



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ZAVOD ZA INTELIGENTNE TRANSPORTNE SUSTAVE



DETEKCIJA MODOVA PRIJEVOZA ZASNOVANA NA PODACIMA KRETANJA KORISNIKA PROMETNOM MREŽOM

KVALIFIKACIJSKI DOKTORSKI ISPIT

Pristupnik: Martina Erdelić, mag. ing. traff.

Studijski voditelj: prof. dr. sc. Tonči Carić

16. srpanj 2019.

SADRŽAJ

UVOD

- Dnevnik putovanja
- Svrha klasifikacije modova prijevoza

METODOLOGIJA

- Model
- Segmentacija trajektorije
- Klasifikacija modova prijevoza
- Klasifikacija modova prijevoza u stvarnom vremenu

ZAKLJUČAK & BUDUĆE ISTRAŽIVANJE

- Zaključak
- Buduće istraživanje
- Kraj

LITERATURA

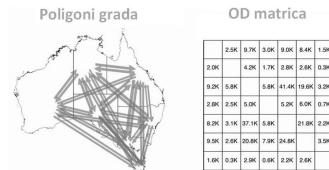
- Literatura

DNEVNIK PUTOVANJA

- Način prikupljanja podataka o ponašanju korisnika tijekom putovanja na prometnoj mreži.
- Dnevnik putovanja mogu uključivati:
 - Digitalnu kartu ruta putovanja, obično GNSS (engl. Global Navigation Satellite System) trajektorije,
 - Dodatne informacije poput spola, starosti korisnika, **moda prijevoza** i drugo.
- Korištenje dnevnika putovanja u prometnim analizama:

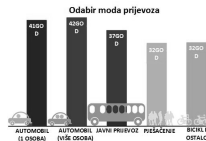
DNEVNIK PUTOVANJA

- Način prikupljanja podataka o ponašanju korisnika tijekom putovanja na prometnoj mreži.
- Dnevnicu putovanja mogu uključivati:
 - Digitalnu kartu ruta putovanja, obično GNSS (engl. Global Navigation Satellite System) trajektorije,
 - Dodatne informacije poput spola, starosti korisnika, **moda prijevoza** i drugo.
- Korištenje dnevnika putovanja u prometnim analizama:



DNEVNIK PUTOVANJA

- Način prikupljanja podataka o ponašanju korisnika tijekom putovanja na prometnoj mreži.
- Dnevnicu putovanja mogu uključivati:
 - Digitalnu kartu ruta putovanja, obično GNSS (engl. Global Navigation Satellite System) trajektorije,
 - Dodatne informacije poput spola, starosti korisnika, **moda prijevoza** i drugo.
- Korištenje dnevnika putovanja u prometnim analizama:



SVRHA KLASIFIKACIJE MODOVA PRIJEVOZA

- Dodatne informacije prikupljaju se vođenjem dodatnog dnevnika.
- Vođenje dodatnog dnevnika pokazalo je niz nedostataka:
 - Netočne informacije zbog lošeg sjećanja korisnika ili nedovoljan odaziv korisnika,
 - Vremenski zahtjevna metoda.

SVRHA KLASIFIKACIJE MODOVA PRIJEVOZA

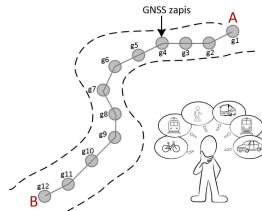
- Dodatne informacije prikupljaju se vođenjem dodatnog dnevnika.
- Vođenje dodatnog dnevnika pokazalo je niz nedostataka:
 - Netočne informacije zbog lošeg sjećanja korisnika ili nedovoljan odaziv korisnika,
 - Vremenski zahtjevna metoda.
- Metode za klasifikaciju modova prijevoza omogućavaju dodjeljivanje moda prijevoza sirovim podacima.

MODEL

- Osnovni zadatak je detekcija korisničkog moda prijevoza na temelju niza GNSS točaka u korisničkoj trajektoriji.

