

Autonóm közúti járművek irányítása

Gáspár Péter

2021. április 21



SZTAKI

ELKH

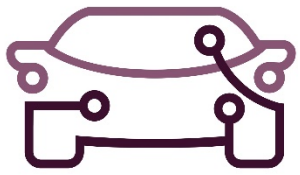
Eötvös Loránd
Research Network



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2



SZÉCHENYI
EGYETEM
UNIVERSITY OF GYŐR

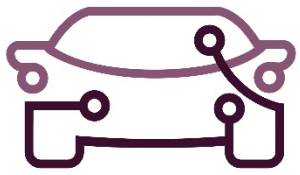


A járműipar átalakul

- Alternatív hajtásrendszer megoldások jelentek meg: hibrid, elektronikus
- A vezető támogató rendszereket felváltják az autonóm rendszerek
- A hagyományos járműipari gyártók mellett megjelentek az info-kommunikációs vállalatok a járműpiacon
- Új kutatási és fejlesztési célkitűzések nyílnak a tesztpálya építése kapcsán.



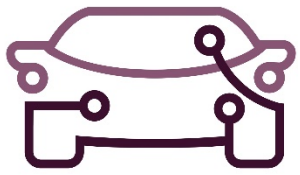
2021 Mercedes S-Class Self Driving Demo –
New S Class DRIVE PILOT



Kihívások

- A jelenlegi technológiai korlátok miatt az autonóm járműveket általában nem lehet emberi képességekkel és tapasztalattal felruházni. Az autonóm járművek másként látják és értelmezik a környezetet, mint az ember, emiatt másként is vezetnek.
- A járművekkel szemben megfogalmazott követelmények (műszaki, gazdasági, társadalmi elvárások) megnövekedtek.
- Erősségük az "éberségük és a kényelmük, viszont az irányítási rendszereik betanítást igényelnek és a kölcsönhatásaikat kezelni szükséges.
- A járművek, motorosok, gyalogosok közötti kölcsönhatások és a különleges esetek nagy számban vannak jelen.





Hol tart a világ az autonóm járművek területén?

SAE J3016 – Levels of Driving Automation

0. szint: nincs automatizálás

1. szint: vezetéstámogatás: Egyidejűleg csak hossz- vagy keresztirányú szabályozást valósít meg. A járművezető végzi a többi tevékenységet és felügyeli a rendszer működését.

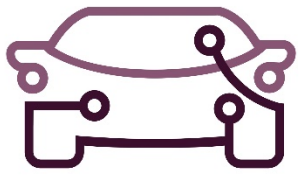
2. szint: részleges automatizálás: Egyszerre valósít meg hossz- és keresztirányú szabályozást. A járművezető folyamatosan felügyeli a rendszer működését és azonnal beavatkozik, ha szükséges.

3. szint: feltételes automatizálás: Teljeskörű irányítás egyes vezetési módokban. A járművezető mással is foglalkozhat, és a rendszernek időt (több másodperc) kell hagynia a járművezető részére a szükséges beavatkozás elvégzésére.

4. szint: magas szintű automatizálás: Teljeskörű irányítás egyes vezetési módokban, melyekben a járművezető felügyeletére nincs szükség.

5. szint: teljes automatizálás: Teljeskörű irányítás minden vezetési módban akár járművezető nélkül is.





Be nem vált jóslatok, iparági ígéretek

Be nem vált jóslatok

Level 3: Conditional Automation

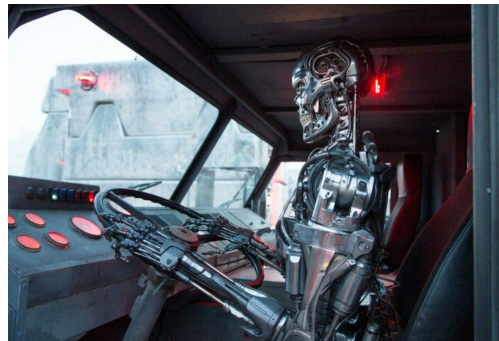
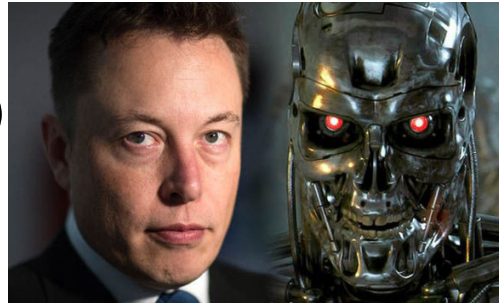
- BMW, Daimler, Tesla (2018)
- Honda, Toyota, Hyundai (2020) highway pilot
- Audi: traffic jam pilot

Level 4: High Automation

- Volvo, Ford, BMW (2021)
- Daimler (2020-2025)
- Honda (2025)

Level 5: Full Automation

- Tesla (2019)
- Daimler (2020-2025)
- BMW (2021)



Iparági ígéretek

Level 3:

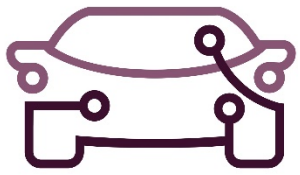
- Audi: 2019-ben bemutatta az A8 3-as szintű önvezető rendszerét, de jogi akadályok miatt nem került forgalomba.
- Limitált sebességű autópályás önvezetés:
 - BMW Automated Driving System (2021)
 - Daimler Drive Pilot (2021)
 - Honda Traffic Jam Pilot (2021)

Level 4:

- Több gyártó bejelentette, hogy átugorják a Level 3-at.

Level 4 és Level 5:

- Marketing ígéretek minden gyártótól 2020 és 2030 között.



Aktuális helyzet

Waymo (Google, (Level 4)

- Publikus teszt Phoenix Metropolitan Area területén
- Teljes önvezetés korlátozott területen
- Tesztsofőr nélkül, távfelügyelettel

Shuttle szolgáltatások (Level 4)

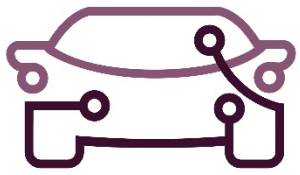
- Önvezetés korlátozott területen és útvonalon
- Repülőterek, cég telephelyek, egyetemvárosok stb.

