

dSPACE · SIMULÁCIA A TESTOVANIE VO VÝVOJI ASISTENČNÝCH SYSTÉMOV A AUTONÓMNYCH VOZIDIEL

Kde sa berú testovacie scenáre?

Od náhody k ich systematickému hľadaniu



21. 10. 1997

Švédsko · Mercedes A-Class · tri dni po uvedení na trh

960

dní vývoja

5 mil.

testovacích km

60

km/h pri manévri

Auto sa pri vyhýbacom manévri prevrátilo na strechu.

ESP existovalo už od 1995

len v najdrahších autách

Rekord testu: 85 km/h

Citroën Xantia Activa, ~25 rokov



Přehled šampionů losiho testu Teknikens Värld		
Model auta	Rok testu	Rychlost (km/h)
Porsche 718 Cayman GT4 RS Manthey	2024	86
Nissan Qashqai DIG-T 160 Acenta	2019	84
Audi R8 V10 plus 5,2 FSI quattro 610	2017	83
McLaren 675LT	2017	83
Mercedes-AMG GT S	2015	82
Porsche 997 Carrera 4S	2008	82
Porsche 997 GT3 RS	2008	82
Porsche 996 GT2	2004	82
Porsche 997 GT2	2008	82
McLaren 570S	2017	81

TRI OTÁZKY, KTORÉ SI KLADIEME

Verifikácia, validácia, pokrytie

Pri testovaní si kladieme najmä tri otázky:

01

Verifikácia

Postavili sme to správne?

Robí systém presne to, čo hovorí zadanie? Pri materiáli, crash teste aj klasickom softvéri to vieme, požiadavky sa dajú vymenovať.

02

Validácia

Postavili sme správnu vec?

Postavili sme systém, ktorý potrebujeme a zodpovedá reálnym podmienkam použitia?

03

Pokrytie

Otestovali sme dosť?

Kedy máme dostatok dôkazov, aby sme mohli povedať, že systém funguje?

Požiadavka hovorí, ČO má systém robiť. **Scenár hovorí, KDE to overíme.**

ZDROJE SCENÁROV

Odkiaľ sa berú scenáre

Zdieľané

PEGASUS → SET Level
VVM
StreetWise (TNO)
Safety Pool
SAKURA · MOOVE

Realita

nehodové databázy: GIDAS
SHRP2 · UDRIVE
highD · inD · exiD · rounD

Analyzické hľadanie

HARA · FMEA · FTA
STPA
SOTIF: spúšťacie
podmienky
6-vrstvový model

Regulácie, pravidlá

Euro NCAP
UN R157 / R171
ISO 34501–34504, draft
ISO34505

Algoritmy

falsifikácia
adversariálne hľadanie
importance sampling
generatívne modely, LLM
kritikálna mutácia



DVA PRÍKLADY VÝPOČTOV

Koľko toho treba otestovať?

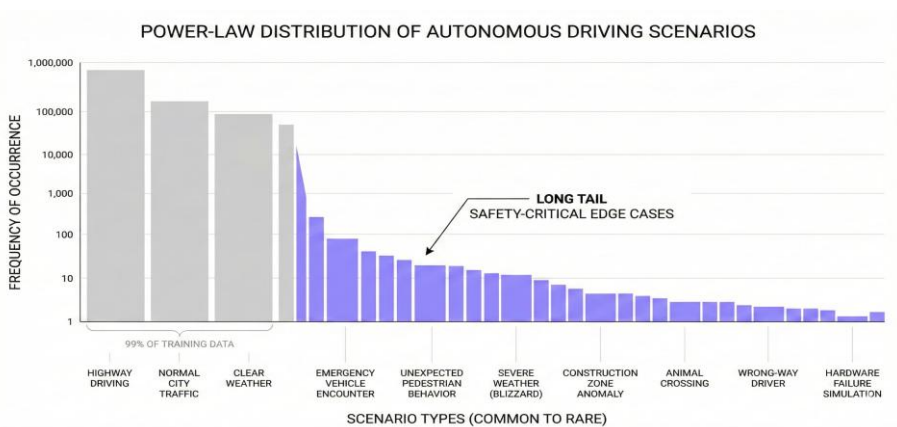
Jazdením

~69 mil. km

Assessing Safety-Critical Systems from Operational Testing: A Study on Autonomous Vehicles

<https://arxiv.org/abs/2008.09510>

99 % jazdy je pritom triviálnych. Celá hodnota testovania sedí vo chvoste scenárov.



