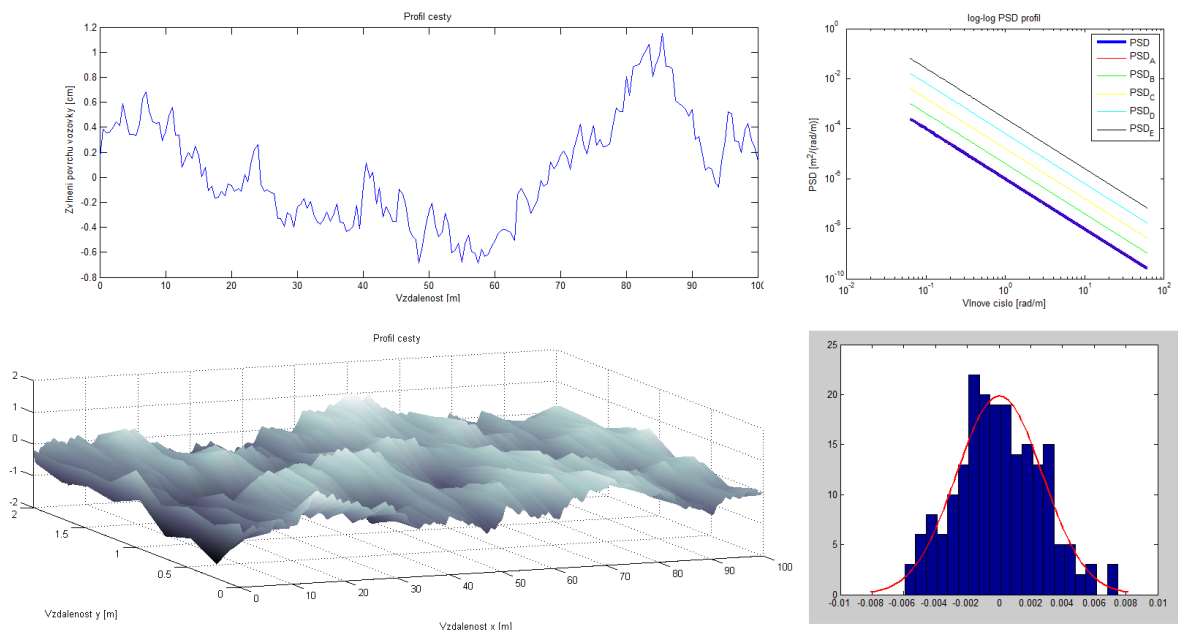




Random Road v.01



Apollo ID: 160050

Datum: 19. 11. 2019

Typ projektu: R – software

Autoři: Ing. Tomáš Mauder, Ph.D.
doc. Ing. Petr Porteš, Ph.D.

Popis funkce

Software Random Road generuje náhodné nerovnosti vozovky na základě výkonové spektrální hustoty (power spectral density - PSD). Program je určen pro podporu simulací jízdy vozidla po nerovné vozovce.

Protože se velice často objevuje model auta v programovém prostředí MATLAB, byl i program Random Road vytvořen v programu MATLAB.

Vytvořený generátor je vytvořen pro tři nejčastěji využívané případy:

- 1D – jednostopé vozidlo,
- 1D – čtyřstopé vozidlo,
- 2D – povrch.

Popis algoritmu

Nerovnost podélného profilu vozovky v jedné stopě se považuje za stacionární ergodickou funkci s hustotou normálního rozdělení pravděpodobnosti při střední hodnotě $\mu = 0$. Na statistický popis vozovky se nejběžněji v současné době používá výkonová spektrální hustota