MODEL

- Osnovni zadatak je detekcija korisničkog moda prijevoza na temelju niza GNSS točaka u korisničkoj trajektoriji.



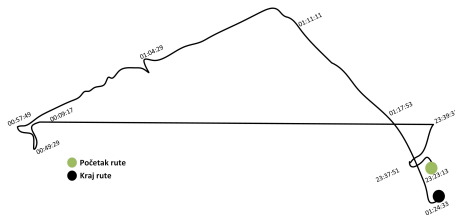
SLIKA: Primjer korisničke GNSS trajektorije

MODEL

- Osnovni zadatak je detekcija korisničkog moda prijevoza na temelju niza GNSS točaka u korisničkoj trajektoriji.
- Određivanje moda prijevoza dijeli se na dva osnovna dijela:
 - Segmentacija trajektorije,
 - Klasifikacija modova prijevoza.

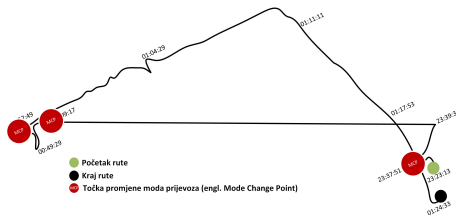
MODEL

- Osnovni zadatak je detekcija korisničkog moda prijevoza na temelju niza GNSS točaka u korisničkoj trajektoriji.
- Određivanje moda prijevoza dijeli se na dva osnovna dijela:
 - Segmentacija trajektorije,



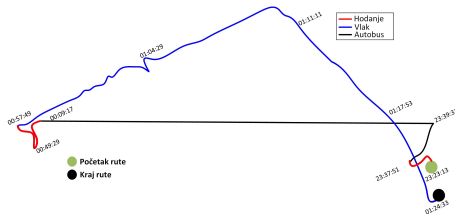
MODEL

- Osnovni zadatak je detekcija korisničkog moda prijevoza na temelju niza GNSS točaka u korisničkoj trajektoriji.
- Određivanje moda prijevoza dijeli se na dva osnovna dijela:
 - Segmentacija trajektorije,



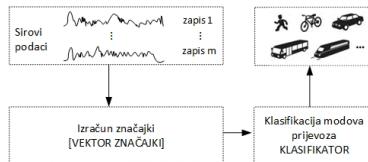
MODEL

- Osnovni zadatak je detekcija korisničkog moda prijevoza na temelju niza GNSS točaka u korisničkoj trajektoriji.
- Određivanje moda prijevoza dijeli se na dva osnovna dijela:
 - Segmentacija trajektorije,



MODEL

- Osnovni zadatak je detekcija korisničkog moda prijevoza na temelju niza GNSS točaka u korisničkoj trajektoriji.
- Određivanje moda prijevoza dijeli se na dva osnovna dijela:
 - Klasifikacija modova prijevoza.



SLIKA: Postupak klasifikacije modova prijevoza

SEGMENTACIJA TRAJEKTORIJE

- Točka promjene moda prijevoza (engl. Mode Transfer Point, MTP) definirana je kao geografska lokacija na kojoj korisnici prometne mreže prelaze iz jednog moda prijevoza u drugi [1].
- Isti autori u [1], definiraju tri tipa MTP:
 - Početak pješaćenja (engl. *Start of Walk*, SoW),
 - Kraj pješaćenja (engl. *End of Walk*, EoW),
 - Kraj perioda bez zapisa o kretanju korisnika (engl. *End of Gap*, EoG).

POSTUPCI PRONALASKA MTP

- Metode za detekciju MTP su uglavnom zasnovane na neizrazitoj logici [2, 3, 4, 1, 5] ili na nizu heurističkih pravila [6, 7].
- Točka koja je uzrokovala aktivaciju pravila smatra se mjestom tranzicije s jednog moda prijevoza u drugi.
- Često pravilo pješačkog segmenta signalizira tranziciju s jednog moda prijevoza u drugi [8].
- Automatsku metodu pronalaska MTP koriste autori u [9], pri čemu problem formuliraju kao problem diskretne optimizacije.