<https://www.kognic.com/articles/edge-cases-autonomous-driving>

Kombinatorikou

Jeden logický scenár „chodec vbehne pred vozidlo spoza auta“:

rýchlosť vozidla	30–130 km/h	11×
rýchlosť chodca	0,5–2,5 m/s	9×
bočná vzdialenosť	1–8 m	8×
adhézia vozovky	suchá ... ľad	5×
viditeľnosť	jasno ... hmla	6×

≈ 24 000 konkrétnych testov z jedného scenára

Ktoré scenáre sú tie kritické?

RIZIKOVOSŤ SA DÁ MERAŤ

Ako poznáme hraničný scenár?

Namiesto „prešlo / neprešlo“ sa počíta rizikovosť situácie, napr.:

TTC

time to collision

$\Delta s / \Delta v$

kritické býva $TTC < 1\text{ s}$

PET

post-encroachment time

odstup v čase

pre križovatky

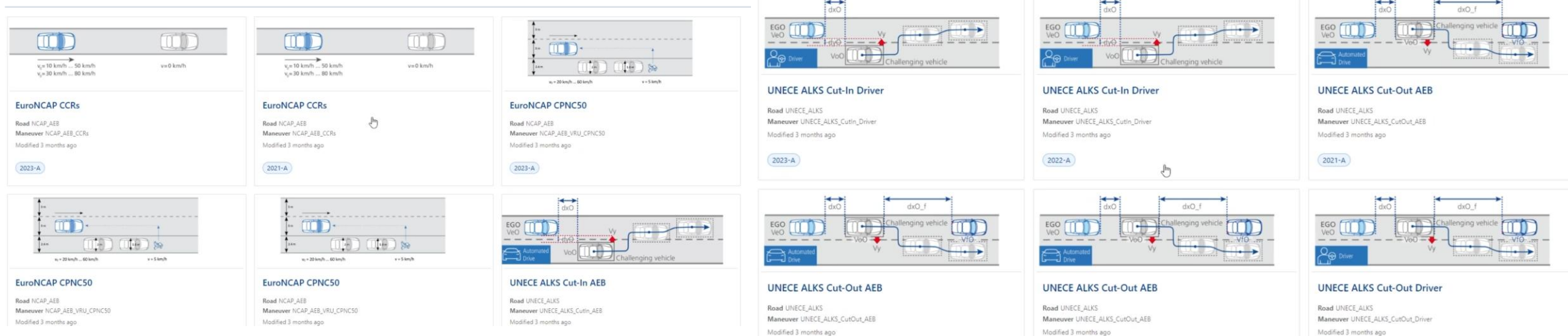
<https://www.youtube.com/watch?v=rSABRwcVvUU>

BTN / STN

brake / steer threat number

$\geq 1,0$

už sa tomu nedá vyhnúť



Ako nájsť to, čo nikto netestoval?



<https://www.dspace.com/en/pub/home/news/engineers-insights/navigating-the-road-to-iso-214.cfm>

Umenie moderného testovania: **Zmenšovať neznáme riziká a hľadať spúšťacie podmienky pádu systému**

OD KRITÉRIA K MERATEĽNÉMU ČÍSLU

Kedy je to dosť bezpečné?

Kritérium prijatia: auto musí byť dokázateľne aspoň tak dobré ako pozorný vodič
systém musí spoľahlivo zasiahnuť pri skutočnej hrozbe kolízie a nesmie falošne zasiahnuť keď to nie je potrebné

Zdôvodňuje sa princípmi: PRB (positive risk balance) · GAMAB (globálne aspoň tak dobré) · ALARP · MEM

