

# Mobilni sistem za određivanje nivoa udobnosti u vozilu

Željko Jovanović

Fakultet tehničkih nauka u Čačku  
Čačak, Srbija  
zeljko.jovanovic@ftn.kg.ac.rs

Dragan Janković

Elektronski fakultet u Nišu  
Niš, Srbija  
dragan.jankovic@elfak.ni.ac.rs

Aleksandar Peulić

Fakultet inženjerskih nauka  
Kragujevac, Srbija  
aleksandar.peulic@kg.ac.rs

**Sažetak**— U ovom radu predstavljen je sistem za merenje udobnosti putnika prilikom transporta. U ove svrhe razvijena je Android aplikacija koja na pametnom telefonu sa ugrađenim akcelerometrom i GPS senzorima meri dozu vibracija. Procena nivoa udobnosti bazira se na merenju vibro udobnosti po standardu ISO 2631 sa dodatnim proračunima nad izmerenim podacima. Za demonstraciju funkcionalnosti prikazani su rezultati merenja udobnosti na relaciji Čačak-Beograd, Srbija.

**Ključne riječi**— vibro udobnost; transport putnika, akcelerometar;

## I. UVOD

Pojam udobnosti ne može se strogo definisati. Pojavu koju bi želeli da opišemo preko ovog pojma veoma je teško precizno izmeriti i kvantitativno izraziti. Razlog je što je najveći broj faktora koji utiču na udobnost subjektivnog karaktera, mada ima i onih koji se lako mogu izmeriti. U zavisnosti od toga šta se transportuje nivo udobnosti može imati manji ili veći značaj. Generalno transport može da se podeli na transport materijala i transport živih bića. Neki tipovi materija se moraju prevoziti sa većim nivoom udobnosti jer su lomljivi, ne trpe vibracije ili ljuljanja ili spadaju u kategoriju opasnih materija koje su često zapaljive. Sa aspekta transporta ljudi, svakodnevno veliki broj njih koristi neki vid transporta, od transporta ličnim vozilima do upotrebe raznih vidova gradskog prevoza. Neadekvatni uslovi tokom transporta mogu nepovoljno psiho-fizički uticati na putnike. Psihičke posledice neudobnog transporta mogu biti loše raspoloženje i nervoza a fizičke bolovi u leđima i zglobovima, mučnine, povraćanje i slično. Kod putnika koji već imaju neke zdravstvene probleme zdravstveno stanje im se može pogoršati usled neudobnog transporta. Ovo je posebno važno kod transporta pacijenata koji predstavlja veoma specifičnu kategoriju transporta ljudi i izuzetno je osetljiv na nivo udobnosti. Uticaj vibracija na zdravlje, pri radu, sedenju i drugim situacijama objašnjen je u radu [1].

Postoji više faktora koji utiču na udobnost putnika tokom vožnje kao što su: vibracije sedišta, vibracije ruku, vibracije stopala, akustične vibracije (buka), dizajn sedišta, temperatura, vlažnost, vazdušni pritisak, razmak između sedišta i drugi. Jedan od najznačajnijih faktora na udobnost je nivo vibracija koje putnik oseća prilikom transporta. Dosadašnji pokušaji da se izmeri vibro udobnost najviše su se bazirali na merenju osetljivosti ljudskog tela na vibracije. Generalno prihvaćeno mišljenje je da je vibro udobnost direktno srazmerna ubrzanjima koja deluju na telo putnika tokom vožnje. Zbog

toga se većina dosadašnjih istraživanja bazirala na merenju osetljivosti ljudskog tela na ubrzanja različitih učestanosti. Ove metode su prihvaćene kao standardi i pravilnici [2]–[5]. Na udobnost transporta utiču tri faktora: vozač, tip i stanje vozila i stanje puta. Kod vozila najviše utiču gume, amortizeri, sedišta itd. Uticaj amortizera na udobnost putnika po raznim tipovima puteva kao i modelovanje udobnosti prezentovani su u radovima [6]–[8]. Buka od guma takođe može uticati na zvučnu udobnost putnika [9]. Jedna od glavnih oblasti koja se bavi udobnošću na osnovu vrednosti ubrzanja je vibro udobnost.