PRAVILO: Ako je brzina manja od 10 km/h 120 ili više sekundi, mod prijevoza je pješaćenje [8].

PRAVILO: Ako je brzina manja od 10 km/h 120 ili više sekundi, mod prijevoza je pješaćenje [8].



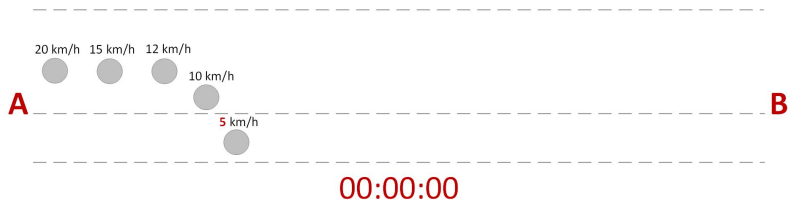
PRAVILO: Ako je brzina manja od 10 km/h 120 ili više sekundi, mod prijevoza je pješaćenje [8].



PRAVILO: Ako je brzina manja od 10 km/h 120 ili više sekundi, mod prijevoza je pješaćenje [8].



PRAVILO: Ako je brzina manja od 10 km/h 120 ili više sekundi, mod prijevoza je pješaćenje [8].



PRAVILO: Ako je brzina manja od 10 km/h 120 ili više sekundi, mod prijevoza je pješaćenje [8].



PRAVILO: Ako je brzina manja od 10 km/h 120 ili više sekundi, mod prijevoza je pješaćenje [8].



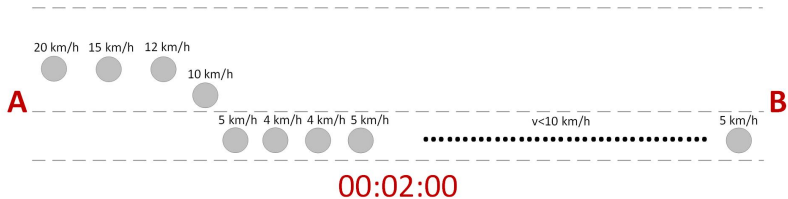
PRAVILO: Ako je brzina manja od 10 km/h 120 ili više sekundi, mod prijevoza je pješaćenje [8].



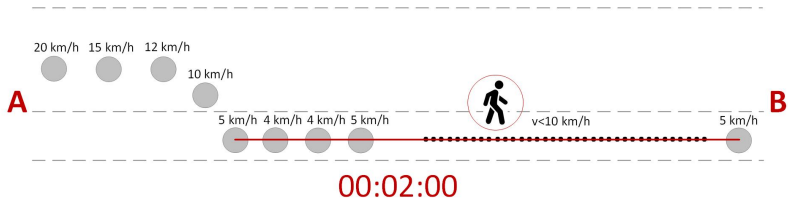
PRAVILO: Ako je brzina manja od 10 km/h 120 ili više sekundi, mod prijevoza je pješaćenje [8].



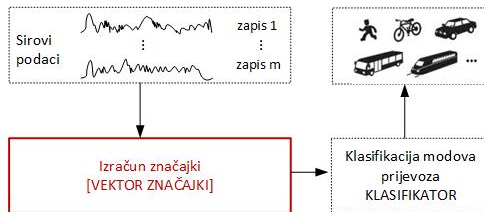
PRAVILO: Ako je brzina manja od 10 km/h 120 ili više sekundi, mod prijevoza je pješaćenje [8].



PRAVILO: Ako je brzina manja od 10 km/h 120 ili više sekundi, mod prijevoza je pješaćenje [8].