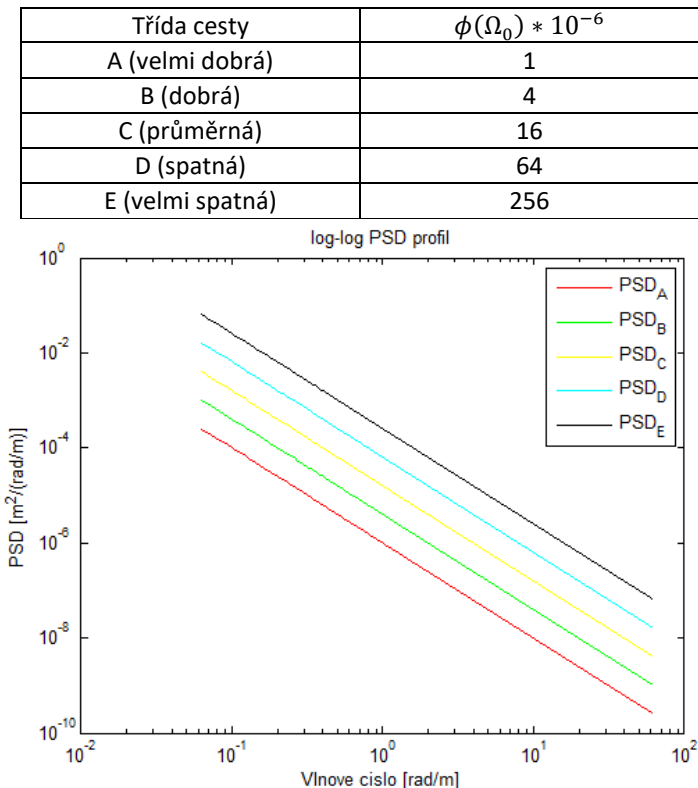
$$\phi(\Omega) = \phi(\Omega_0) \left(\frac{\Omega}{\Omega_0}\right)^{-w},$$

která zobrazuje rozdělení celkového výkonu náhodného procesu podle jednotlivých frekvencí.

$\Omega_0 = 1$ rad/m je referenční dráhová úhlová frekvence

w je parametr vlnivosti (nejčastěji $1,5 < w < 3$), například pro $\Omega < \Omega_0$ $w = 2$ a pro $\Omega \geq \Omega_0$ $w = 1,5$

$\phi(\Omega_0)$ je hodnota výkonové spektrální hustoty v referenčním bodě (podle normy ISO 8608)



Obr. 1 Spektrální hustota nerovností vozovky

Při numerické simulaci potřebujeme na základě známé hodnoty výkonové spektrální hustoty generovat náhodný podélný profil jízdní dráhy. To je možné pomocí vztahu

$$z(x) = \sum_{i=1}^N \sqrt{2\phi(\Omega_i)\Delta\Omega} \sin(\Omega_i x - \psi_i).$$

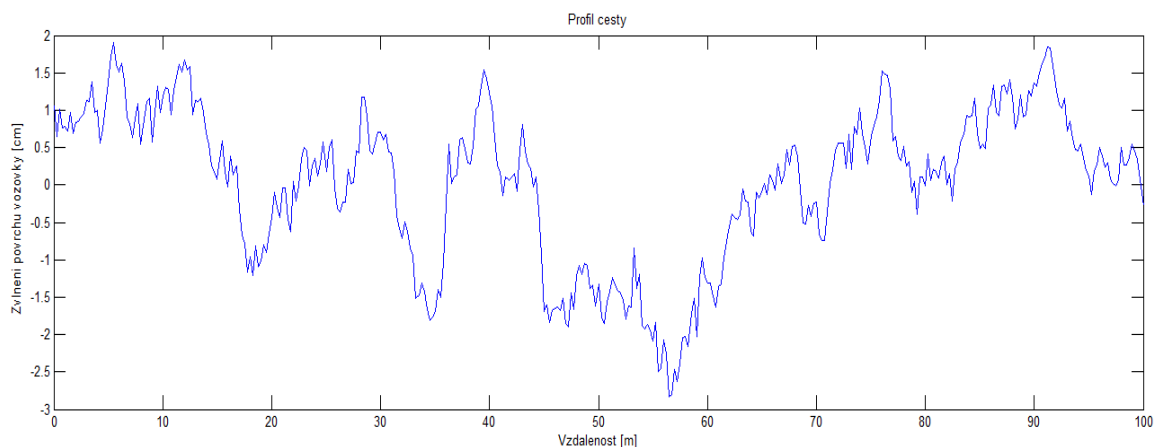
x je podélná vzdálenost v metrech

$\Delta\Omega = \frac{\Omega_N - \Omega_1}{N}$ je inkrement úhlové frekvence

ψ_i je náhodně rozdělený úhel fázového posunutí podle rovnoměrného rozdělení pravděpodobnosti v intervalu $\langle 0; 2\pi \rangle$.