Egyre fejlettebb ADAS rendszerek

- Hossz- és keresztirányú szabályozás korlátozások mellett
- Vezetéstámogatás, a sofőr felelőssége megmarad (Level 2)
- Tesla Autopilot, Cadillac Super Cruise



Waymo video



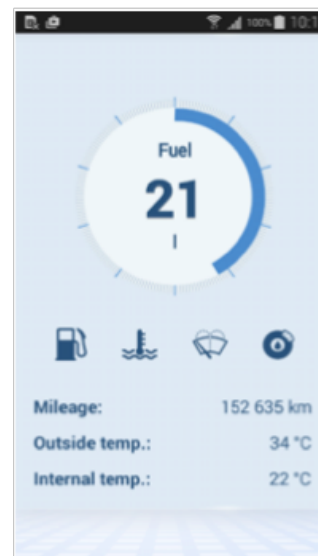
Környezet érzékelés és szituáció értékelés

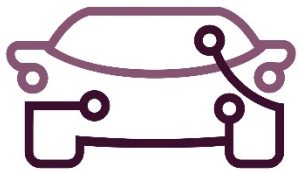
Az objektumok, valamint a környezeti tényezők változatossága óriási kihívás:

- A jármű úton való helyzetének és a jármű körüli objektumok (jelek, jelzések) tulajdonságainak és helyének/helyzetének feltérképezése, a közlekedés szereplői mozgásállapotának követése, előrejelzése.

Szituáció értékelési és szenzorfúziós algoritmusok:

- A forgalmi szituációk értelmezése komplex, intuitív és tanuló módszerek és algoritmusok kidolgozásával.





Környezet érzékelés

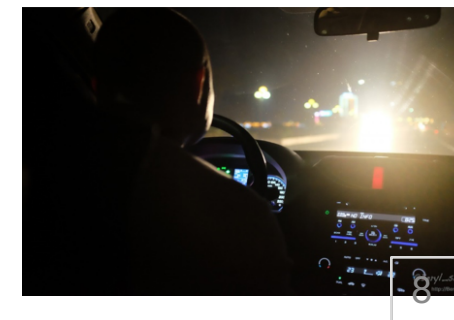


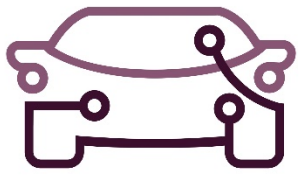
Statikus és dinamikus objektumok, valamint a környezeti tényezők változatossága óriási kihívás a detektálás szempontjából.

- relatív pozíció/sebesség, 0,5-250 m hatótávolság
- osztályozás (kerékpár, táblák, jelzőlámpák)
- környezet változékonysága (fényviszonyok, páratartalom, por)
- objektumok változékonysága (anyag, szín, forma)

Csak kamera alapú rendszerek legyenek? Az emberi vezetésből kiindulva lehetségesnek tűnik, viszont a balesetek döntő részét emberi hiba okozza. Az automatikus rendszereknek nagyságrendekkel magasabb biztonsági szintet kell elérnie.

Válasz: **Szenzorfúziót kell alkalmazni.** Több redundáns szenzor alkalmazása javasolt. Egyidőben több szenzor működik, mér és kiértékel. Egymás előnyös tulajdonságai kihasználhatók és hátrányos tulajdonságai kiküszöbölhetők.

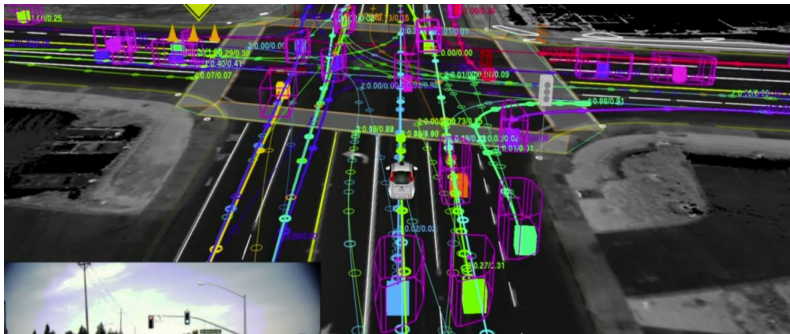




Infokommunikáció az autonóm irányításban

Jelforrások:

- fedélzeti érzékelők
- infrastruktúra által továbbított információk (V2I)
- járművek által továbbított információk (V2V)
- szolgáltatók által továbbított információk (cloud)



Windows 10

Windows 10

- Eliminating all comments (which are ignored at compile time) Windows 10 has 27 - 50 Mio. lines of executable code
- + Motherboard + Graphics Card
- + Applications (Office = 40 Mio. lines)

→ Estimate total 100 Mio. lines of code but no sensors, no actors and in 1 place

A modern Car

- > 50 different sensors in 15 sensor sets
- 28 microprocessors, 6 communication area networks
- 3000 different signals = 300Mbit / s equivalent > 100GB / h

→ Estimate distributed 100 Mio. lines of code and rebooting in drive is not an option

Software complexity bench mark

Software Size (million Lines of Code)

System	Software Size (million Lines of Code)
Modern High-end Car	100
Boeing 787	10
F22	10
Space Shuttle	10
Boeing 747	10
Large Mainframe Computer	10
Google Chrome	10
Linux Kernel 2.6.3	10
Mobile Operating System	10
Mobile Space Telescope	10
F22 Fighter	10
Space Station	10

- Modern high-end car has 100 Mio. Lines of Code
- 10 times a Boeing 787
- 100 times an F22
- 100 times Space shuttle
- 10 Mio. lines of 'mission critical' software code
- 3 Mio. more than a Boeing, 787, 8 Mio. more than an F22

Jármű-jármű kommunikáció (V2V):

- Ráfutásos ütközés elkerülése
- Figyelmeztetés veszélyes előzéskor
- Figyelmeztetés kereszteződés előtt
- Figyelmeztetés kitakart fékező járműre

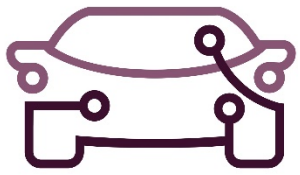
Jármű-infrastruktúra kommunikáció (V2I):

- Megkülönböztetett járműre való figyelmeztetés
- Kanyar figyelmeztetése
- Gyalogos zóna funkció
- Vasúti átkelőre való figyelmeztetés

Jármű-felhő kommunikáció (cloud):