GLOBALNE

Kritérium prijatia

koľko zvyškového rizika
je ešte prijateľné



PER SCENÁR

Validačné ciele

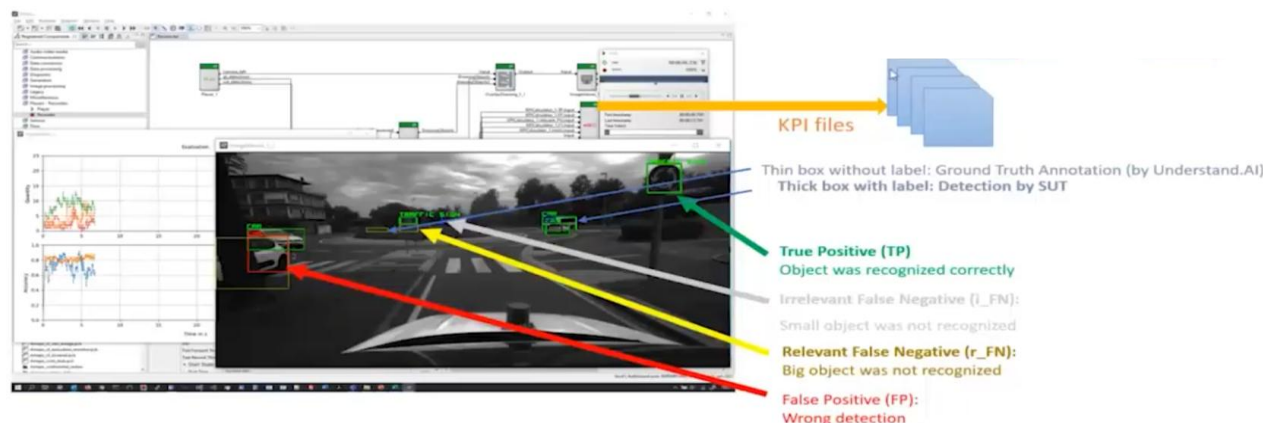
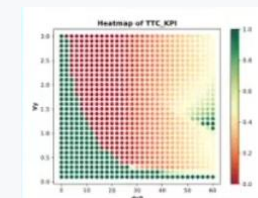
rozpad na triedy scenárov
+ štatistická istota, v rámci ODD



PER VELIČINA

KPI

merateľné čísla
na komponente a funkcii



Zaujímavé situácie z jász

01

Klokany

Skáču, a systém ladený na chodcov po zemi si nevie poradiť s odhadom vzdialenosti.

02

Nálepky na STOP

Pár nálepiek stačí, aby rozpoznávanie prečítalo rýchlostný limit.

03

Mesiac

Nízko nad obzorom hlásený ako žltá na semafore.

04

Billboardy

Auto zabrzdí pred značkou STOP vytlačenou na billboarde.



DVE RÔZNE ROLY

Aký vplyv má AI?

1 AI je to, ČO testujeme

Vnímanie je naučené, nie napísané a tak neexistuje špecifikácia, ktorú by sa dalo prejsť riadok po riadku.

Preto sa správanie nedá odvodiť z požiadaviek a musí sa overovať scenármi.

Pravidlá na to už existujú: ISO/PAS 8800 pre bezpečnosť AI v autách + EU AI Act.

2 AI je to, s ČÍM testujeme

Prompt: scenár opíšeme vetou a AI ho nájde v dátach.
Podobnostné hľadanie dotiahne súvisiace prípady.

Generovanie: z reálnych dát vyrobí syntetické, hraničné a kritické situácie.

Automatizácia: testovacie prípady, skripty aj virtuálne ECU cez agentov v CI/CD.



