

Dr. Németh Balázs doktori értekezésének tudományos eredményeit négy tézisben foglalta össze.

**Tézis I.: Robusztus irányítástervezési módszerek garantált minőségi jellemzők elérésére**

(a) *Robusztus irányítástervezési módszertant dolgoztam ki olyan rendszerek számára, amelyekben tanulásra épülő ágensek szolgáltatják a rendszer referencijelét. A módszertan eredménye egy supervisory típusú irányítórendszer (I(a) ábra), ami garanciákat biztosít az előre definiált minőségi jellemzők szintjére nézve. A robusztus tervezés a  $H_\infty$  módszeren alapszik, ahol a referencijel változását a rendszer zavarójel bemeneteként vettem figyelembe.*

(b) *Robusztus irányítástervezési módszert dolgoztam ki olyan rendszerek számára, amelyekben az irányítási hurok tanulásra épülő ágenseket tartalmaz. A tervezés garanciákat biztosít az előre definiált minőségi jellemzők szintjére. Az új típusú irányítási kör két fő elemet tartalmaz, úgymint egy supervisort és egy robusztus irányítást (I(b) ábra). A supervisor szerepe az aktuális irányítójel meghatározása, ami a tanulás-alapú ágens és a robusztus irányítás kimeneteinek összehasonlításán alapszik. A supervisorban működő algoritmus egy korlátozások melletti kvadratikus optimalizálás. A robusztus irányítás tervezése a Lineáris Változó Paraméter (LPV) módszerre épül, amiben a tanulás-alapú ágens és a robusztus irányítás kimeneteinek eltérése ütemezési változóként és ismert bizonytalanságként kerül figyelembevételre.*

Robusztus irányítástervezési módszereket ad, amelyek bizonyos minőségi jellemzőket garantálnak. A referencijel képzésére nézve dolgozott ki supervisor algoritmust, valamint egy  $H$ -végtelen tervezési eljárást, illetve az irányítás visszacsatolási körében lévő nem hagyományos irányítóelem kezelésére határozott meg supervisor algoritmust, valamint egy LPV irányítástervezési eljárást. A módszer legfőbb erénye a strukturált felépítésben rejlik, amelynek mentén az egyes blokkok egymástól lényegében függetlenül, vagy csak kevés paraméter összefüggése alapján tervezhetők és implementálhatók.

Mindezek alapján a bírálóbizottság az I. tézist változatlan formában elfogadja.

**Tézis II.: Automatizált járművek energia-optimális hosszirányú irányítása**

(a) *Predikciós módszert dolgoztam ki automatizált járművek mozgásprofiljának tervezésére. Az új módszerben a sebességtervezés során a jármű jövőbeli útvonalára vonatkozó számos információt vettem figyelembe, úgymint domborzati viszonyokat, forgalmi információkat és a környezetben haladó járművek mozgási információit.*

(b) *Új energia-optimális megoldást adtam automatizált járművek többkritériumos mozgásprofil tervezésének problémájára. A módszer korlátozások melletti kvadratikus optimalizálási eljárás megoldásán alapszik, amivel a jármű energiafogyasztása és a menetidő közötti összhang biztosítható. A irányítási architektúrában a kidolgozott sebességprofil tervezés elkülönül a hosszirányú irányítástól, ami elősegíti a módszer implementációját különböző platformokon. Az új energia-optimális mozgásprofil tervezési módszer hatékonyságát szimulációs környezetben és tesztjárművön történő méréseken*

*igazoltam. Az implementációk eredményei megmutatták, hogy a kidolgozott módszer képes hatékonyan növelni az automatizált járművek energiafelhasználására és menetidejére vonatkozó minőségi jellemzők szintjét valós körülmények között.*

*(c) Automatizált jármű jövőbeli útvonalára vonatkozó út és közlekedési információkat figyelembe vevő energia-optimalis mozgástervezési módszert dolgoztam ki minőségi jellemzőkre garanciákat biztosító tervezési struktúrában. A kidolgozott új irányítási stratégia a jármű biztonságkritikus minőségi jellemzőinek szintjére garanciákat biztosít - mint például a járművek közötti biztonságos távolság megtartása, sebességkorlátozások betartása - a jármű-jármű kommunikációval kapott mért jelek minőségének romlása esetén is.*

Automatizált járművek hosszirányú optimalis prediktív irányítását dolgozta ki, amely energia-optimalis működést tesz lehetővé, figyelembe véve a környezeti és közlekedési információkat, továbbá biztosítva az előírt minőségi jellemzők garantálását. Alapvető újdonság, hogy ebben az esetben nincs szükség egy összetett szabályozás kialakítására, hanem egy sebességtervező réteg a járműszintű irányítás fölé van helyezve.

Mindezek alapján a bírálóbizottság a II. tézist változatlan formában elfogadja.