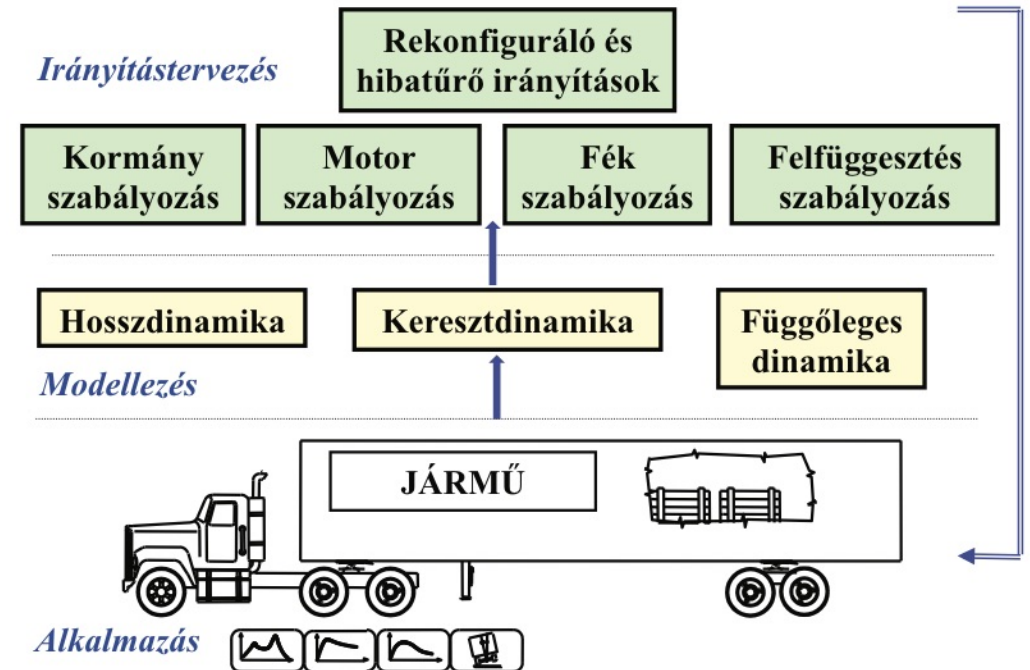
- Központi vezérlő egység távoli frissítése
- Forgalominformáció analízise
- Jármű-flotta felügyelete
- Kooperatív navigáció
- Időjárás információ elemzése

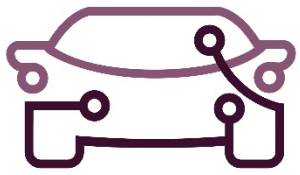




Irányítástervezés

- Az autonóm járműirányításban a **szituáció és cél alapú döntések** jellemzők. A trajektória tervezése során figyelembe veszik a közlekedési előírásokat, a többi jármű helyzetét és várható mozgását, az akadályokat, stb.
- Az autonóm járműirányításban a tervezett funkciók és komponensek **tesztelése és validációja** óriási kihívást jelent.
 - A hagyományos járműirányításban véges számú teszt forgatókönyv alapján történtek a tesztelések és a felelősség a vezetőé volt.
 - Az autonóm irányításban a felelősség kérdése még nem teljesen tisztázott. Az irányításnak minden szituációban működnie szükséges, ami az esetek számát felduzzasztja. Iparági becslések szerint a teszt esetek száma a jelenlegi százak értékről a milliós számra ugrik.



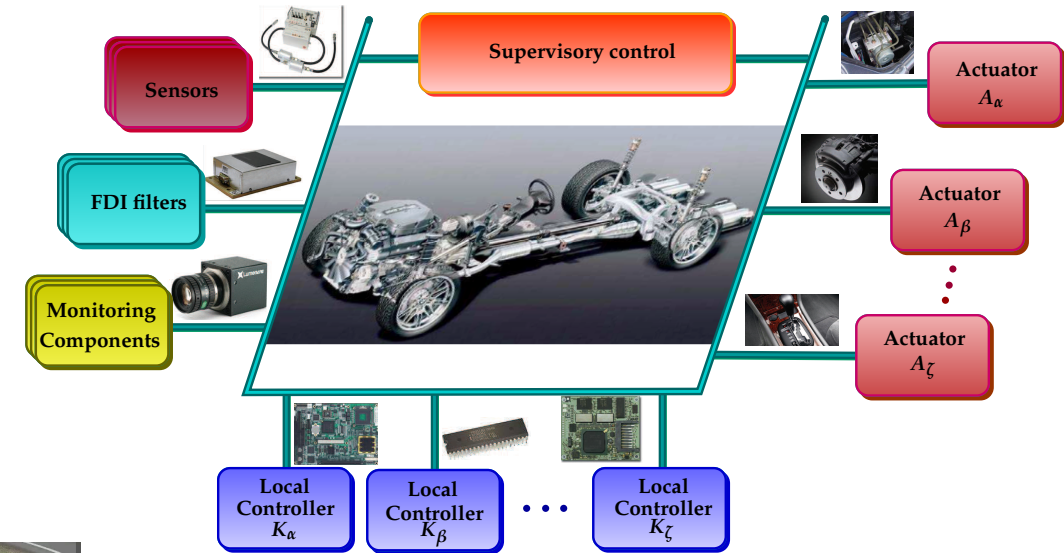


Integrált irányítás

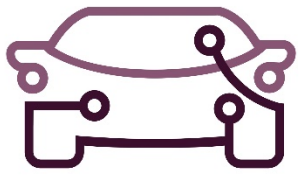
Az integrált járműirányítás célja a dinamikát befolyásoló **aktív beavatkozók összehangolt irányítása** az előírt működési követelmények garantálása érdekében, valamint a biztonság és a megbízhatóság növelése érdekében.

Integrált irányítási elvek:

- Járműállapotoktól függő prioritás: beavatkozók közötti hierarchia biztosítása.
- Rekonfigurálás: alkalmazkodás a megváltozott körülményekhez.
- Hibatűrés: alkalmazkodás a komponens teljesítménycsökkenéséhez.



Ha az előírt trajektória (útvonal és sebesség) követési feladatot a járművezető nem képes végrehajtani, akkor különböző vezetéstámogató rendszer alkalmazásával támogatjuk.

