

# Generování multivariantních časových řad pro HIL simulace

Michal Křepelka <michal.krepelka@tul.cz>, Jiří Vraný, Pavel Satrapa

## Cíle práce

Cílem práce je generování multivariantních časových řad pro HIL simulaci jízdy automobilu:

- rychlostní profil
- tlak v brzdách
- procento stlačení plynového pedálu
- zařazený rychlostní stupeň
- otáčky motoru

## Úvod

Integrační testování je důležitou součástí vývoje automobilu. Testování v terénu, kdy se testovaná komponenta fyzicky připojí do automobilu, se kterým se provádí testovací jízdy, je časově, personálně a finančně náročné a umožňuje testovat omezené množství scénářů. Trendem v automobilovém průmyslu jsou podle [1] koncepty Hardware-in-the-loop (HIL) a Digital Twin (DT), které umožňují vytváření simulací, a tím řeší zmíněné problémy.

Pro simulace využívané v rámci HIL a DT je potřeba generovat syntetická data. Tato práce se zaměřuje na digitalizaci integračního testování komponent jako jsou počítače v přístrojové desce a řídicí jednotky. Jednotlivé komponenty jsou propojeny prostřednictvím Controller Area Network (CAN) sběrnice, a tedy se práce věnuje generování dat posílaných po CAN sběrnici. Zadaný problém je definován jako generování multivariantních časových řad vhodných pro HIL nebo DT.

## Metodika

Pro rychlostní model [2] byl na záznamech jízd proveden map-matching pomocí Open Source Routing Machine (OSRM). Dále byla přidána geografická data z OpenStreetMap (OSM) doplněná o elevaci a sklon vozovky.

Pro predikci rychlosti byl testován OSRM model a model založený na obousměrné Long-Short Term Memory (LSTM) neuronové síti.

Modely pro atributy závislé na rychlosti [3] byly natrénovány na surovém datasetu. Dva typy modelů: Multilayer Perceptron (MLP) a LSTM.

## Výsledky

Cílem rychlostního modelu byla jeho realističnost, pro kterou OSRM model nesplňoval objektivní kritéria. Pro LSTM model provedeno navíc subjektivní hodnocení, při kterém testeři (23 dobrovolníků provedlo 443 srovnání) nedokázali rozlišit reálně naměřenou rychlost od syntetické (Tab. 1).

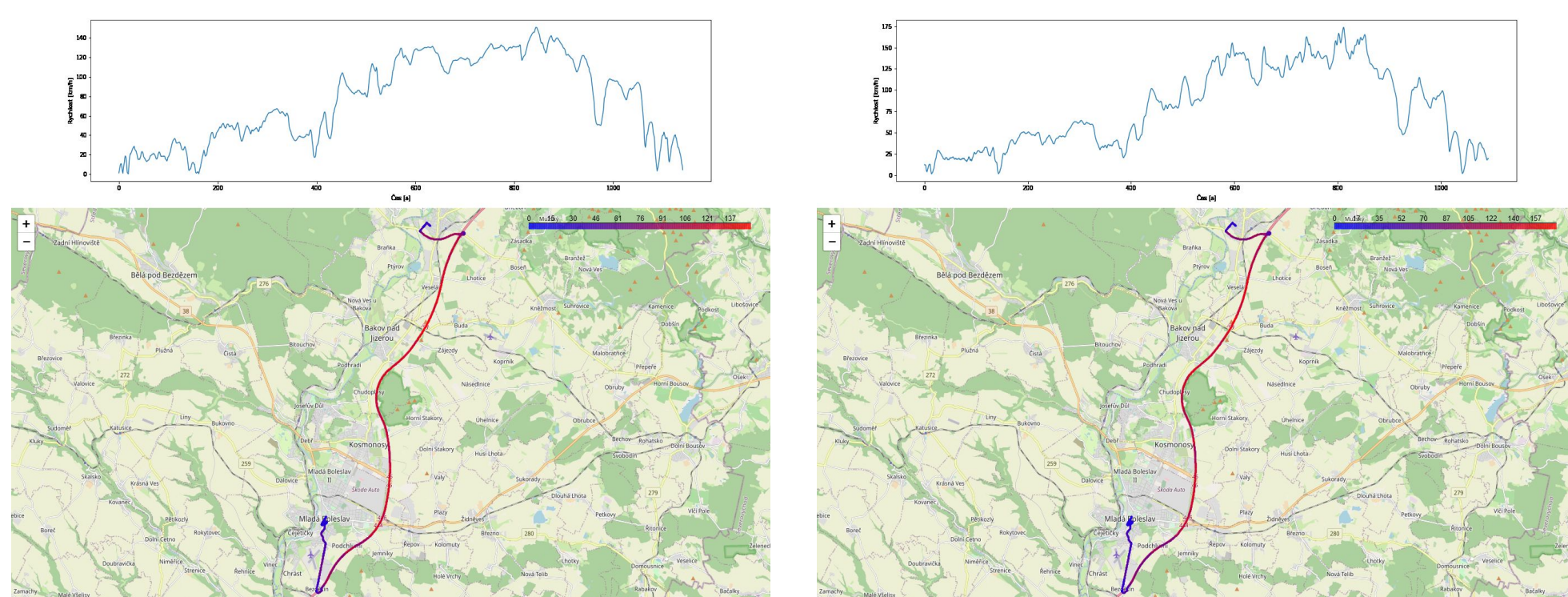
Truth/Prediction	Real	Synthetic
Real	123	109
Synthetic	101	114