ODABIR RELEVANTNIH ZNAČAJKI



ODABIR RELEVANTNIH ZNAČAJKI

- Odabir značajki koje će opisivati ponašanje uzorka.
- Značajke zasnovane na brzini [10, 11] i akceleraciji [12] bitne su za klasifikaciju modova prijevoza.
- Najčešće korištene značajke su prosječna vrijednost, standardna devijacija, mod, medijan, maksimalna i minimalna vrijednost brzine i akceleracije [13, 14].
- Dodatne značajke:

ODABIR RELEVANTNIH ZNAČAJKI

- Odabir značajki koje će opisivati ponašanje uzorka.
- Značajke zasnovane na brzini [10, 11] i akceleraciji [12] bitne su za klasifikaciju modova prijevoza.
- Najčešće korištene značajke su prosječna vrijednost, standardna devijacija, mod, medijan, maksimalna i minimalna vrijednost brzine i akceleracije [13, 14].
- Dodatne značajke:
 - **GNSS podaci:** stupanj promjene brzine, smjera te stajanja u ruti [15].

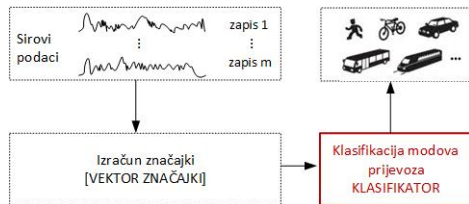
ODABIR RELEVANTNIH ZNAČAJKI

- Odabir značajki koje će opisivati ponašanje uzorka.
- Značajke zasnovane na brzini [10, 11] i akceleraciji [12] bitne su za klasifikaciju modova prijevoza.
- Najčešće korištene značajke su prosječna vrijednost, standardna devijacija, mod, medijan, maksimalna i minimalna vrijednost brzine i akceleracije [13, 14].
- Dodatne značajke:
 - **Podaci s mobilnog uređaja:** stupanj promjene akceleracije [16], L^2 – Norm vektora žiroskopa po x , y , z osi [17].

ODABIR RELEVANTNIH ZNAČAJKI

- Odabir značajki koje će opisivati ponašanje uzorka.
- Značajke zasnovane na brzini [10, 11] i akceleraciji [12] bitne su za klasifikaciju modova prijevoza.
- Najčešće korištene značajke su prosječna vrijednost, standardna devijacija, mod, medijan, maksimalna i minimalna vrijednost brzine i akceleracije [13, 14].
- Dodatne značajke:
 - **Geoprostorni podaci:** udaljenosti do stanice autobusa i stanice vlaka [18].

KLASIFIKACIJA MODOVA PRIJEVOZA



KLASIFIKACIJA MODOVA PRIJEVOZA

- Dva osnovna zadatka klasifikacije modova prijevoza:
 - Odrediti postoji li kretanje korisnika, te u slučaju da se korisnik kreće,
 - Odrediti prijevozno sredstvo koje korisnik koristi za kretanje
- Broj klasa (modova prijevoza) varira između 2 i 6.
 - 2 klase: motorizirani i nemotorizirani mod prijevoza.
 - 6 klasa: klasifikacija između motoriziranih modova prijevoza omogućava detaljnije informiranje o ponašanju korisnika u prometu [19].

METODE KLASIFIKACIJE MODOVA PRIJEVOZA

Tri osnovna pristupa:

1. Samostalan klasifikator

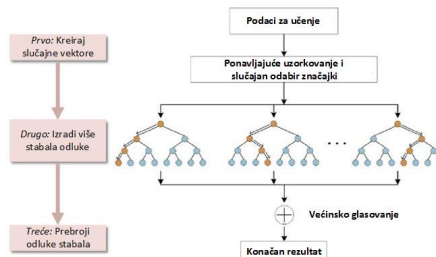
- Među prvim metodama je neizrazita logika [5].
- Najčešće korištene: stabla odluke [10, 18, 20, 21], algoritam k najbližih susjeda [13, 22, 10], naivan Bayesov klasifikator [23, 18, 20].
- Spominju se: neuronske mreže [24, 25], duboke neuronske mreže [26], konvolucijske neuronske mreže [16], metoda potpornih vektora [27].

