

Szeretném megköszönni Dr. Várlaki Péter professzor úrnak az értekezésem átolvasására szánt időt, a pozitív bírálói véleményét és releváns észrevételeit. Külön, köszönöm, hogy a tézisekben megfogalmazott új eredményeket elfogadta és kiemelte, hogy a kutatómunkám talán legfontosabb érdeme, hogy a közúti közlekedés természetéből fakadó korlátozásokat sikerült a szabályozótervezés során megfelelően megválasztott módszerekkel biztosítani.

A Bírálóm megjegyzésére és kritikai észrevételeire az alábbiakban válaszolok:

*„A választott téma sajátosságából következik, hogy a közlekedésmérnöki és az irányítástechnikai tudomány területeiről igen széles ismereteket ölel át. A Jelölt igyekezett az olvasó számára megteremteni a két terület közötti átjárhatóságot, ami igen nehéz feladat, de egyes helyeken és bizonyos kérdésekben érződik ennek hiánya..... A függelék egyes matematikai levezetései néhol túlságosan tömörek, célszerű lett volna ezeket jobban kifejteni.”*

A kritikát teljes mértékben elfogadom, valóban az értekezésem készítése során az volt a legnehezebb feladat, hogy a témában végzett kiterjedt kutatómunkámnak a több tudományterületre is átnyúló, sokrétű eredményeit, hogyan lehet a lehető legegyszerűbben és jól érthetően bemutatni a megadott terjedelmi korlátok között. Igyekeztem a tételek bizonyítása során a legszükségesebb formalizmust használni, és a részletesebb levezetéseket és példákat a függelékben megjeleníteni. Sajnálom, ha mégis maradtak az értekezésben nehezebben érthető részek a dolgozatban. A függelék tömör levezetései mellett igyekeztem azoknak a szakirodalmi háttérét is meghivatkozni, ahol szükség szerint a megadott téma részletesebb kifejtése is elérhető.

A Bíráló a következő konkrét kérdést is megfogalmazta:

*Itt feltenném a Jelöltnek a kérdést, hogy a becslésekben és az algoritmusokban szereplő fenti  $(Q,R)$  súlyozó mátrixok (amelyek hivatottak a rendszer és a modellezés bizonytalanságának tükrözésére is) milyen szempontok, illetve módszerek szerint közelíthetők, illetve határozhatók meg?*

A  $Q$  és  $R$  súlyozómátrixok az általam felhasznált módszerekben valóban rendkívül fontos szerepet kapnak és alapvetően határozzák meg azok minőségi jellemzőit. Mind az állapotbecslők, mind az irányítási algoritmusokban felhasznált súlyozómátrixok célja általánosan, hogy megjelenítse az általunk felállított súlyozási szempontokat, valamint a rendszer állapotának és kimenetének ismert tulajdonságairól és szórásáról információt hordozzon.

Általánosságban a  $Q$  és az  $R$  súlyozó mátrixokat minimum két-két tagra lehet bontani, az első a kezdeti értéknek megfelelő súlyok, a második a működés közbeni súlyok. Ez különösen fontos az általam alkalmazott becsléseknél, főleg az MHE módszernél, ahol a kezdeti érték hordozza a korábbi események valamennyi tulajdonságát.

Az általam használt becslési módszerekben (főleg az MHE esetében) a  $Q$  mátrix az állapotok, illetve az azokra rakódó bizonytalanságok (zajok) súlyozására, míg az  $R$  mátrix a kimeneteken lévő zajok elnyomására szolgál. Ebben az esetben a pontos becslés eléréséhez az állapotzaj kovariancia adja a  $Q$  mátrixot, míg a kimeneteken mért zaj kovariancia adja az  $R$  súlymátrixot. Ezek meghatározásához ismernünk ezen zajösszetevők tulajdonságait és szórását. A mátrixok

szimmetrikus, pozitív, szemi-definit súlyozó mátrixok. A  $Q$  mátrix az állapotokat „bünteti”, az  $R$  mátrix pedig a kimeneti becsült hibát súlyozza.

A szabályozó algoritmusokban is hasonló a szerepe a  $Q$ ,  $R$  mátrixoknak, ahol a  $Q$  az állapotvektort súlyozza, míg az  $R$  a bemenet, az én általam használt szabályozókban döntően a szabad jelzésidőket súlyozza. Fizikai értelemben az állapotvektoron lévő  $Q$  súly az egyes állapotok kiemelésére, mások háttérbe szorítására szolgál, ami ebben az esetben egyes forgalmi irányok, csomóponti ágakban megjelenő forgalmak közötti különbségtételt teszi lehetővé. Ezzel a módszerrel hálózatokon belül lehet olyan fő irányokat, főútvonalakat kijelölni, amelyek forgalmának előnyt szeretnénk biztosítani az forgalomirányítás során. Alapesetben a  $Q$  kezdő értékének célszerű az adott állapot maximális értékeinek (vagy négyzetének) a reciprokait választani.

Az  $R$  mátrix hatása a szabad jelzésekre, azaz közvetve a zöldidőkre hat. Alapesetben azt mondhatjuk, hogy mivel a szabad jelzések felülről korlátosok, célszerű a lehető legkisebb szabad jelzésidőkkel végrehajtani a forgalomirányítási feladatot, tehát az  $R$  mátrixon keresztül a zöldidőket nagy súllyal felvenni. Mivel azonban a  $Q$  és az  $R$  egy funkcionál minimalizálásában játszanak szerepet ezért a kettő egymásra gyakorolt hatása is jelentős. Ha a zöldidők az  $R$  mátrixon keresztül jelentősen súlyozva vannak, akkor az állapot hatása eltörpül, ami az eredeti célunkat, ebben az esetben a kialakuló jármű sorhosszak minimalizálást ellehetetleníti el. Ezért a forgalomirányítási gyakorlatban az  $R$  értékei általában kicsik, hatásuk a  $Q$ -hoz képest szerényebb, megállapításánál az  $u$  bemenet valós értékeit, és szórását lehet alapul venni, de az  $R$  hatása a  $Q$ -hoz képest jelentősen kisebb legyen a funkcionálban.

Budapest, 2020. április 15.

.....  
Varga István