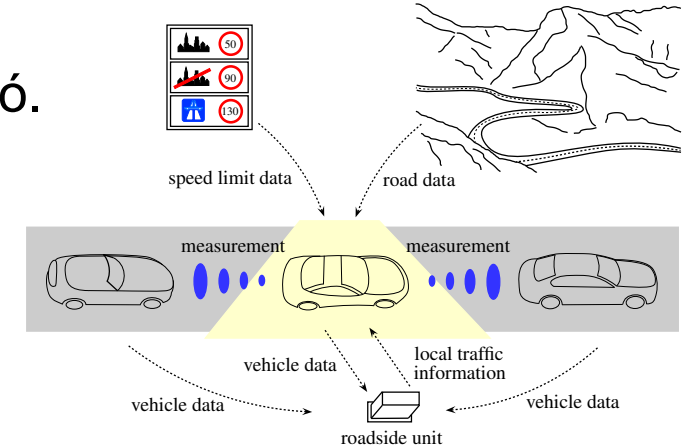
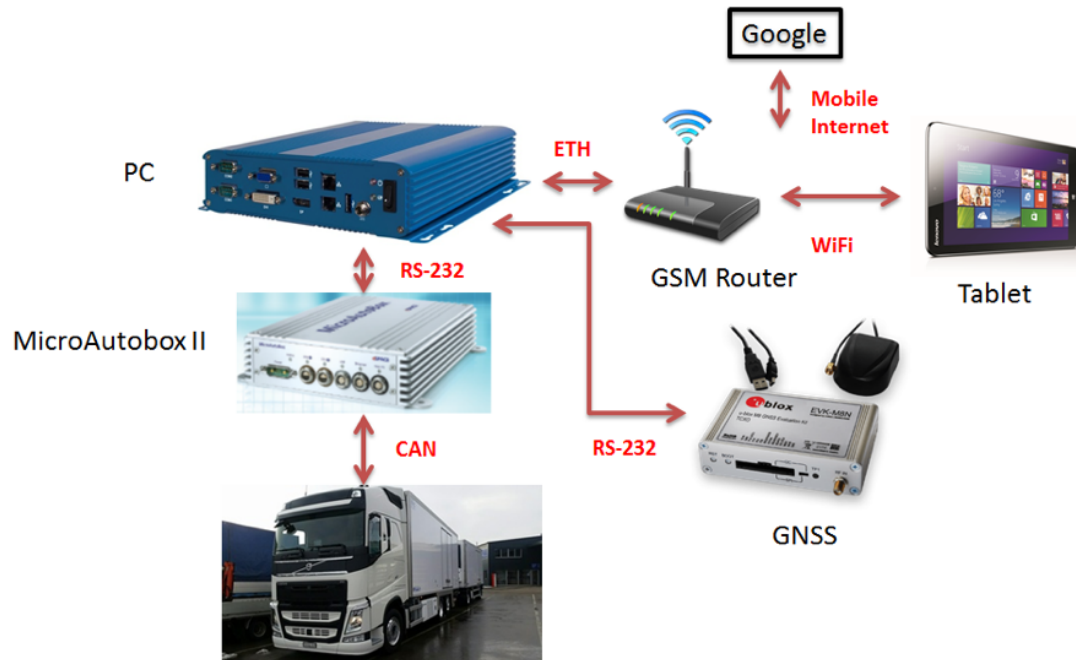


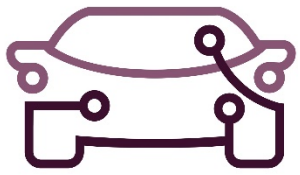
Intelligens és adaptív sebesség tervezése

Feladat az **optimális járműsebesség** megtervezése, amivel energia és üzemanyag megtakarítás érhető el, miközben a szállítási idő is betartható.

A realizálás elemei:

- Fedélzeti ipari PC: navigációs adatok, útvonal, térképi adatbázisok, kommunikáció
- MicroAutobox: sebességprofil számítás, kommunikáció
- További elemek: GNSS vevő, GSM router, tablet alapú kezelői felület.





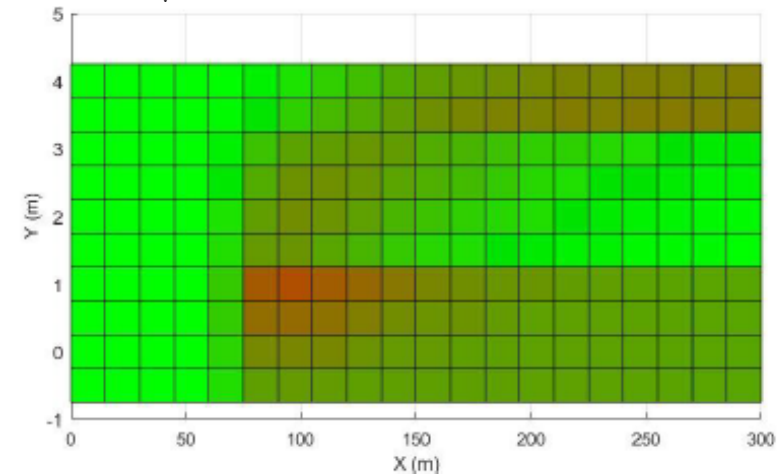
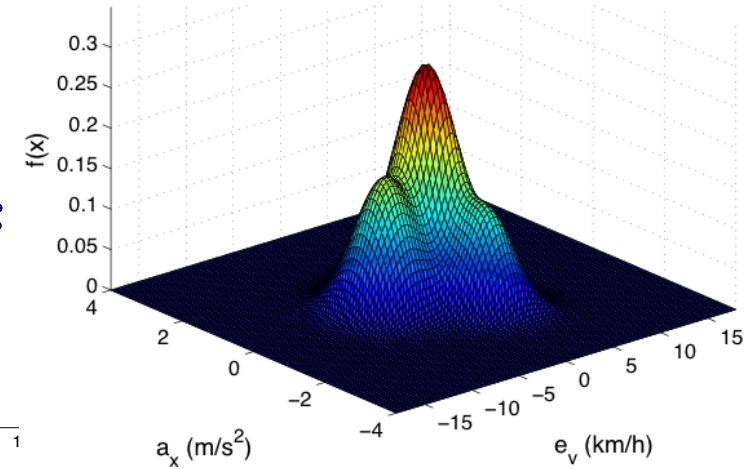
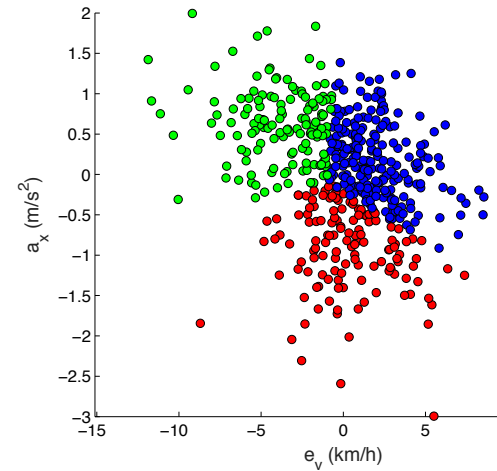
Kikerülés és előzés tervezése és végrehajtása

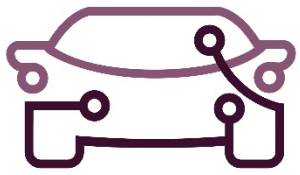
Célkitűzés

- Az autonóm jármű legyen képes biztonságosan előzési manővert végrehajtani.
- Az irányítási stratégia elemei: a környezet érzékelése, a környező járművek mozgásának predikciója, az útvonaltervezés, a döntéshozatal és a beavatkozás.