METODE KLASIFIKACIJE MODOVA PRIJEVOZA

Tri osnovna pristupa:

2. Združeni (engl. ensemble) klasifikatori:

- AdaBoost [28, 13],
- Slučajne šume (engl. Random Forest, RF) [29, 21, 30, 13, 18].



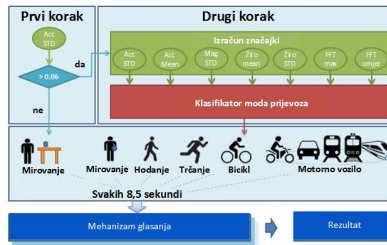
SLIKA: Postupak izrade RF klasifikatora [31]

METODE KLASIFIKACIJE MODOVA PRIJEVOZA

Tri osnovna pristupa:

3. Višeslojna klasifikacija

- Dvije razdvojene faze odlučivanja [28, 19, 32]:
 - 3.1 Odlučivanje kreće li se korisnik motoriziranim ili nemotoriziranim modom prijevoza,
 - 3.2 Odlučivanje o kojem se motoriziranom modu prijevoza radi.



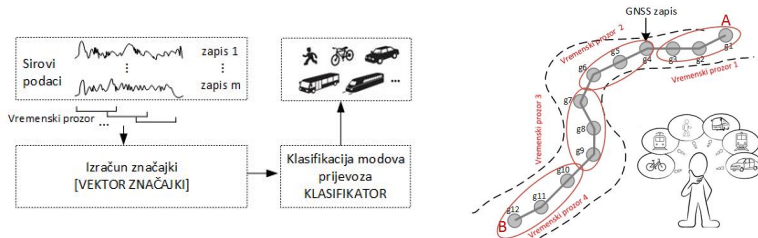
SLIKA: Višeslojna klasifikacija [28]

KLASIFIKACIJA MODOVA PRIJEVOZA U STVARNOM VREMENU

- Potpuna automatizacija prikupljanja podataka.
- Podaci se klasificiraju prema modu prijevoza tijekom prikupljanja podataka.

KLASIFIKACIJA MODOVA PRIJEVOZA U STVARNOM VREMENU

- Potpuna automatizacija prikupljanja podataka.
- Podaci se klasificiraju prema modu prijevoza tijekom prikupljanja podataka.



KLASIFIKACIJA MODOVA PRIJEVOZA U STVARNOM VREMENU

- Potpuna automatizacija prikupljanja podataka.
- Podaci se klasificiraju prema modu prijevoza tijekom prikupljanja podataka.
- Za klasifikaciju modova prijevoza u stvarnom vremenu i prikupljanje podataka najčešće se koriste mobilni uređaji [33, 34, 35, 36].
- **Problem:** utjecaj uključenih senzora na mobilnom uređaju na potrošnju baterije [10, 25, 19, 37, 38, 30, 22].

METODE KLASIFIKACIJE MODOVA PRIJEVOZA U STVARNOM VREMENU

- Metode zasnovane na heurističkim pravilima [20].
- Višerazinski klasifikatori [10, 39]:
 1. Predviđanje moda prijevoza za jedan vremenski prozor klasičnim metodama klasifikacije,
 2. Skrivenim Markovljevim modelom se provjerava vjerojatnost tranzicije modova prijevoza.
- Aktivno učenje - parametri klasifikatora se tijekom prikupljanja podataka ažuriraju [34].

ZAKLJUČAK

Tri su glavna zadatka tijekom detekcije moda prijevoza:

- **Odabir relevantnih značajki:** najčešće se koriste GNSS podaci u kombinaciji s podacima s akcelerometra.
- **Segmentiranje trajektorije:** najzastupljenije metode su metode zasnovane na pravilima.
- **Klasifikacija modova prijevoza:**
 - **Povijesni podaci:** najveću točnost postižu metode temeljene na stablu odluke, osobito metoda slučajne šume.
 - **U stvarnom vremenu:** nakon klasifikacije često se koriste Markovljevi lanci za promatranje vjerojatnosti tranzicije između modova prijevoza.