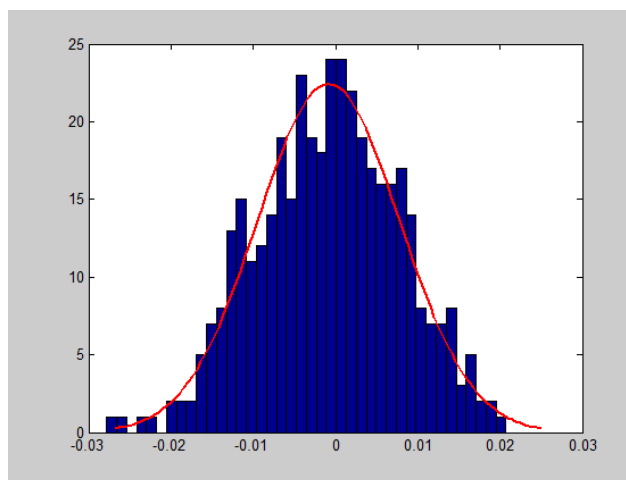
Nerovnosti pod jedním kolem v jedné stopě

Například pro simulaci $L = 100$ metrů jízdní dráhy pro $\Omega_1 = 0,063$ rad/m, $\Omega_N = 62$ rad/m, $w = 2$, $\phi(\Omega_0) = 10 \cdot 10^{-6}$, $\Delta\Omega = \frac{1}{L}$ můžeme vidět na obrázku 2



Obr. 2 Zvlnění povrchu vozovky pro vzorové parametry

Ověření, zda náhodný profil jízdní dráhy odpovídá svým rozložením normálnímu rozdělení pravděpodobnosti se střední hodnotou rovnou nule, můžeme provést pomocí Pearsonova testu dobré shody. Grafický výsledek je potom na obrázku 3.



Obr. 3 Histogram rozdělení nerovností vygenerované vozovky

Nerovnosti pod dvěma koly v téže stopě

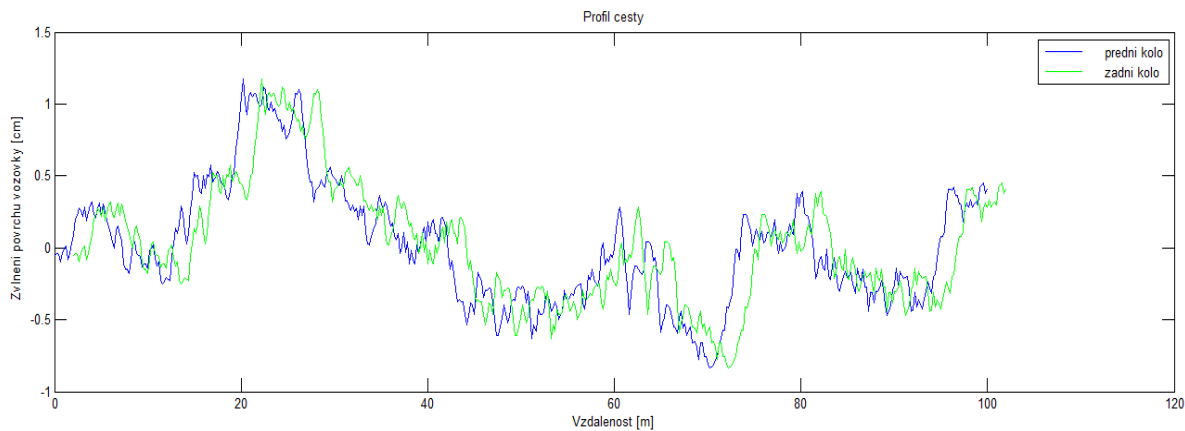
V případě nerovnosti pod dvěma koly v téže stopě jsou nerovnosti vozovky v podstatě pouze posunuty o vzdálenost mezi koly d (rozvor), tedy

$$z_z(x) = z_p(x - d)$$

$z_p(x)$ je nerovnost pod předním kolem

$z_z(x)$ je nerovnost pod zadním kolem

viz obrázek 4, kde $d = 2$ m.