Környező járművek mozgáspredikciója

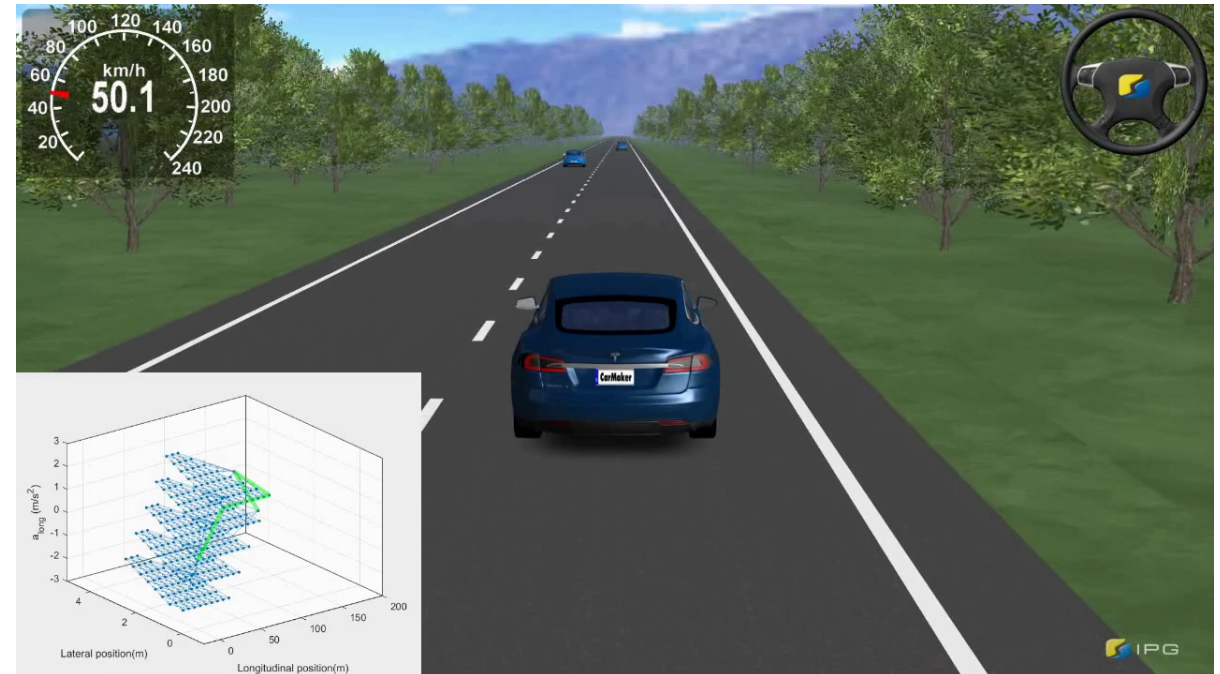
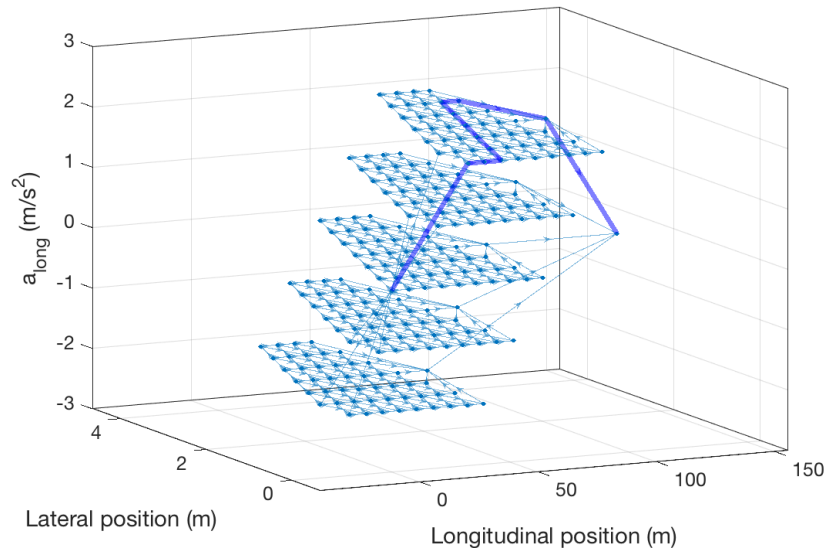
- V2V alapú kommunikációval a környező intelligens járművek mozgása és predikciója becsülhető.
- A kommunikációs hálózatba nem kapcsolt járművek predikciója szenzorokra épül, statisztikai és valószínűségi kiértékelést alkalmaz.
- A környező járművek és a saját mozgás predikciója alapján a jövőbeli útvonalra nézve véges horizonton egy ütközési valószínűségi térképet határozunk meg. Dijkstra algoritmust alkalmazzuk a gráfon történő optimális útvonalválasztás során.