U ovom radu predložen je postupak merenja vibro udobnosti primenom mobilnih uređaja. Realizovana je Android aplikacija za merenje vibro udobnosti. Mogućnosti primene ove aplikacije testirane su merenjem vibro udobnosti u toku vožnje na relaciji Čačak-Beograd, Srbija. Izmerene vrednosti su prikazane u radu kao demonstracija mogućnosti predloženog pristupa i realizovanog sistema. Mogućnosti primene realizovanog sistema su takođe diskutovane u radu sa posebnim naglaskom na transport pacijenata.

## II. VIBRO UDOBNOST

Internacionalna organizacija za standardizaciju (ISO) je 1972. godine izdala standard: „*A Guide to the Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration*” [2] koji je i danas u opštoj upotrebi. Po ISO standardu 2631-1 osetljivost na vibracije zavisi od četiri aspekta: intenzitet, frekvencija, pravac i trajanje. Metoda ekvivalentne vrednosti ubrzanja (*RMS*) bez težinske funkcije ima veliku procesnu moć obrade i odabrana je kao standardna metoda za proračun udobnosti. Istraživanja [2],[1] su pokazala da osetljivost ljudskog tela na različite frekvencije zavisi od intenziteta ubrzanja.

Efektivna vrednost ubrzanja ( $a_{RMS}$ ) za diskretni sistem se računa po formuli (1):

$$a_{zRMS} = \sqrt{\frac{1}{n}(a_{z1}^2 + a_{z2}^2 + \dots + a_{zn}^2)} \quad (1)$$

gde je  $a_{zi}$  i-to izmereno ubrzanje po *Z* osi (vertikalna osa) a *n* je broj odmeraka. Za udobnost su po ovom metodu definisani opsezi vrednosti, prikazani u Tabeli I, za ukupnu efektivnu vrednost ubrzanja  $a_{RMS}$ .

TABELA I. DEFINISANI OPSEZI VREDNOSTI ZA  $A_{RMS}$  PO ISO STANDARDU 2631-1 [1] ZA PROCENU NIVOVA UDOBNOSTI

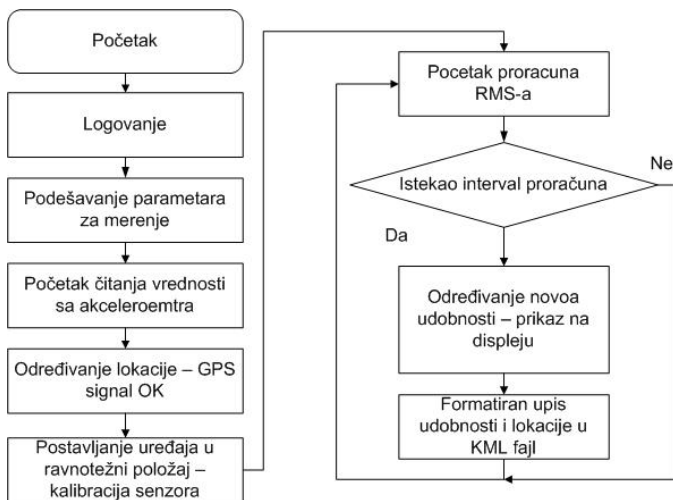
$a_{RMS} [m/s^2]$	Nivo udobnosti
0-0.315	Udobno
0.315-0.63	Malo neudobno
0.5-1	Malo više neudobno
0.8-1.6	Neudobno
1.6-2.5	Veoma neudobno

### III. ANDROID APLIKACIJA ZA MERENJE UDOBNOSTI

Za merenje udobnosti realizovana je Android aplikacija koja pomoću vrednosti sa troosnog akcelerometra određuje nivo udobnosti putnika. Pored akcelerometra korišćen je i GPS prijemnik radi pamćenja lokacija za koju je izmerena udobnost. U ovom poglavlju predstavljen je algoritam implementiranih funkcionalnosti kao i implementirani proračuni u cilju utvrđivanja udobnosti putnika.