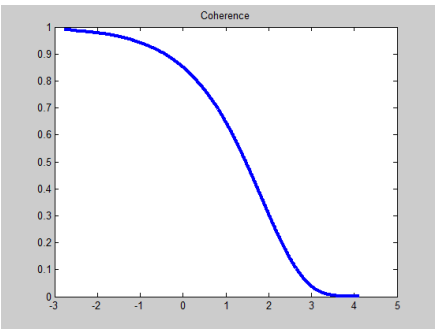
Obr. 4 Nerovnosti vozovky pod předním a zadním kolem (rozvor $d = 2$ m)

Nerovnosti na levé a pravé straně téže nápravy

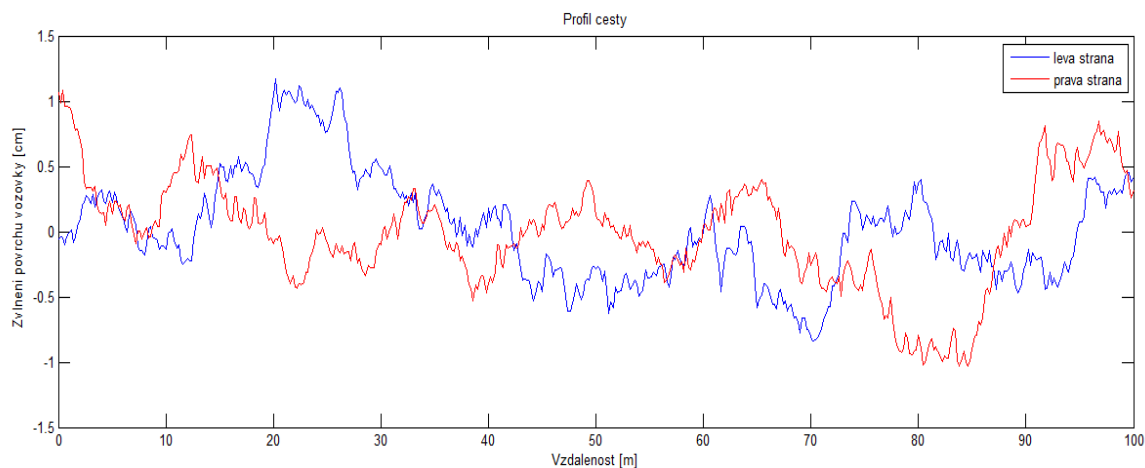
Při popisu nerovnosti pravé a levé strany téže nápravy je nutné znát spektrální hustoty nerovnosti pod levým a pravým kolem a jejich vzájemné spektrální hustoty. Korelaci dvou vstupních signálů $z_p(x)$ a $z_l(x)$ určuje tzv. koherenční funkce. Koherenční funkce je exponenciálně snižující se funkce se přibývajícím vzdáleností mezi koly B . Vztah mezi levým a pravým kolem můžeme vyjádřit pomocí fázového posunutí

$$\psi_l = rand(0; 2\pi),$$
$$\psi_r = \frac{e^{-B\Omega^{1,5}}}{\sqrt{1 - e^{-B\Omega^{1,5}}} + e^{-B\Omega^{1,5}}} \psi_l + \frac{\sqrt{1 - e^{-B\Omega^{1,5}}}}{\sqrt{1 - e^{-B\Omega^{1,5}}} + e^{-B\Omega^{1,5}}} rand(0; 2\pi).$$

Koherenční funkce je na obrázku 5. Pro $B = 1$ metr je výsledek nerovnosti vozovky pro pravé a levé kolo na obrázku 6.