### **Tézis III.: Irányítástervezés automatizált járművek biztonságkritikus interakcióinak kezelésére**

*(a) Kiterjesztettem az új energia-optimalis mozgásprofil tervezési módszert több automatizált jármű kereszteződésben történő interakciójának kezelésére. Az automatizált járművek kereszteződésben történő koordinációját az optimalizálási feladat kiterjesztésével oldottam meg, ami magában foglalja a járművek áthaladási sorrendjének meghatározását, valamint a sebességprofiljaik megválasztását. Az automatizált járművek mozgásának koordinációja során az optimalizálási feladatban figyelembe vettem az ember-vezette járművek mozgását.*

*(b) Új energia-optimalis mozgásprofil tervezési módszert dolgoztam ki automatizált járművek közlekedési helyzeteinek kezelésére, minőségi jellemzőket garantáló irányítási struktúrában. A kidolgozott irányítási módszertan három elemet tartalmaz, úgymint a robusztus irányítást, a supervisort és egy megerősítő tanulás alapú ágenszt. A robusztus irányítás szerepe a supervisorral együttműködve az automatizált jármű és a többi jármű közötti ütközés elkerülésének garantálása. A tanulásra épülő ágenszt célja az energiagazdaságos haladásra és a menetidőre vonatkozó minőségi jellemzők szintjének növelése. Az új irányítási struktúrában a robusztus irányítás és a tanulás-alapú irányítás előnyeit ötvöztem, úgymint a biztonságkritikus minőségi jellemzők minimális szintjének garantálását, valamint a többi minőségi jellemző maximális szintjének növelési képességét.*

Automatizált járművek biztonságkritikus interakcióinak kezelésére irányítástervezési eljárásokat dolgozott ki, amelyek eredményeként az energia-optimalis mozgástervezési módszertanát terjesztette ki, egyrészt egy sorrendiséget meghatározó módszertant is magában foglalóan, másrészt kezelve a forgalomban jelenlévő emberi szereplők mozgását. Kiemelendő, hogy a problémát gépi tanulási eljárással kezelte, amelynek eredményességét vegyes közlekedési helyzetek példáján szemléltette.

Mindezek alapján a bírálóbizottság a III. tézist változatlan formában elfogadja.

## **Tézis IV.: Analízis és szintézis módszerek automatizált járművek mozgásának forgalomban történő irányítására**

4/B

*(a) Analízis módszert dolgoztam ki energia-optimális hosszirányú irányítással rendelkező automatizált járművek hatásának elemzésére forgalomáramlás időtartományi minőségi jellemzőinek vonatkozásában. Nagypontosságú forgalmi szimulátoron végzett vizsgálatokon keresztül az alábbi következtetéseket fogalmaztam meg. Az automatizált járművek energia-optimális mozgását megvalósító irányítás tervezési paramétereinek megválasztása hatással van a közlekedési hálózatban haladó járművek összesített energiafelhasználására. Az automatizált járművek forgalomban való arányának növekedése javítja a járművek összesített energiafogyasztásának jellemzőit. Ez az előnyös hatás nagyobb forgalomáramlás mellett jelentősebb. Ezen következtetések alapján paraméter megválasztási stratégiát alkottam automatizált járművek energiaoptimális mozgásprofil tervezéséhez. A stratégiával összhangot biztosítottam az egyes automatizált járművek energiafogyasztásának és menetidejének csökkentése, valamint a forgalomáramlás növelésének minőségi jellemzői között.*

*(b) Új analízis módszert dolgoztam ki diszkrét idejű polinomiális rendszerek irányítási invariáns halmazainak belső közelítésére. A közelítést maximalizálási problémaként fogalmaztam meg, Sum-of-Squares korlátozó feltételeken keresztül. A maximalizálás eredménye egy irányítási Lyapunov függvény, aminek egy szintvonala közelíti a maximális irányítási invariáns halmazt. Új módszert dolgoztam ki olyan forgalomáramlások dinamikájának polinomiális rendszerként történő modellezésére, amelyek automatizált járműveket és embervezette járműveket egyaránt tartalmaznak. Az irányítási invariáns halmazok új közelítési eljárását alkalmaztam az új forgalomáramlási modellre, aminek eredményeként módszert adtam az állapotér stabilizálható és irányítható tartományainak meghatározására. Erre építve olyan stabilitási kritériumot írtam fel, amely alkalmazásra kerül az alábbiakban a forgalomáramlás szabályozása során.*

*(c) Prediktív irányítási stratégiát dolgoztam ki automatizált járművek és szabályozott autópálya felhajtók koordinált irányítására. Az új irányítás-tervezési módszerben az automatizált járművek közlekedési hálózatban való arányától függő, általam kidolgozott új forgalomáramlási modell került alkalmazásra. A stabilitási kritériumot a prediktív irányítástervezés optimalizálási feladatába korlátozásként építettem be. Az irányítás eredményeként a kidolgozott irányítási stratégia az egyedi automatizált járművek számára olyan sebességmegválasztást garantál, amellyel a forgalomáramlás maximalizálása, mint közlekedési szintű minőségi jellemző, megvalósítható.*

Automatizált járművek forgalomban való mozgásának hatását elemezte, illetve annak optimalizálására nézve tervezési módszertant dolgozott ki. Szimulációra épülő elemzéseket készített, amellyel értékelte az energia-optimális mozgástervezési eljárását autópályán bonyolódó forgalmi helyzetekben. Új, invariáns halmazokra épülő elemzési eljárást dolgozott ki a forgalom stabilitási határainak meghatározására, továbbá prediktív irányítási módszertant mutatott be az analízis eredményeinek figyelembevételével, amellyel a járművek mozgása összehangolható a magasabb, közlekedési szintű elvárásoknak megfelelően.

Mindezek alapján a bírálóbizottság a IV. tézist változatlan formában elfogadja.