BUDUĆE ISTRAŽIVANJE

- **Odabir relevantnih značajki:** primjena otvorenih skupova podataka GeoLife [40] i Sussex-Huawei [41].
- **Segmentiranje trajektorije:** primjena automatskih metoda za segmentaciju trajektorije prema modovima prijevoza.
- **Dvorazinska klasifikacija modova prijevoza:**
 - Klasifikacija u stvarnom vremenu,
 - Model aktivnog učenja sastavljen od više klasifikatora s mogućnošću korekcije koeficijenata tijekom testiranja,
 - Markovljevi lanci za ispitivanje vjerojatnosti tranzicije modova prijevoza između vremenskih prozora.

KRAJ

Pitanja?
merdelic@fpz.hr

LITERATURA I

- [1] S. Tsui and A. Shalaby, "Enhanced system for link and mode identification for personal travel surveys based on global positioning systems," *Transportation Research Record*, vol. 1972, pp. 38–45, 01 2006.
- [2] T. K. Rasmussen, J. B. Ingvarsson, K. Halldorsdottir, and O. A. Nielsen, "Improved methods to deduct trip legs and mode from travel surveys using wearable GPS devices: A case study from the Greater Copenhagen area," *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 54, no. Complete, pp. 301–313, 2015.
- [3] N. Schuessler and K. Axhausen, "Processing raw data from global positioning systems without additional information," *Transportation Research Record*, vol. 2105, pp. 28–36, 12 2009.
- [4] N. Schussler, L. Montini, and C. Dobler, "Improving post-processing routines for GPS observations using prompted-recall data," ser. *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, vol. 724. International Steering Committee for Travel Survey Conferences (ISCTSC), 2011, 9th International Conference on Transport Survey Methods; Conference Location: Termas de Puyehue, Chile; Conference Date: November 14-18, 2011.

LITERATURA II

- [5] F. Biljecki, H. Ledoux, and P. van Oosterom, "Transportation mode-based segmentation and classification of movement trajectories," *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 27, no. 2, pp. 385–407, 2013. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/13658816.2012.692791>
- [6] W. Bohte and K. Maat, "Deriving and validating trip purposes and travel modes for multi-day GPS-based travel surveys: A large-scale application in the Netherlands," *Transportation Research Part C-emerging Technologies - TRANSPORT RES C-EMERG TECHNOL*, vol. 17, pp. 285–297, 06 2009.
- [7] E.-H. Chung and A. Shalaby, "A trip reconstruction tool for GPS-based personal travel surveys," *Transportation Planning and Technology*, vol. 28, no. 5, pp. 381–401, 2005. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/03081060500322599>
- [8] Y. Zheng, Y. Chen, Q. Li, X. Xie, and W.-Y. Ma, "Understanding transportation modes based on GPS data for web applications," *ACM Trans. Web*, vol. 4, no. 1, pp. 1:1–1:36, Jan. 2010. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1658373.1658374>

LITERATURA III

- [9] S. Dabiri, C. Lu, K. Heaslip, and C. K. Reddy, "Semi-supervised deep learning approach for transportation mode identification using GPS trajectory data," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, pp. 1–1, 2019.
- [10] S. Reddy, M. Mun, J. Burke, D. Estrin, M. Hansen, and M. Srivastava, "Using mobile phones to determine transportation modes," *ACM Trans. Sen. Netw.*, vol. 6, no. 2, pp. 13:1–13:27, Mar. 2010. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1689239.1689243>
- [11] L. Shen and P. R. Stopher, "Review of GPS travel survey and GPS data-processing methods," *Transport Reviews*, vol. 34, no. 3, pp. 316–334, 2014. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/01441647.2014.903530>
- [12] T. Nick, E. Coersmeier, J. Geldmacher, and J. Goetze, "Classifying means of transportation using mobile sensor data," in *The 2010 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, July 2010, pp. 1–6.
- [13] Z. Xiao, Y. Wang, K. Fu, and F. Wu, "Identifying different transportation modes from trajectory data using tree-based ensemble classifiers," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 6, p. 57, 02 2017.