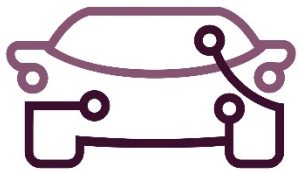




Az útvonaltervezési és döntési algoritmus

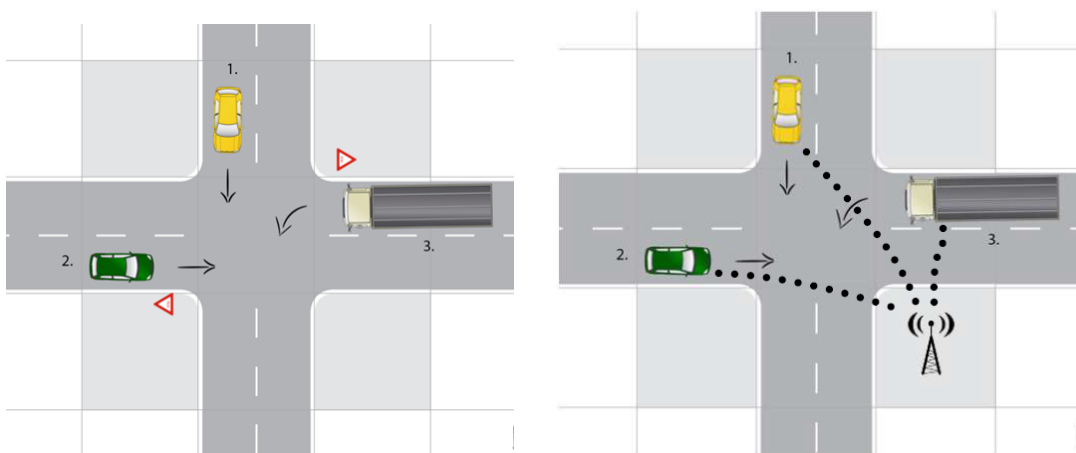
- Döntési változók: sebességprofil megválasztása, oldalirányú elmozdulás mértéke, az előzés megkezdésének időpontja
- A környező járművek és a saját mozgás predikciója alapján a jövőbeli útvonalra nézve véges horizonton egy ütközési valószínűségi térkép kerül meghatározásra.
- Gráfon történő optimális útvonalválasztás: ütközési valószínűség és az haladási útvonaltól történő eltérés minimalizálása (Dijkstra algoritmus)
- A tervezést neurális hálós közelítés véglegesíti.



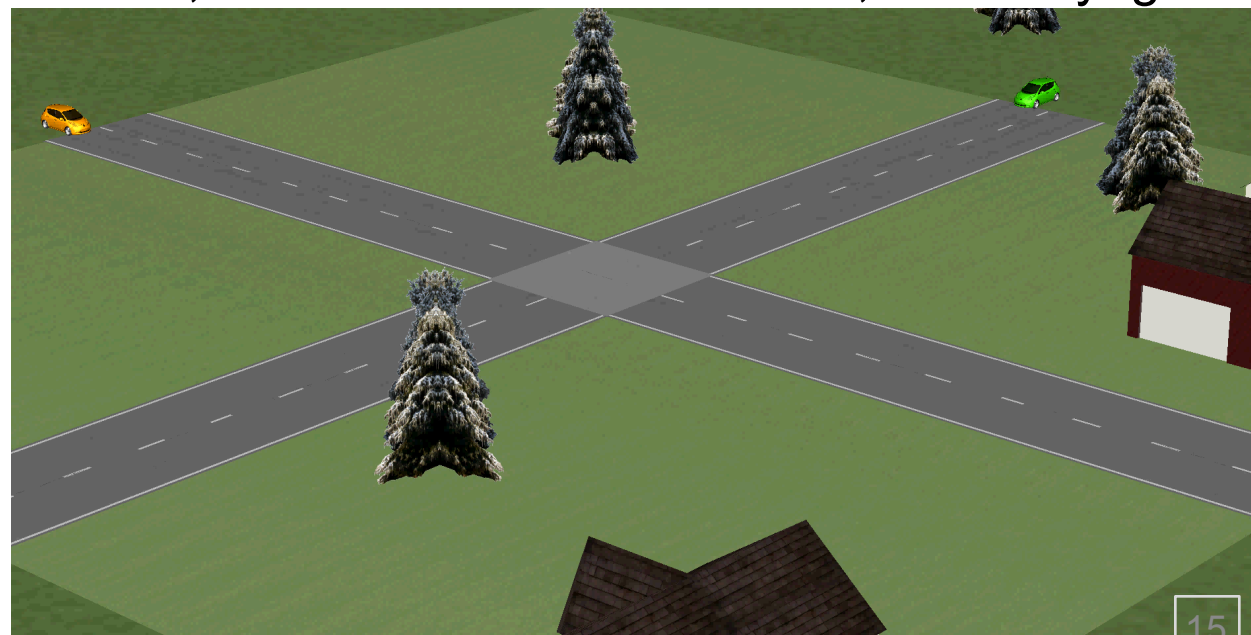


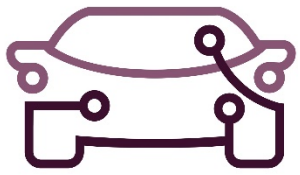
Kereszteződésben való áthaladás irányítása

- Autonóm járművek legyenek képesek biztonságosan, **energia- és idő-optimálisan áthaladni** olyan kereszteződéseken, ahol emberek és ember által vezetett járművek közlekednek.
- Ehhez prediktálni kell a környező szereplők mozgását, ki kell használni a többi autonóm járművel és az infrastruktúrával való kommunikációt.
- Feladat a járművek áthaladási **sorrendjének és mozgásprofiljának** meghatározása a sebességkorlátozásokat és a forgalmi információkat figyelembe.
 - Elsődleges cél: biztonságos áthaladás, ütközés elkerülés
 - Másodlagos célok: energiafelhasználás csökkentése, áthaladási idő csökkentése, károsanyag kibocsátás csökkentése



