

Autonomní řízení monopostu Formula Student v simulátoru

Motivace a cíl práce

Formula Student je mezinárodní soutěž, v níž studentské týmy navrhují a staví vlastní závodní monoposty. V kategorii **Driverless Cup** musí vozidlo projet trať vymezenou barevnými kužely zcela bez řidiče. Trať přitom není předem známa a vozidlo si ji musí **samo detekovat, zmapovat a projet**.

Vývoj takového systému přímo na reálném voze je časově i finančně náročný a každá chyba v řízení představuje riziko poškození monopostu. Simulace naproti tomu umožňuje bezpečné a libovolné opakovatelné testování za definovaných podmínek.

Cílem práce bylo navrhnout a implementovat **kompletní autonomní pipeline v simulátoru CARLA**, tedy řetězec od zpracování sensorických dat až po řídicí povely, a ověřit ji ve dvou disciplínách DV Cupu: reaktivní jízdě neznámou trať a závodní jízdě podle zmapovaného okruhu.

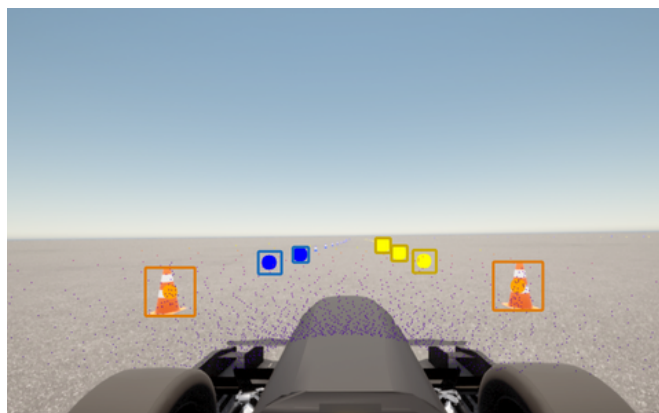


Vnímání okolí a mapování trati

Primárním senzorem je **LiDAR**. Ze tří porovnávaných modelů splnil požadavky pouze **Ouster OS2-128**, který spolehlivě detekuje kužely do vzdálenosti 19 metrů; Velodyne VLP-16 dosáhl 6 metrů a Valeo SCALA 2 přibližně 14 metrů. Při rychlosti 60 km/h představuje 19 metrů dostatečný předstih pro naplňování trajektorie.

Z mračna bodů je algoritmem **RANSAC** odstraněna vozovka a zbývající body jsou shlukovány algoritmem **DBSCAN** do jednotlivých kuželů. Těžiště každého shluku je promítnuto do obrazu z kamery a barvu kuželu, a tím i jeho příslušnost k levé či pravé straně trati, klasifikuje malá konvoluční síť **ConeCNN s přesností 99,85 %**.

Lokalizaci vozidla a mapování trati zajišťuje **Graph SLAM** [1] postavený nad knihovnou GTSAM s inkrementálním optimalizátorem iSAM2 [2]. Uzavření okruhu je detekováno na základě opakovaného pozorování dvou oranžových kuželů startovní čáry. Z výsledné mapy je následně vytvořena středová čára a dopočítán rychlostní profil.



Bc. Michael Ceplý

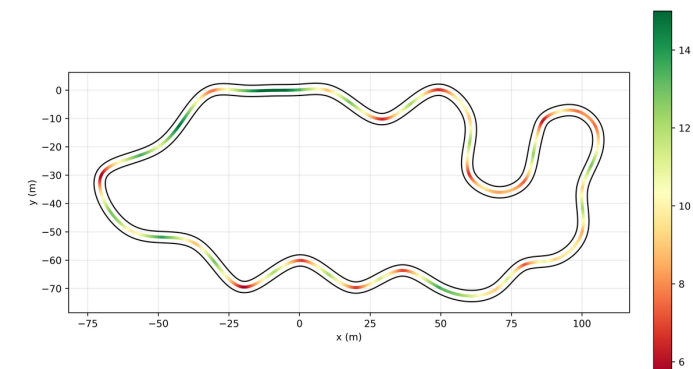
Vedoucí práce: prof. Ing. Jan Platoš, Ph.D.

michael.ceply.st@vsb.cz / jan.platos@vsb.cz

Experimentální vyhodnocení

Systém byl ověřen na třech tratích odlišného charakteru. Na technické trati dosáhl v závodním režimu nejlepšího času na kolo **75,0 s** oproti 126,7 s v režimu reaktivním, což odpovídá **zkrácení o 41 %**.

Porovnání regulátorů ukázalo odlišný kompromis: **Pure Pursuit** je o 4 až 10 % rychlejší, na úzké trati B však během deseti kol srazil devět kuželů, zatímco **Stanley** projel bez jediné kolize. Medián latence zpracování jednoho snímku činí 17 ms, tedy **frekvenci 58 Hz**, což poskytuje dostatečnou rezervu vůči sensorům pracujícím na 20 Hz.



Další vývoj

Vozidlo dosud sleduje středovou čáru trati. **Optimalizace závodní linie** by podle zkušeností týmu KA-RaceIng zkrátila čas na kolo o dalších 10 % i více [3]. Navazujícím krokem je nasazení regulátoru MPC a přenos systému na **budoucí monoposty týmu Formula TU Ostrava**.

[1] DELLAERT, F.; KAESS, M. Factor Graphs for Robot Perception. Foundations and Trends in Robotics, vol. 6, 2017.

[2] KAESS, M. et al. iSAM2: Incremental smoothing and mapping with fluid relinearization and incremental variable reordering. In: IEEE ICRA 2011, s. 3281–3288.

[3] ALVAREZ, A. et al. The Software Stack That Won the Formula Student Driverless Competition. 2022. DOI: 10.48550/arXiv.2210.10933.