LITERATURA IV

- [14] L. Gong, R. Kanamori, and T. Yamamoto, "Data selection in machine learning for identifying trip purposes and travel modes from longitudinal GPS data collection lasting for seasons," *Travel Behaviour and Society*, vol. 11, pp. 131 – 140, 2018. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214367X1730039X>
- [15] Y. Zheng, X. Xie, and W.-Y. Ma, "Understanding mobility based on GPS data," September 2008. [Online]. Available: <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/understanding-mobility-based-on-gps-data/>
- [16] S. Dabiri and K. Heaslip, "Inferring transportation modes from GPS trajectories using a convolutional neural network," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 86, pp. 360–371, 2018. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X17303509>
- [17] H. R. Eftekhari and M. Ghatee, "An inference engine for smartphones to preprocess data and detect stationary and transportation modes," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 69, pp. 313 – 327, 2016. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X16300730>

LITERATURA V

- [18] L. Stenneth, O. Wolfson, P. S. Yu, and B. Xu, "Transportation mode detection using mobile phones and GIS information," in *Proceedings of the 19th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, ser. GIS '11. New York, NY, USA: ACM, 2011, pp. 54–63. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/2093973.2093982>
- [19] S. Hemminki, P. Nurmi, and S. Tarkoma, "Accelerometer-based transportation mode detection on smartphones," in *Proceedings of the 11th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, ser. SenSys '13. New York, NY, USA: ACM, 2013, pp. 13:1–13:14. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/2517351.2517367>
- [20] J. van Dijk, "Identifying activity-travel points from GPS-data with multiple moving windows," *Computers Environment and Urban Systems*, 02 2018.
- [21] M. A. Shafique and E. Hato, "Use of acceleration data for transportation mode prediction," *Transportation*, vol. 42, no. 1, pp. pp. 163–188, 2015.

LITERATURA VI

- [22] A. C. Prelipcean, G. Gidófalvi, and Y. O. Susilo, "Meili: A travel diary collection, annotation and automation system," *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 70, pp. 24 – 34, 2018. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0198971517305240>
- [23] T. Bantis and J. Haworth, "Who you are is how you travel: A framework for transportation mode detection using individual and environmental characteristics," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 80, pp. 286–309, 07 2017.
- [24] Y.-J. Byon, B. Abdulhai, and A. S. Shalaby, "Impact of sampling rate of GPS-enabled cell phones on mode detection and GIS map matching performance," Tech. Rep., 2007.
- [25] P. A. Gonzalez, J. S. Weinstein, S. J. Barbeau, M. A. Labrador, P. L. Winters, N. L. Georggi, and R. Perez, "Automating mode detection for travel behaviour analysis by using global positioning systems enabled mobile phones and neural networks," *IET Intelligent Transport Systems*, vol. 4, no. 1, pp. 37–49, March 2010.

LITERATURA VII

- [26] H. Wang, G. LIU, J. DUAN, and L. Zhang, "Detecting transportation modes using deep neural network," *IEICE Transactions on Information and Systems*, vol. E100.D, pp. 1132–1135, 05 2017.
- [27] L. Zhang, S. Dalyot, D. Eggert, and M. Sester, "Multi-stage approach to travel-mode segmentation and classification of GPS traces," *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XXXVIII-4/W25, 08 2012.
- [28] M.-C. Yu, T. Yu, S.-C. Wang, C.-J. Lin, and E. Y. Chang, "Big data small footprint: The design of a low-power classifier for detecting transportation modes," *Proc. VLDB Endow.*, vol. 7, no. 13, pp. 1429–1440, Aug. 2014. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.14778/2733004.2733015>
- [29] A. Jahangiri and H. Rakha, "Applying machine learning techniques to transportation mode recognition using mobile phone sensor data," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, pp. 1–12, 10 2015.
- [30] T. Sonderer, "Detection of transportation mode solely using smartphones," 2016.