dSPACE

Od výberu relevantných údajov k extrakcii KPI

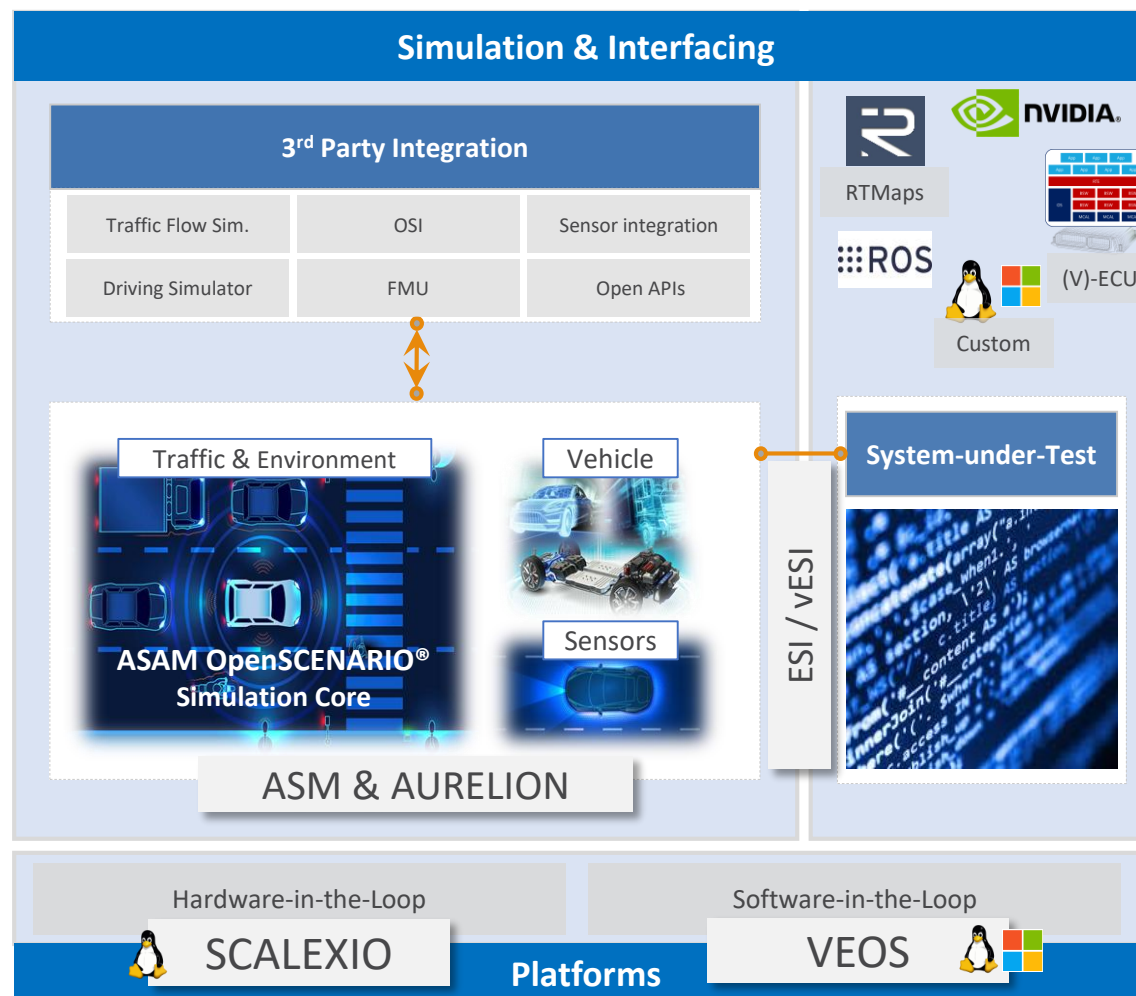
SIMPHERA

Web-Technology & Cloud-Computing

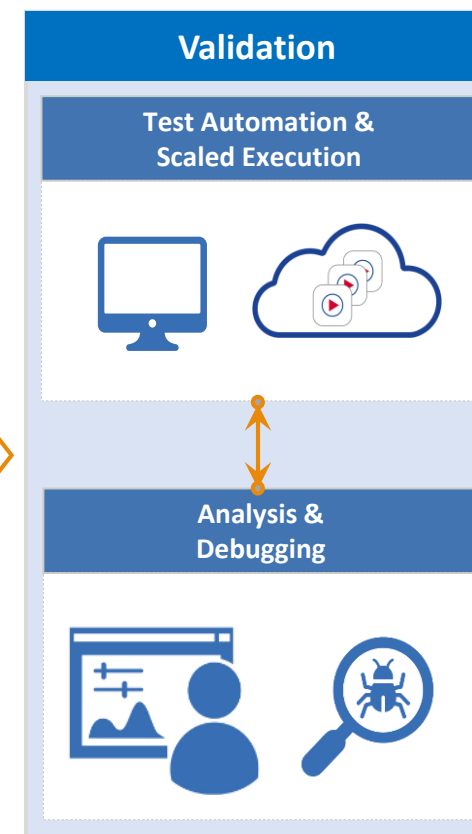
Preparation



Simulation & Interfacing



Validation



dSPACE

Od výberu relevantných údajov k extrakcii KPI

Traffic Virtualizer	Scenáre z reálnych záznamov	surové dáta / zoznamy objektov → scenár + cesta replay aj logický scenár · OpenSCENARIO, OpenDRIVE
IVS	Vyhľadávač scenárov	v PB dát nájde tie zaujímavé
ASM	Modely vozidla a premávky	natívna väzba na MATLAB / Simulink
AURELION	Senzorická simulácia	ako auto „vidí“: kamera, lidar, radar
VEOS	RT platforma pre virtuálnu ECU	softvér bez hardvéru (SIL)
SCALEXIO	Hardvér v slučke	reálna ECU + simulátor (HIL)
SIMPHERA	Cloudová validácia	Prepare · Simulate · Validate variácie parametrov → tisíce testov, paralelne

Simulink → ASM → VEOS / SCALEXIO: z modelu na real-time hardvér bez prepisovania.

Reťazec je certifikovaný podľa ISO 26262 — výstup sa smie **použiť priamo** v bezpečnostnej argumentácii.

Ďakujem za pozornosť!

Od náhody k systematickému hľadaniu scenárov

Jana Trojáková
janat@humusoft.cz
<https://www.linkedin.com/in/jtrojakova/>

