (čas pospeška pod pragom) manjši od maksimalnega časa luknje ($T_g \leq T_{g,max}$). Čas luknje pospeška se šteje od prehoda pospeška pod prag do

naslednjega prehoda nad prag. Po detekciji dogodka se določijo naslednje karakteristike:

- Čas trajanja dogodka,
- Maksimalni pospešek dogodka,
- Povprečni pospešek dogodka (brez pospeška morebitne luknje).

Zaznane dogodke tekom vožnje razvrščamo v histogram po željeni karakteristiki dogodka. V našem primeru jih razvrščamo v histogram po maksimalnem pospešku dogodka in s tem vrednotimo kvaliteto vožnje glede na osnovi maksimalnega pospeška. Histogram dogodkov je značilen za določeno pot in je odvisen od dolžine opravljene poti. Ker želimo primerjati kvaliteto voženj različnih poti je potrebno histogram poti normirati glede na razdaljo poti. S tem postane normiran histogram neodvisen od razdalje posamične poti in jih je moč primerjati za različne poti. Takšna ocena vožnje je relativna (možna je primerjava različnih poti) na osnovi katere je možno razvrstiti različne vožnje po kvaliteti in podati mnenje o načinu vožnje. Slednjega je možno razbrati iz oblike normiranega histograma.

4 Uporaba rezultatov

Sistem omogoča prikaz ocene kvalitete vožnje samemu vozniku na zaslonu mobilne enote v vozilu in podrobneje z možnostjo dodatnih analiz v zalednem sistemu sledenja.

Prikaz na zaslonu mobilne enote zajema barvni histogram sestavljen iz sedmih razredov. Barvni prikaz je namenjen informiranju voznika o trenutni jakosti pospeška/pojemka, ki je sicer informativne narave, a vseeno vozniku posredno služi kot pomoč pri dojemanju trenutne jakosti pospeška/pojemka, saj se potniki na stil vožnje različno odzovejo.

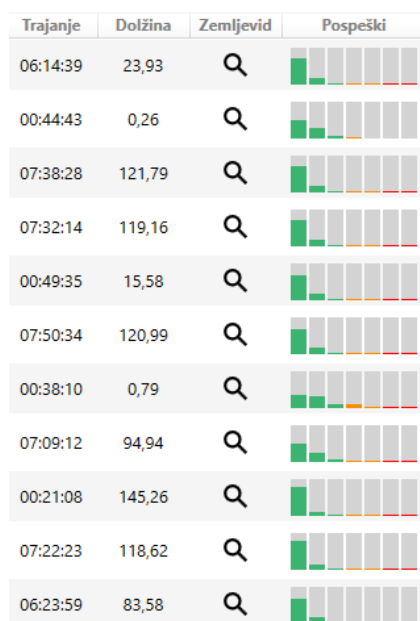


Slika 4: Način prikaza na zaslonu

Na sliki 4 (spodnji histogram) je prikazan način prikaza na zaslonu. Pri vožnji s konstantno hitrostjo je histogram prazen, saj se vozilo nahaja v ničtem razredu, ker ni pospeškov/pojemkov. V primeru, da se pospešek

poveča/zmanjša, se sorazmerno z nastavljenimi mejami prikažejo dodatni razredi (stolpci) histograma. Zeleno področje predstavlja optimalno vrednost trenutnega pospeška/pojemka, medtem ko rumeno področje predstavlja povišano vrednost. Obstaja tudi nadpovprečna vrednost, kjer se vsi razredi obarvajo rdeče. Seveda je za optimalno in udobno vožnjo priporočljivo, da se vozilo čim dlje nahaja v zelenem območju.

V zalednem sistemu je pregled pospeškov možen na več načinov. Prva možnost je pregled pospeškov po zaključeni poti vozila/voznika (slika 5), kjer je možno izvesti hitro primerjavo glede na dolžino in čas poti. Iz rezultatov se nato razbere ali se vožnje izvajajo na način, da so pospeški večinoma v optimalnem področju (zeleno območje histograma).



Slika 5: Pregled pospeškov po zaključeni poti vozila/voznika

Druga možnost je izdelava poročil v različnih oblikah. PDF format poročila (slika 6) omogoča hiter pregled, medtem ko CSV (tabelaričen format) omogoča dodatno podrobno analizo podatkov glede na različno nastavljene filtre.

Začetni čas	Končni čas	Razred 1	Razred 2	Razred 3	Razred 4	Razred 5	Razred 6	Razred 7
02:34:45	10:25:19	67,79%	21,16%	6,07%	3,00%	0,85%	0,56%	0,57%
10:27:06	10:28:01	83,67%	12,24%	2,04%	0,00%	2,04%	0,00%	0,00%
10:28:23	16:30:30	70,91%	18,26%	5,27%	3,04%	1,04%	0,79%	0,70%
16:31:12	18:28:38	60,40%	23,32%	7,91%	3,54%	1,27%	1,08%	2,48%
18:28:48	19:03:35	42,63%	29,71%	10,20%	6,80%	1,81%	2,27%	6,58%
19:35:00	19:40:31	45,78%	32,53%	9,64%	6,02%	0,60%	2,41%	3,01%
19:44:23	(+1) 0:19:09	73,38%	17,75%	4,20%	2,22%	0,67%	0,41%	1,37%

Slika 6: Primer poročila v PDF formatu

5 Zaključek

Izveden način ocenjevanja kvalitete vožnje s 3-osnim pospeškom daje dobre in med seboj primerljive rezultate glede na vožnje različnih dolžin po različnih konfiguracijah terena. Pridobljeni rezultati se uporabljajo za informiranje in izobraževanje voznikov, kar na dolgi rok omogoča dodatno optimizacijo voznega parka.

V prihodnjih nadgradnjah sistema nameravamo vpeljati funkcionalnost odčitavanja porabe goriva (dostop do podatkov porabe goriva iz CAN vodila preko FMS vmesnika). Kombinacija podatkov o porabi goriva, oceni kvalitete vožnje in ostalih parametroh bo omogočala podrobno primerjavo med tipi vozil in načinom vožnje za vsakega voznika posebej. Pridobljene analize bodo vplivale pri nabavi novih vozil glede na različne konfiguracije terena in ostale potrebe.

Literatura

- [1] G. Felzer, A. Chowdhury, D. Igrc: Analiza kvalitete vožnje s pomočjo spektralne močnostne gostote vibracijskega signala, Zbornik šestindvajsete mednarodne Elektrotehniške in računalniške konference ERK 2017, 25. - 26. september 2017, Portorož, Slovenija
- [2] D. Igrc, G. Felzer, A. Chowdhury: Univerzalna procesno-komunikacijska enota, Zbornik desete konference Avtomatizacija v industriji in gospodarstvu, 6. - 7. april 2017, Maribor, Slovenija
- [3] G. Felzer, A. Chowdhury, D. Igrc: Sistem za upravljanje in nadzor voznega parka v potniškem prometu, Zbornik desete konference Avtomatizacija v industriji in gospodarstvu, 6. - 7. april 2017, Maribor, Slovenija
- [4] Analog Devices: ADXL345, 3-Axis, $\pm 2 \text{ g}/\pm 4 \text{ g}/\pm 8 \text{ g}/\pm 16 \text{ g}$ Digital Accelerometer, <https://www.analog.com/en/products/adxl345.html>
- [5] Raspberry Pi Compute Module, <https://www.raspberrypi.org/products/compute-module-1>