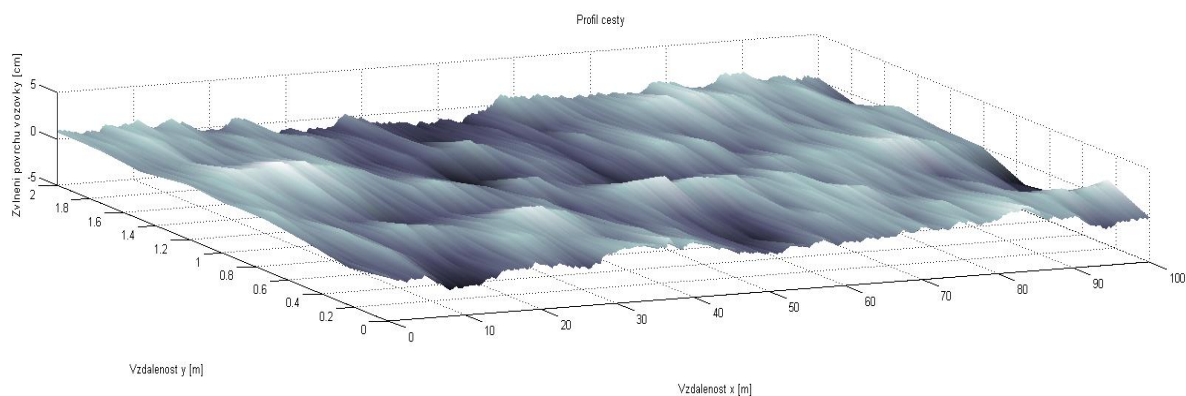
Obr. 5 Koherenční funkce



Obr. 6 Nerovnosti vozovky pro pravé a levé kolo (rozchod kol B = 1 m)

Nerovnosti pro 2D případ

Při popisu nerovnosti v ose x a y můžeme použít stejný přístup jako v předešlém případě. Výsledkem je pak nerovnost jako funkce souřadnic $z(x, y)$. Výsledek nerovnosti jízdní dráhy pro 2D případ je potom na obrázku 7.



Obr. 7 Nerovnosti vozovky ve 2D

Technické a programové požadavky

Hardwarové nároky jsou stanoveny náročností programu MATLAB. Softwarové požadavky: MATLAB verze R2007 a vyšší.

Popis použití

Program je rozdělen do třech adresářů

1. Road_1D
2. Road_1D_4wheel
3. Road_2D

Architektura je potom ve všech případech identická:

Road_main.m je hlavní funkce, která volá jednotlivé .m-soubory

- graphs zobrazí po výpočtu grafy PSD a povrchu vozovky (popř. proložení normálním rozdělením pravděpodobnosti) (výchozí hodnota 1)
- repeat je počet opakovaných generování vozovky (výchozí hodnota 1)

Road.m definuje parametry cesty

- road.type přiřadí hodnotu výkonové spektrální hustoty v referenčním bodě (kvalita vozovky)
- road.omega0 je referenční dráhová úhlová frekvence (výchozí hodnota 1 rad/m)
- road.omega1 je minimální dráhová úhlová frekvence
- road.omega2 je maximální dráhová úhlová frekvence
- road.omega_cut ořezává dráhovou úhlovou frekvenci
- road.wL je parametr vlnivosti pro dlouhé vlny (výchozí hodnota 2)
- road.wS je parametr vlnivosti pro krátké vlny (výchozí hodnota 2)
- road.L1 začátek cesty
- road.L2 konec cesty
- road.N počet vzorků na 1 metr cesty
- road.M počet rozdělení dráhové úhlové frekvence (výchozí hodnota road.omega1:1/(road.L2 - road.L1):road.omega2)

v případě Road_1D_4wheel

- road.B vzdálenost mezi koly levá-pravá (m)
- road.Lcar vzdálenost mezi koly přední-zadní (m)

v případě Road_2D

- road.L1_y začátek krajnice v ose y
- road.L2_y konec krajnice v ose y
- road.N_y počet vzorků na 1 metr šířky cesty ve směru osy y