#### A. Algoritam funkcionalnosti aplikacije

Na Sl. 1 prikazan je algoritam realizovane Android aplikacije.



Slika 1. Algoritam realizovane aplikacije

Kao što je prikazano na Sl. 1 po pokretanju aplikacije neophodno je izvršiti autentifikaciju (logovanje). Nakon uspešnog logovanja podešavaju se parametri rada aplikacije. Pošto su podešeni parametri aplikacije, vrši se određivanje lokacije pomoću GPS signala i kalibracija uređaja, tj određivanje ravnotežnog položaja u kojem će se vršiti merenje. Nakon toga počinju proračuni svih parametara vibro udobnosti dobijenih sa akcelerometra. Frekvencija odmeravanja akcelrometra je 20 puta u sekundi. Na primer, za vremenski interval od 10s, proračun udobnosti se vrši nad 200 odmeraka. Nakon isteka vremenskog intervala koji je odabran kao interval odlučivanja, određuje se nivo vibro udobnosti i vrši davanje odgovarajućih poruka na displeju u realnom

vremenu. Takođe, izmerene vrednosti se snimaju u odabrane formate fajlova za dalji pregled i analizu.

#### B. Implementirani proračuni

U cilju praćenja udobnosti razvijena je Android aplikacija. U radu [10] je opisan postupak razvoja Android aplikacije koje u pozadini rade sa ugrađenim sensorima. Realizovana aplikacija u pozadini radi sa akcelerometrom i GPS sensorima koristeći RxJava iz ReactiveX paketa [11]. Funkcionalnosti RxJave se baziraju na Observable i Subscribe klasama koje su povezane preko Subscription interfejsa. Upotreba RxJave omogućava kreiranje nezavisnih niti a u pozadini vodi računa o raspoređivanju procesa.

Aplikacija je dizajnirana da računa akumulirane nivoe vibracija u standardnim vremenskim intervalima po formuli (1). Osnovna aplikacija, predstavljena u radu [3] je modifikovana da računa RMS po sve tri ose po formuli (1). Pored ovog proširenja za svaki odmerak troosnog akcelerometra računa se moduo ubrzanja po formuli (2).

$$a_{iRMS} = \sqrt{a_{xi}^2 + a_{yi}^2 + a_{zi}^2} \quad (2)$$

gde su  $a_{xi}$ ,  $a_{yi}$ ,  $a_{zi}$  ubrzanja po X, Y i Z osi respektivno u i-tom odmerku, i  $a_{iRMS}$  je moduo ubrzanja sve tri ose. Pomoću ovih vrednosti u standardnom vremenskom intervalu računa se  $a_{RMS}$  po formuli (3)

$$a_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n}(a_{1RMS}^2 + a_{2RMS}^2 + \dots + a_{nRMS}^2)} \quad (3)$$

gde je  $a_{iRMS}$  i-ti moduo ubrzanja sve tri ose a  $n$  je broj odmeraka.

Pored navedenih proračuna u svakom intervalu vremena računa se maksimalna vrednost modula ubrzanja koji se računa po formuli (2). Za detektovani maksimalni moduo ubrzanja ( $a_{Peak}$ ) pamte se detektovane vrednosti ubrzanja za sve tri ose, kao geografska širina, dužina i brzina. Takođe u podešenom intervalu vremena računaju se i maskimalne vrednosti ubrzanja po sve tri ose (MAXX, MAXY, MAXZ).

Kao što je prikazano na sl. 1 nakon isteka podešenog intervala vremena donosi se odluka o detektovanom nivou udobnosti na osnovu vrednosti  $A_{RMS}$  proračunate po formuli (3). Odabrano je da se u praktičnoj primeni razlikuju tri nivoa udobnosti čiji intervali vrednosti su prikazani u Tabeli II.