Tab. 1. Matice záměn z [2]

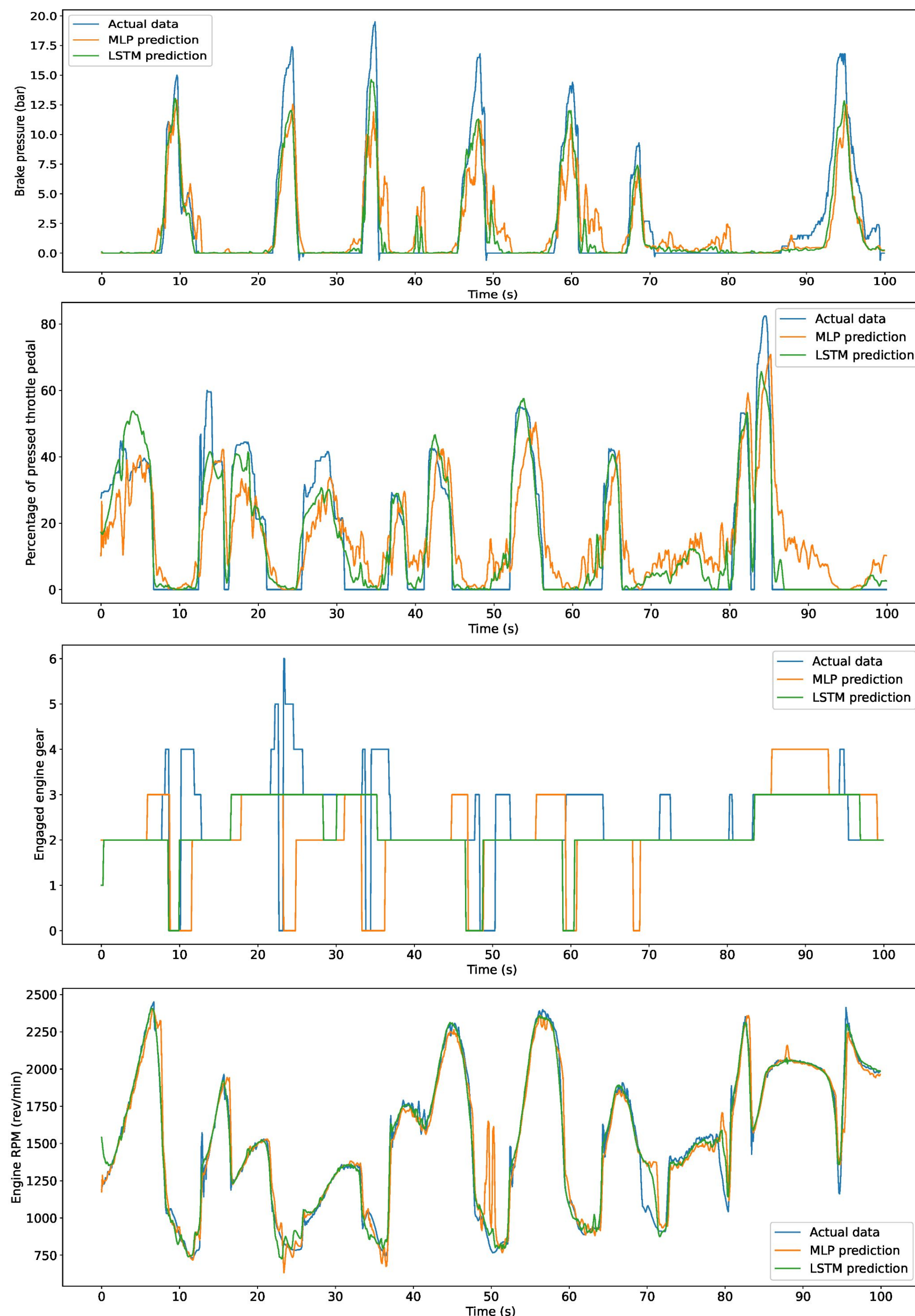
LSTM modely pro atributy závislé na rychlosti byly ve všech případech lepší než MLP modely a to jak pro Mean Absolute Error (MAE) a Root Mean Squared Error (RMSE) (Tab. 2).

