



## Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

**APVV-19-0401**

**Digitálne dvojča vozidla s podporou umelej inteligencie pre autonómne dopravné prostriedky**

Zodpovedný riešiteľ **doc. Ing. Lubos Magdolen, PhD.**

Príjemca

**Slovenská technická univerzita v Bratislave - Strojnícka fakulta**

### Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Slovenská technická univerzita v Bratislave, Vazovova 5, 812 43 Bratislava

Hlavné pracovisko:

Strojnícka fakulta STU v Bratislava, Nám. slobody 17, 81231 Bratislava

Druhé pracovisko:

Fakulta informatiky a informačných technológií, Ilkovičova 6276/2, 842 16 Bratislava 4

### Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Zahraničné pracovisko nespoložovalo.

### Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

Podané patentové prihlášky 3, úžitkové vzory 3 - už platné:

1. ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ Česká republika, Poradové číslo: D23053366, Spisová značka: PV 2023-250, Název: Mechanismus pro polohování zubů při měření drsnosti ozubeného kola, způsob měření drsnosti na zubech ozubeného kola, Datum podania 27.06.2023

2. ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ Česká republika, Poradové číslo: D23053304, Spisová značka: PV 2023-248, Název: Mechanismus pro polohování ozubených kol při měření drsnosti, Datum podania 27.06.2023

3. ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ Česká republika, Poradové číslo: D23053182, Spisová značka: PV 2023-247, Název: Zařízení pro polohování kol při měření drsnosti, zejména při měření drsnosti ozubených kol, způsob opakovaného měření drsnosti, Datum podania 27.06.2023

Zapísané úžitkové vzory (platné)

1. ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ Česká republika, UŽITNÝ VZOR číslo 37322, Číslo přihlášky: 2023-41106, Název: Zařízení pro polohování kol při měření drsnosti, zejména při měření drsnosti ozubených kol

2. ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ Česká republika, UŽITNÝ VZOR číslo 37311, Číslo přihlášky: 2023-41109, Název: Mechanismus pro polohování zubů při měření drsnosti ozubeného kola

3. ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ Česká republika, UŽITNÝ VZOR číslo 37310, Číslo přihlášky: 2023-41108, Název: Mechanismus pro polohování ozubených kol při měření drsnosti

### **Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače**

M Galinski, G Bartosik, J Danko, M Dlugosz, M Janeba, P Lehoczyk, D Marchewka, T Milesich, P Siwek, P Skruch: The Influence of the Relative Vehicles Speed on the Environmental Perception-Tests on Slovakia Ring, In: Pawelczyk, M., Bismor, D., Ogonowski, S., Kacprzyk, J. (eds) Advanced, Contemporary Control. PCC 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 709, Springer, Cham., doi: 10.1007/978-3-031-35173-0\_23

M Janeba, M Galinski, P Lehoczyk, T Milesich, J Danko, L Magdolen: Evaluating Slovak Roads for Vehicle-to-Everything Communication 3GPP Requirements, In: Pawelczyk, M., Bismor, D., Ogonowski, S., Kacprzyk, J. (eds) Advanced, Contemporary Control. PCC 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 709, Springer, Cham., doi: 10.1007/978-3-031-35173-0\_39

Marek Galinski; Ivan Jatz; Lukas Soltes: Head-On Collision Avoidance Using V2X Communication, 65th International Symposium ELMAR, September 2023, pp. 27-40, doi: 10.1109/ELMAR59410.2023.10253932

Magdolen, Ľuboš; Danko, Ján; Milesich, Tomáš; Kevický, Igor; Hanko, Lukáš; Skyrčák, Róbert: Conditions for loss of stability of an autonomous vehicle during a cornering manoeuvre, In: Journal of Mechanical Engineering, ISSN 0039-2472. – ISSN (online) 2450-5471. – Roč. 72, č. 3 (2022), s. 129-140

Hanko, Lukáš; Magdolen, Ľuboš; Danko, Ján; Milesich, Tomáš; Križan, Peter; Skyrčák, Róbert: Simulation of pedestrian detection in urban environment, In: Journal of Mechanical Engineering, ISSN 0039-2472. – ISSN (online) 2450-5471. – Roč. 71, č. 2 (2021), s. 121-130

### **Uplatnenie výsledkov projektu**

Uplatnenie výsledkov výskumu do praxe je priamo implementovateľné v oblasti:

1. autonómna/automatizovaná doprava - tvorba: MODEL DOPRAVNÉHO PROSTRIEDKU - možnosť začať reálne testovanie v reálnych podmienkach na verejnej cestnej infraštruktúre s reálnym dopravným prostriedkom
2. autonómna/automatizovaná doprava - tvorba MODEL DOPRAVNEJ INFRAŠTRUKTÚRY - možnosť začať reálne testovanie v reálnych podmienkach na verejnej cestnej infraštruktúre s reálnym dopravným prostriedkom
3. Predpríprava pre implementácie komunikačných štandardov autonómneho a automatizovaného riadenia v inteligentnej mobilite na úrovni 5G sietí - príprava na doteraz v EU neimplementovaných telekomunikačnú sieť 5G verzie SA (stand alone) pracujúcej na 5.9GHz frekvencii vyčlenenej v rámci EU pre V2X komunikáciu.

### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)**

Základné výsledky výskumu sa týkajú tvorby a praktickej realizácie digitálneho dvojčat'a dopravných prostriedkov - automobilov.

Fáza č. 1 je tvorba mechanického modelu a jeho modifikácia pre korekcie na základe reality. Doporučené prostredie je MSC Adams alebo Simcenter Amesim alebo Matlab Simulink/Simdriveline/SimMultibody.

Fáza č. 2 je vytvorenie dátového prepojenia reálneho a virtuálneho modelu prostredníctvom 5G sietí. Použitie iných technických prostriedkov nie je možné z dôvodu vzdialeností výpočtového systému (serveru) a pohybujúceho sa objektu po cestnej infraštruktúre. Pre prepojenie je potrebné stanoviť formu komunikácie - TCP protokol alebo UDP protokol. Pre prenos obrazového signálu z kamier je riešenie prostredníctvom UDP protokolu, pre prenos údajov a parametrov vozidla je to TCP protokol. Požadovaná komunikačná rýchlosť je min. 250 kB/s pre prenos obrazu a 180 kB/s pre prenos ostatných senzorov. To predpokladá však spracovanie údajov z lidarov a mirorovanie Lidar Cloudu. Ostatné automotive senzory - ich údaje je nutné spracovať a integrovať do dátového balíka so vzorkovaním na úrovni 64 kB/s, čo pre digitálne dočatá postačuje. Reálne prenášanie celej CAN komunikácie nie je potrebné a tiež nerealizovateľné z dôvodu rýchlosti CAN FD až 1000 kB/s. Fáza č. 3 je tvorba virtuálneho modelu prostredia - infraštruktúry. Doporučené prostredie je Simcenter Prescan alebo Matlab/Simulink - Unreal modul.

Potrebný výkon na serveri vyžaduje podľa reálnych testovaní min. 8 jadier procesorov Intel

E5-2690v2/v4 a vyšší výkon. Požadavka na pamäť počítača/servera je min. 128 GB. Pre účely komunikácie Server/Počítač musí zabezpečiť 1x 10GB prenos alebo 2x1GB prenos.

Korekčné AI pre model pre každý senzor je NN na úrovni 3 vrstiev s 6-12 neurónmi. Doporučená forma učenia je BackPropagation.

### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)**

The basic results of the research relate to the creation and practical implementation of the digital twin of means of transport - cars.

Phase no. 1 is the creation of a mechanical model and its modification for corrections based on reality. The recommended environment is MSC Adams or Simcenter Amesim or Matlab Simulink/Simdriveline/SimMultibody.

Phase no. 2 is the creation of a data connection of the real and virtual model through the 5G network. The use of other technical means is not possible due to the distance between the computing system (server) and the moving object along the road infrastructure. For the connection, it is necessary to determine the form of communication - TCP protocol or UDP protocol. For the transmission of video signals from cameras, the solution is via the UDP protocol, for the transmission of data and vehicle parameters, it is the TCP protocol. The required communication speed is min. 250 kB/s for image transfer and 180 kB/s for transfer of other sensors. However, this presupposes the preprocessing of lidar data and mirroring of the Lidar Cloud. Other automotive sensors - their data must be pre-processed and integrated into a data package with sampling at the level of 64 kB/s, which is sufficient for digital babies. Real transmission of the entire CAN communication not necessary and also not feasible due to the speed of CAN FD up to 1000 kB/s.

Phase no. 3 is the creation of a virtual model of the environment - infrastructure. The recommended environment is Simcenter Prescan or Matlab/Simulink - Unreal module.

According to real tests, the necessary performance on the server requires min. 8 Intel E5-2690v2/v4 processor cores and higher performance. The requirement for computer/server memory is min. 128 GB.

For communication purposes, the Server/Computer must provide 1x 10GB transfer or 2x1GB transfer.

The correction AI for the model for each sensor is a 3-layer NN with 6-12 neurons. The recommended form of learning is BackPropagation.