TABELA II. VREDNOSTI  $A_{RMS}$  ZA PROCENU UDOBNOSTI

$a_{RMS} [m/s^2]$	Nivo udobnosti
0-0.315	Udobno
0.315-1	Srednje neudobno
> 1	Neudobno

Ako se uporede Tabela I i Tabela II vidi se da se prvi nivo poklapa a da su dva manje neudobna nivoa (malo i malo više neudobno) spojena u jedan interval. Takođe, dva više neudobna nivoa (neudobno i veoma neudobno) su spojena u jedan.

Na osnovu svega navedenog posle svakog intervala vremena za pređenu deonicu puta čuvaju se sledeće informacije:

- IDT - id tačke
- RMSX - rms po x osi u intervalu merenja (1)
- RMSY - rms po y osi u intervalu merenja (1)
- RMSZ - rms po z osi u intervalu merenja (1)
- ARMS - moduo rms-a po svim osama (3)
- APEAK - maksimalna vrednost modula RMS-a (3) u intervalu merenja
- APEAKX - vrednost po X osi u aPeak tački
- APEAKY - vrednost po Y osi u aPeak tački,
- APEAKZ - vrednost po Z osi u aPeak tački
- LATITUDE - za aPeak
- LONGITUDE - za aPeak
- VREME - za aPeak
- BRZINA - za aPeak
- MAXX - maksimalna apsolutna vrednost po X
- MAXY - maksimalna apsolutna vrednost po Y
- MAXZ - maksimalna apsolutna vrednost po Z
- COMFORT - Proračunati nivo udobnost (0-udobno, 1-srednje, 2-neudobno ) po Tabeli II.

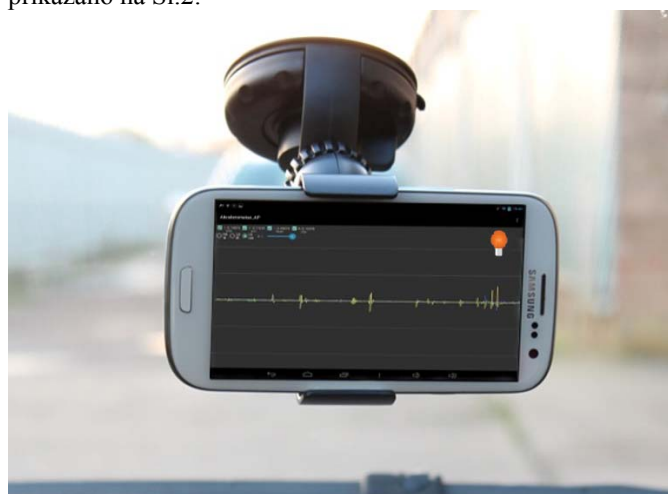
Radi efikasnijeg pregleda dobijenih informacija izračunate vrednosti se na kraju svakog intervala vremena upisuju u KML i CSV fajlove. Korisnik pri pokretanju aplikacije bira koje formate podataka želi da sačuva. KML predstavlja poseban tip XML fajla koji je pogodan za snimanje geolokacionih informacija i njihovo prikazivanje pomoću nekog od GIS alata, na primer Google Earth-a. Svaka lokacija koja će se markerom prikazati na mapi se upisuje u <Placemark> tag u sledećem formatu.

```
<p> lon = 20.28994 </p>
<p> Vreme = 2016-1-23T13:38:28Z </p>
]]>
</description>
</Placemark>
```

Podaci upisani u <description> tag se prikazuju kada se mišom klikne na prikazani marker.

#### IV. MERENJE UDOBNOСТИ U REALNIM USLOVIMA

U realnim uslovima aplikacija je testirana u vozilu Toyota Corolla 2003. godište na relaciji Čačak-Beograd, Srbija. Telefon sa instaliranom android aplikacijom moguće je postaviti na više mesta unutar vozila, a ukoliko se želi meriti nivo vibracija na konkretnom mestu, potrebno je telefon postaviti na tu poziciju. U svrhe testiranja telefon je pričvršćen držačem za navigaciju na vetrobransko staklo što je i prikazano na Sl.2.