	Brake		Throttle		Gear		RPM	
	MLP	LSTM	MLP	LSTM	MLP	LSTM	MLP	LSTM
RMSE	1,869	1,380	14,824	8,618	1,020	0,680	90,520	54,138
MAE	0,845	0,567	11,138	5,731	0,540	0,244	41,074	27,787

Tab. 2. MAE a RMSE z [3]



Obr. 1. Vlevo naměřená rychlost, vpravo predikovaná z [2]



Obr. 2. Featury závislé na rychlosti z [3]

## Závěr

V rámci výzkumu se podařilo vytvořit zadané modely strojového učení vhodné pro použití v HIL simulacích, které nahradí testování v terénu. LSTM model rychlostního profilu je dostatečně realistický, aby ho operátor testovací platformy nedokázal odlišit od reálně naměřeného rychlostního profilu. LSTM modely dobře predikují CAN atributy závislé na rychlosti.

## Reference

- [1] IBRAHIM, Mahmoud et al. Overview on Digital Twin for Autonomous Electrical Vehicles Propulsion Drive System. Sustainability. 2022, roč. 14, č. 2. issn 2071-1050. Dostupné z doi: [10.3390/su14020601](https://doi.org/10.3390/su14020601).
- [2] VRANY, Jiri, Michal KREPELKA a Matej CHUMLEN. Generating Synthetic Vehicle Speed Records Using LSTM. In: MAGLOGIANNIS, Ilias et al. (ed.). Artificial Intelligence Applications and Innovations. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023, s. 125–136. isbn 978-3-031-34111-3. Dostupné z doi: [10.1007/978-3-031-34111-3\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-031-34111-3_12).
- [3] KREPELKA, Michal a Jiri VRANY. Synthesizing Vehicle Speed-Related Features with Neural Networks. Vehicles. 2023, roč. 5, č. 3, s. 732–743. issn 2624-8921. Dostupné z doi: [10.3390/vehicles5030040](https://doi.org/10.3390/vehicles5030040).

## Poděkování

Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2023 a Technologickou agenturou ČR projektem CK02000136 "Virtual Convoy - komplexní prostředí pro testování komunikačních systémů CAR2X".