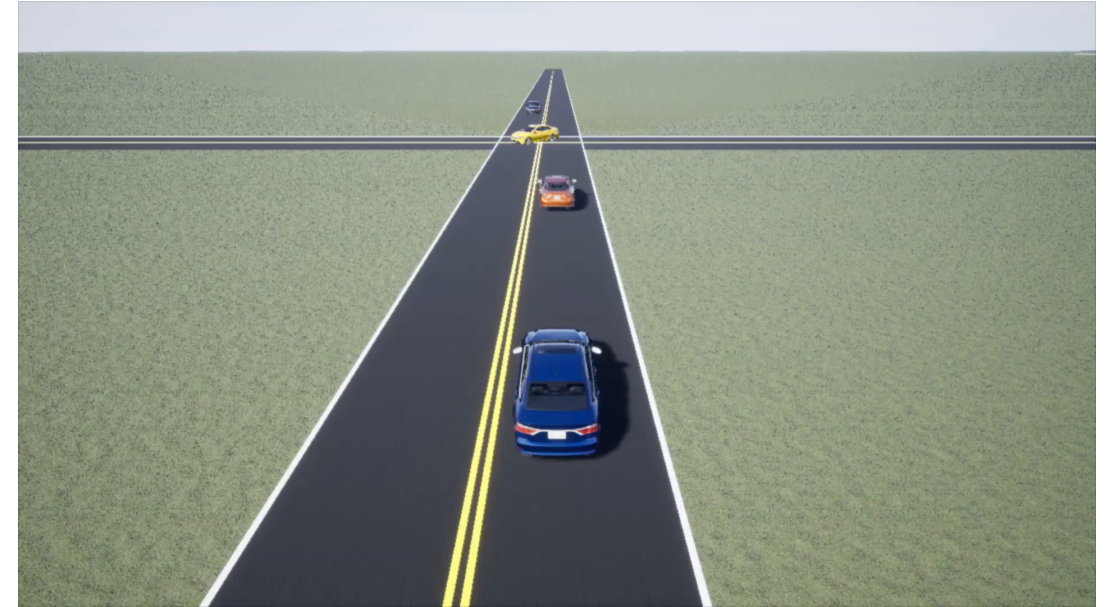
A bal oldali ábra közlekedési lámpákkal felszerelt kereszteződést mutat, míg a jobb oldali lámpa nélküli esetet.



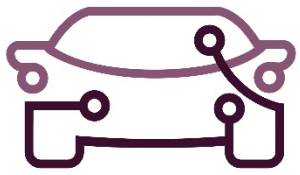


Mesterséges intelligencia szerepe – online alkalmazás

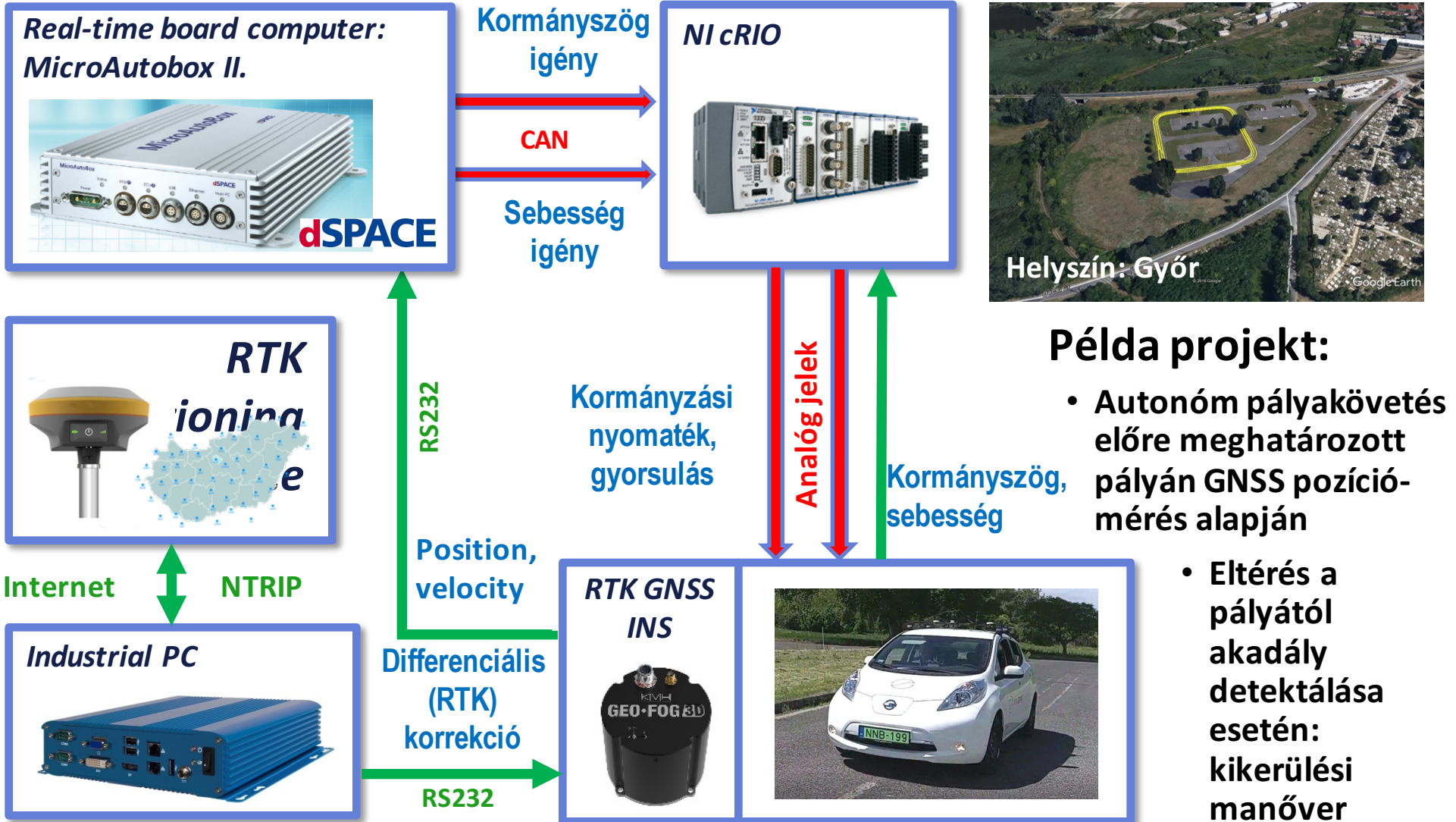
- Energiahatékony jármű mozgásprofil tervezés: nemkonvex, korlátozások melletti optimalizálás
- Az optimalizálási feladat online megoldása nem reális, azonban az offline megoldás elkészíthető véges sok esetre.
- Neurális hálók feltaníthatók az offline megoldások segítségével, az ágens alkalmazható az online feladatban is.
- A jármű állapotbecslésének zajtényezői és bizonytalanságai miatt a robusztusságot garantálni kell.
 - A kereszteződésben haladó jármű pozíciójának becslési hibája miatt a nominális adatokkal feltanított neurális háló nem adhat garanciát az ütközésmentes eredményre.
 - A nem megfelelőnek minősített esetek kiküszöbölése átkonfiguráló irányítással történik.

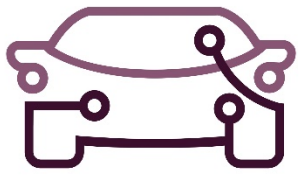


SZTAKI – Kereszteződésekben való áthaladás



Valós járműkísérletek

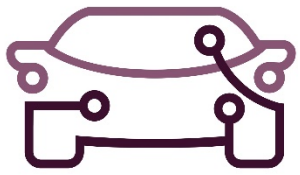




Miért kell intelligencia a járművekbe?