Slika 2. Upotreba realizovane aplikacije

Na ovaj način može se i vizuelno pratiti nivo udobnosti preko prikazane sijalice u gornjem desnom uglu ekrana. Zelena boja označava udobnu, narandžasta srednje neudobnu a crvena neudobnu vožnju. Takođe vozač može korigovati stil vožnje da bi povećao nivo udobnosti tokom vožnje. Pri ovakvoj orjentaciji telefona ose akcelerometra su orjentisane na sledeći način. X je u pravcu kretanja, Y bočno a Z vertikalno. Interval proračuna udobnosti je podešen na 10s a izmerene vrednosti su upisivane u KML fajl u memoriji telefona.

Po završenoj vožnji KML fajl je preuzet sa telefona i prikazan pomoću Google Earth programa. Rezultat prikaza izmerenih vrednosti dat je na Sl. 3. Statistika vožnje na relaciji Čačak-Beograd prikazana je u Tabeli III. Prikazani su brojevi udobnih, srednje neudobnih i neudobnih intervala kao i prosečne vrednosti svih izmerenih parametara vožnje.

Na osnovu prikazanih rezultata vidi se da je 50.4 % intervala bilo udobno, 49 % bilo umereno neudobno a da je 0.6 % bilo veoma neudobno. Na osnovu podataka o prosečnim vrednostima RMS-ova po osama vidi se da je z osa (vertikalna) trpela najviše potresa kao posledica neravnina na putu. Takođe

```
<Placemark>
<styleUrl>#normalPlacemark</styleUrl>
<name>17</name>
<Point>
<coordinates>20.28994,43.89619,0</coordinates>
</Point>
<description>
<![CDATA[
<h1>RMSX = 0.1483 G!</h1>
<h1>RMSY= 0.1393 G!</h1>
<h1>RMSZ = 0.3672 G!</h1>

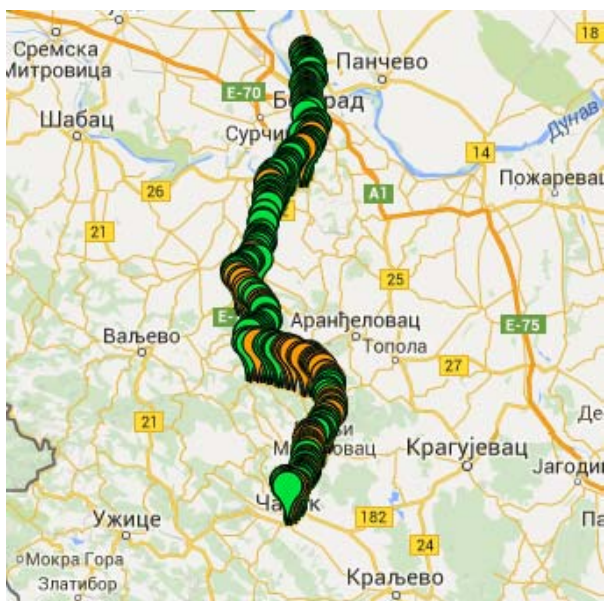
<h1>ARMS = 0.3677 G!</h1>

<h1>APEAK = 1.2891 G!</h1>
<h1>APEAKX = -0.0399 G!</h1>
<h1>APEAKY= 0.3056 G!</h1>
<h1>APEAKZ = 1.2517 G!</h1>

<h1>MAXX = -0.5045 G!</h1>
<h1>MAXY= -0.3756 G!</h1>
<h1>MAXZ = 1.2817 G!</h1>

<p>Brzina = 68.14 km/h, </p>
<p> lat = 43.89619 </p>
```

prosečna vrednost maksimalnog modula ubrzanja po intervalu (APEAK) je dosta visoka, što znači da je u velikom broju intervala u barem jednom odmerku postojao jači potres.