Road_PSD.m vytváří výkonovou spektrální hustotu

Road_creation_1D.m generuje nerovnosti vozovky

Road_normality_test.m spouští Pearsonův test dobré shody

Výsledky se ukládají ve formátu

0	vzdálenost y
vzdálenost x	nerovnost povrchu z

0	-0.0006	0.0107	2.0000	-0.0006	0.0107
0.2000	-0.0004	0.0099	2.2000	-0.0004	0.0099
0.4000	-0.0005	0.0108	2.4000	-0.0005	0.0108
0.6000	-0.0010	0.0096	2.6000	-0.0010	0.0096
0.8000	-0.0004	0.0096	2.8000	-0.0004	0.0096
***	***	***	***	***	***

a to do formátu `road_output.dat` jako textový soubor a do formátu `road_output.mat` jako soubor pro další zpracování v programu MATLAB

Vazba na projekty

Výzkum výpočtových a experimentálních metod v oblasti mobilních systémů, zahájení: 01.01.2017, ukončení: 31.12.2019 (FSI-S-17-4104)

Licenční podmínky

Využití výsledku jiným subjektem je možné bez nabytí licence.

Kontaktní osoba

Ing. Tomáš Mauder, Ph.D. mauder@fme.vutbr.cz

doc. Ing. Petr Porteš, Ph.D. portes@fme.vutbr.cz

Stažení a používání software

Software je možné stáhnout na <http://www.uadi.fme.vutbr.cz/vyzkum-produkty-vav>

Literatura

- [1] FARHANG, Jalilian. Investigation of Power Harvesting Potential from Vehicle Suspension Systems Master thesis, Department of Electrical and Computer Engineering 2011.
- [2] HONGBIN, Ren, Chen SIZHONG, Wu ZHICHENG. Model of excitation of random road profile in time domain for a vehicle with four wheels. Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC), 2011 International Conference, DOI: 10.1109/MEC.2011.6025960, 978-1-61284-719-1
- [3] SCHIEHLEN, Werner. White noise excitation of road vehicle structures. Sadhana. Vol. 31, Part 4, August 2006, pp. 487–503. © Printed in India, DOI 10.1007/BF02716788, ISSN 0256-2499
- [4] RANDRIATEFISON, Nirilalaina. Modelling in 2D the roughness of the roads in the equation of the vehicle movement. HEP-MAD 11 5th High - Energy Physics International Conference In Madagas car 25 - 31th august 2011 Antananarivo.
- [5] MÚČKA, Peter. Longitudinal Road Profile Spectrum Approximation by Split Straight Lines. Journal of Transportation Engineering-ASCE, Vol. 138, 2012, No. 2, pp 243-251. DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000314.
- [6] DUTTA, Saikat, Sangolla NARAHARI, Goutam CHAKRABORTY. Semi-active vibration isolation of a quarter car model under random road excitations using Magnetorheological damper. Proceedings of the 1st International and 16th National Conference on Machines and Mechanisms (iNaCoMM2013), IIT Roorkee, India, Dec 18-20 2013.
- [7] TYAN, Feng, Yu-Fen HONG, Shun-Hsu TU, Wes S. JENG. Generation of Random Road Profiles. CSME-1373
- [8] FENG Jun, Xinjie ZHANG, Konghui GUO, Fangwu MA, and Hamid REZA. A Frequency Compensation Algorithm of Four-Wheel Coherence Random Road. Karimathematical Problems in Engineering Volume 2013 (2013), Article ID 986584, 12 pages.

Prohlašuji, že popsaný výsledek naplňuje definici uvedenou v aktuální Metodice hodnocení výsledku výzkumu, experimentálního vývoje a inovací, a že jsem si vědom důsledku plynoucích z porušení § 14 zákona č. 130/2002 Sb. (ve znění platném od 1. července 2009). Prohlašuji rovněž, že na požádání předložím technickou dokumentaci výsledku.

V Brně dne 19.11.2019.

Ing. Tomáš Mauder, Ph.D.