- Komplex, folyamatosan változó környezet.
- Nagy mennyiségű vizuális információ.
- Összetett közlekedési szituációk.
- Komplex döntési feladatok.
- Többszintű útvonal és trajektória tervezés.
- Szabály alapú algoritmusokkal megoldhatatlan feladatok.





Garanciát adó irányítási struktúra (Robusztus és MI irányítás integrálása)

Motiváció és célkitűzés

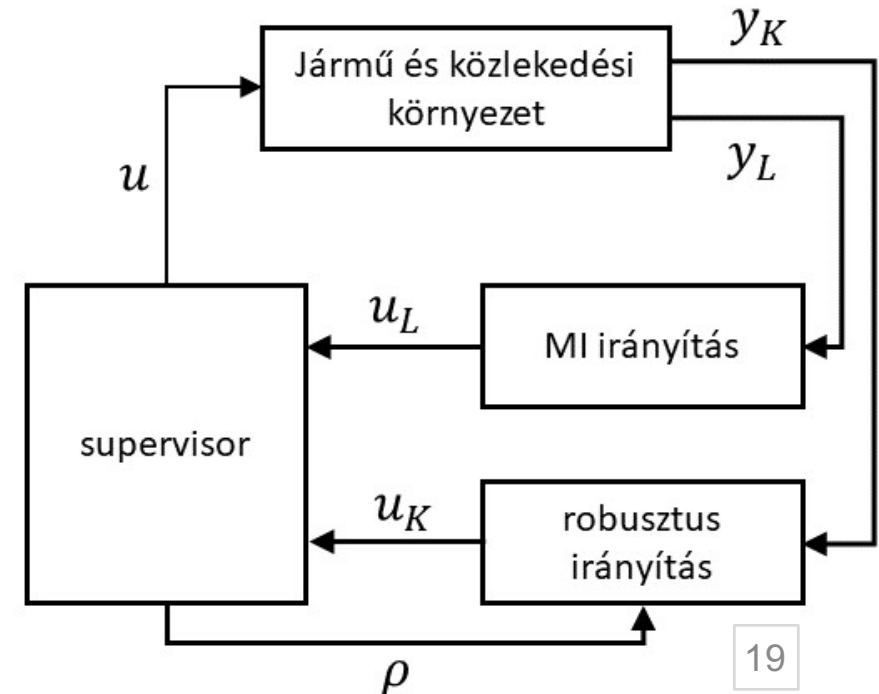
- A környezetérzékelés és a döntési helyzetek **gépi tanulásra** épülő módszerekkel kezelhetők hatékonyan, ami azonban komplex formalizmust eredményez, a stabilitási és minőségi garanciák nem mindig bizonyíthatók elméleti úton.
- A robusztus irányítás tervezése során az elsődleges performanciát elméletileg is garantáljuk.
- Az elméleti kutatás célkitűzése a robusztus irányítás és a gépi tanulásra épülő irányítás kombinálása.

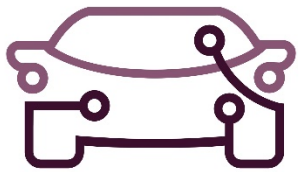
Robusztus autonóm irányítórendszer tervezése

- Supervisor tervezése, rekonfiguráló irányítás realizálása
- Az MI irányításhoz kapcsolódó meghibásodások, illetve nem várt viselkedést a supervisor felismeri és a robusztus irányítás beavatkozásával helyettesíti.

Elsődleges performanciák (biztonsági távolság, sebesség korlátok között tartása)

Másodlagos performanciák (energiafogyasztás minimalizálása, kényelem növelése, pozitív hatás a környező forgalomra, utazási idő minimalizálása)





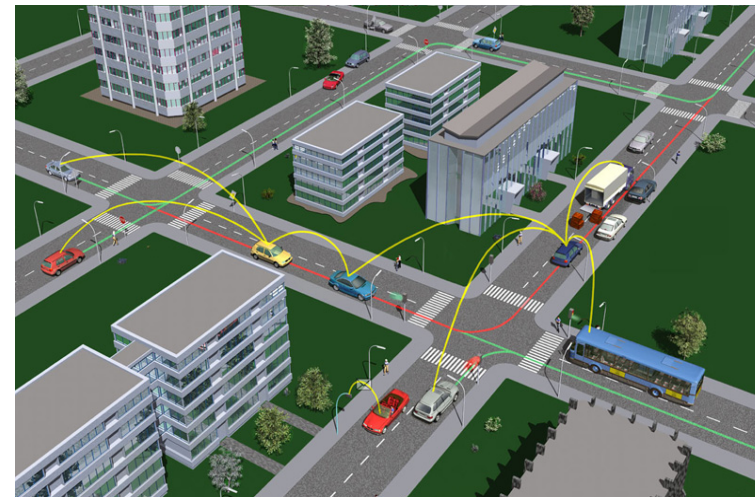
Új kihívások és veszélyek

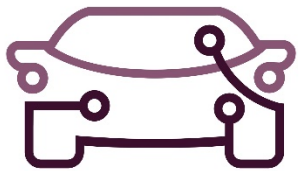
A V2X technológiák **új kihívásokat és fenyegetéseket** jelentenek

- Lehallgatás és aktív zavarás
- Titkos információk kiszivárogtatása (ipari titkok, magánadatok)
- Megszemélyesítés azaz a jármű vagy a járműben ülő személy nevében küldünk el információkat.
- Adatok torzítása, hamisítása. Például megkülönböztetett járműként előnyt kapunk a közlekedésben.

Példa

A járművek sebességtervezése a felhőben történik:
Egy kibertámadás során a támadó olyan jeleket küld ki a járműveknek, amikkel összeütköznének.
Ha a tervezés során kihasználjuk a szenzorfüzió adta lehetőségeket, azaz figyelembe vesszük a fedélzeti jeleket, akkor a baleset elkerülhetővé válik.





Autonóm közúti járművek irányítása



Köszönöm a figyelmet

Gáspár Péter

gaspar.peter@sztaki.hu



SZTAKI

ELKH

Eötvös Loránd
Research Network



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2



**SZÉCHENYI
EGYETEM**
UNIVERSITY OF GYŐR