Slika 3. Prikaz kreiranog KML fajla na relaciji Čačak-Beograd, Srbija

TABELA III. STATISTIKA IZMERENIH VREDNOSTI

Naziv	Vrednosti
Ukupan broj intervala	867
Broj udobnih intervala	437
Broj srednje neudobnih intervala	425
Broj neudobnih intervala	5
Prosečne vrednosti za RMSX	0.1258 [m/s <sup>2</sup> ]
Prosečne vrednosti za RMSY	0.129 [m/s <sup>2</sup> ]
Prosečne vrednosti za RMSZ	0.2607 [m/s <sup>2</sup> ]
Prosečne vrednosti za ARMS	0.3202 [m/s <sup>2</sup> ]
Prosečne vrednosti za APEAK	1.0704 [m/s <sup>2</sup> ]
Prosečna brzina	55.51 km/h
Prosečna nadmorska visina	209.76 m

### ZAKLJUČAK

Sistem za merenje udobnosti razvijen u vidu Android aplikacije daje velike prednosti u lakoći primene. Svaki korisnik sa pametnim telefonom može instalirati aplikaciju i uz pravilno postavljen telefon meriti nivo udobnosti prilikom vožnje. Nije potrebno instalirati posebne uređaje koji bi imali ovu ulogu.

Prezentovani sistem može imati veoma veliku upotrebu u raznim kategorijama transporta. Najznačajnija primena može biti u medicinske svrhe, tj. da se prati udobnost prilikom transporta pacijenata u vozilima hitne službe. Upravo ova

primena predstavlja tematiku za dalja istraživanja u cilju poboljšanja uslova transporta pacijenata.

### ZAHVALNICA

Ovaj rad je pisan u okviru realizacije projekta TP 32043 koji je finansiran od strane Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije.

### LITERATURA

- [1] M. J. Griffin, *Handbook of Human Vibration*. 1996.
- [2] "ISO 2631-1:1997 - Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 1: General requirements." [Online]. Available: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csn=7612](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csn=7612). [Accessed: 08-Sep-2015].
- [3] BSI, "BS 6841:1987 Guide to measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock," BSI, 1987.
- [4] "Product: Documentation of the Threshold Limit Values for Physical Agents, 7th Ed.: ACGIH." [Online]. Available: <https://www.acgih.org/forms/store/ProductFormPublic/documentation-of-the-threshold-limit-values-for-physical-agents-7th-ed.> [Accessed: 09-Sep-2015].
- [5] "Directive 2002/44/EC - vibration - Safety and health at work - EU-OSHA." [Online]. Available: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/19>. [Accessed: 09-Sep-2015].
- [6] F. Yi and S. Zhang, "Ride Comfort Simulation under Random Road Based on Multi-Body Dynamics," in *2011 3rd International Workshop on Intelligent Systems and Applications*, 2011, pp. 1–3.
- [7] J. Sun and Q. Yang, "Advanced suspension systems for improving vehicle comfort," in *2009 IEEE International Conference on Automation and Logistics*, 2009, pp. 1264–1267.
- [8] S. A. Abu Bakar, P. M. Samin, and A. A. Azhar, "Modelling and Validation of Vehicle Ride Comfort Model," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 554, pp. 515–519, Jun. 2014.
- [9] J. Ahmad Kadri, W. M. Wan Zuki Azman, M. N. Zulkifli, M. J. M. Nor, A. Kamal Ariffin, and M. Hosseini Fouladi, "A study on the effects of tyre to vehicle acoustical comfort in passenger car cabin," in *2011 3rd International Conference on Computer Research and Development*, 2011, vol. 4, pp. 342–345.
- [10] Z. Jovanovic, R. Bacevic, R. Markovic, and S. Randjic, "Android application for observing data streams from built-in sensors using RxJava," in *2015 23rd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR)*, 2015, pp. 918–921.
- [11] "ReactiveX." [Online]. Available: <http://reactivex.io/>. [Accessed: 05-Oct-2015].

### ABSTRACT

This paper introduces a system for measuring passenger comfort during transport. For this purpose Android application for smart phones with a built-in accelerometer and GPS sensors was developed to measure vibration dose. Assessment of the level of comfort is based on the measurement of vibro comfort according to the standard ISO 2631 with additional calculations of the measured data. For a demonstration of the functionality results of a comfort measurements on relation Čačak-Belgrade, Serbia are presented.

### The mobile system for determination of the level of comfort in a vehicle

Zeljko Jovanovic, Dragan Jankovic, Aleksandar Peulic