LITERATURA VIII

- [31] L. Cheng, X. Chen, J. D. Vos, X. Lai, and F. Witlox, "Applying a random forest method approach to model travel mode choice behavior," *Travel Behaviour and Society*, vol. 14, pp. 1 – 10, 2019. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214367X18300863>
- [32] P. Siirtola and J. Rönning, "Recognizing human activities user-independently on smartphones based on accelerometer data," *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, vol. 1, no. 5, pp. 38–45, 06/2012 2012. [Online]. Available: http://www.ijimai.org/journal/sites/default/files/IJIMAI20121_5_5.pdf
- [33] C. D. Cottrill, F. C. Pereira, F. Zhao, I. F. Dias, H. B. Lim, M. E. Ben-Akiva, and P. C. Zegras, "Future mobility survey: Experience in developing a smartphone-based travel survey in Singapore," *Transportation Research Record*, vol. 2354, no. 1, pp. 59–67, 2013. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3141/2354-07>

LITERATURA IX

- [34] A. C. Prelipcean, G. Gidofalvi, and Y. O. Susilo, "Mobility collector," *Journal of Location Based Services*, vol. 8, no. 4, pp. 229–255, 2014. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/17489725.2014.973917>
- [35] K. T. Geurs, T. Thomas, M. Bijlsma, and S. Douhou, "Automatic Trip and Mode Detection with Move Smarter: First Results from the Dutch Mobile Mobility Panel," *Transportation Research Procedia*, vol. 11, pp. 247 – 262, 2015, transport Survey Methods: Embracing Behavioural and Technological Changes Selected contributions from the 10th International Conference on Transport Survey Methods 16-21 November 2014, Leura, Australia. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146515003130>
- [36] L. Montini, S. Prost, J. Schrammel, N. Rieser-Schussler, and K. W. Axhausen, "Comparison of travel diaries generated from smartphone data and dedicated GPS devices," *Transportation Research Procedia*, vol. 11, pp. 227 – 241, 2015, transport Survey Methods: Embracing Behavioural and Technological Changes Selected contributions from the 10th International Conference on Transport Survey Methods 16-21 November 2014, Leura, Australia. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146515003117>

LITERATURA X

- [37] A. Bloch, R. Erdin, S. Meyer, T. Keller, and A. Spindler, "Battery-efficient transportation mode detection on mobile devices," in *2015 16th IEEE International Conference on Mobile Data Management*, vol. 1, June 2015, pp. 185–190.
- [38] X. Su, H. Caceres, H. Tong, and Q. He, "Online travel mode identification using smartphones with battery saving considerations," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 17, no. 10, pp. 2921–2934, Oct 2016.
- [39] P. Nitsche, P. Widhalm, S. Breuss, N. Brändle, and P. Maurer, "Supporting large-scale travel surveys with smartphones – a practical approach," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 43, pp. 212 – 221, 2014, special Issue with Selected Papers from Transport Research Arena.
- [40] Y. Zheng, X. Xie, and W. Y. Ma, "Geolife: A collaborative social networking service among user, location and trajectory," *IEEE Data(base) Engineering Bulletin*, June 2010. [Online]. Available: <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/geolife-a-collaborative-social-networking-service-among-user-location-and-trajectory/>

LITERATURA XI

- [41] H. Gjoreski, M. Ciliberto, L. Wang, F. J. Ordonez Morales, S. Mekki, S. Valentin, and D. Roggen, "The University of Sussex-Huawei Locomotion and Transportation Dataset for Multimodal Analytics With Mobile Devices," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 42 592–42 604, 2018.