

VÉLEMÉNY

Dr. Péter Tamás: „Közúti járműforgalmi folyamatok nemlineáris modellezése nagyméretű hálózatokon”

című MTA doktori értekezéséről

1. ÁLTALÁNOS MEGJEGYZÉSEK

A 137 számozott oldal terjedelmű disszertáció tartalmaz egy rövid Bevezetést (1. fejezet), majd ezt követően a szerző a 2. fejezetben részletesen bemutatja a kutatás háttérét, a motiváló tényezőket és a tudományos kutatás alapvető célkitűzéseit. A 3. fejezet általános bevezetést nyújt a közúti közlekedési rendszerek forgalmi folyamatainak modellezése területébe, ismertetve a rendszerek leírására használt szakterületi fogalmakat, modellezési módszereket és jelentősebb modelleket. Az érdemi 4., 5. és 7. fejezetek tartalmazzák a szerző részletesen bemutatott modellezési kutatási eredményeit és a hozzájuk tartozó T1-T4 téziseket. A disszertáció tartalmaz még az alkalmazásokkal összefüggésben két fontos, empirikus és szimulációs eljárásokkal nyert eredményeket tartalmazó és a téziseket alátámasztó fejezetet (6., 8. és 9.), az új tudományos eredmények összefoglalását (10. fejezet), több száz tételből álló irodalomjegyzéket és 6 mellékletből álló függelék - utóbbiak értékes adalékot nyújtanak a disszertációban vizsgált problémákhoz.

Jelölt doktori értekezése a témakör aktuális és mind elméleti, módszertani, mind pedig gyakorlati modellezési szempontból jelentős feladatokkal foglalkozik. A disszertációban a szerző összefoglalja az elmúlt több mint két évtizedben elért kutatási eredményeit, melyeket tudományos fokozat megszerzése után születtek.

A dolgozatban vizsgált kutatási feladatok jellegüknél fogva csak csoportmunkával oldhatók meg, ezért a publikációk ezen a területen jellemzően többszerzősek. A disszertáció témakörében felsorolt 100-nál több saját publikáció és az eredményeket alátámasztó kutatási jelentés többségében Jelölt elsőhelyes szerző. Azt is fontos megemlíteni itt, hogy társszerzői között több védett doktorandusza és volt hallgatója szerepel.

Az értekezés szép kivitelű, jól strukturált, az ábrák és diagramok jól és szépen megrajzoltak, jelentős segítséget nyújtanak a sokirányú összetevőből álló anyag követéséhez. Az értekezés formai szempontból megfelel az általános követelményeknek.

2. A TÉMAVÁLASZTÁS, AZ ÉRTEKEZÉS ÉRTÉKELÉSE

Témaválasztás

Általánosan elmondható, hogy a nagyméretű közúti hálózatok forgalmi folyamatainak vizsgálata és modellezése annak kiemelt gazdasági, társadalmi, közlekedésbiztonsági és környezetvédelmi szempontú jelentősége miatt egy aktuális, az összetevői (a közlekedési hálózat szerkezete és nagysága, sokféle szabályozása, a forgalomban részt vevők összetettsége, változó meteorológiai paraméterek és valójában sztochasztikus jellege, valamint a rendszer méretei miatti komplexitása) igen bonyolult kutatási és gyakorlati feladat. A kutatási téma fontos a forgalomban lévő járművek és a telekommunikációs rendszerek változásai miatt is, amelyek kihatással vannak a közúti forgalmi folyamatokra és szabályozásukra.

Az értekezés eredményei és értékelése

A közlekedési hálózatok és folyamatok vizsgálatával és modellezésével annak jelentősége miatt igen sok publikáció, tanulmány és konkrét alkalmazott modell született az elmúlt évtizedekben mind nemzetközi, mind pedig hazai vonatkozásban. A nagyméretű közlekedési hálózatok és folyamataik modellezése számos kihívással párosul, amely minden vonatkozásában különös figyelmet és tapasztalatot követel.

A 2. fejezetben a szerző sokoldalúan elemzi a közúti közlekedés és a vele szoros összefüggésben lévő nagyméretű közlekedési hálózatok szerteágazó kutatási területét és problémáit, továbbá annak a jelentős gazdasági és társadalmi folyamatokra vonatkozó hatását. Célként fogalmazza meg olyan új, kellően általános és hatékony modell létrehozását, amely alkalmas egy nagyméretű közlekedési hálózat speciális leírásával együtt a hálózaton történő makroszkopikus közlekedési folyamatok leírására és irányítására.

A 3. fejezetben kerül sor a közlekedési hálózatok modellezésénél használt alapvető fogalmak és jelölések bevezetésére, mint például az idő függvényében vizsgált forgalomnagyság (vagy járműsűrűség), egységjármű, járművek átlagos sebessége, áramlási sebesség és felírja a közöttük az idő függvényében fennálló (3.1) és (3.2) összefüggéseket. Utóbbi az ún. fundamentális egyenlet, amely a makroszkopikus modellezés alapegyenlete, és ami leírja a forgalomnagyság és az áramlási sebesség közötti összefüggést.

Itt meg kell említeni azt, hogy a folytonosnak tekintett modellben a járműsűrűséggel szemben bizonyos analitikus tulajdonságoknak kell teljesülnie, amelyek lehetővé teszik a gyakorlat számára felhasználható dinamikus modell kidolgozását és vizsgálatát.

Ezután a Jelölt részletezi a modellezés különböző lépéseit és részfeladatait, valamint az egyes modellosztályokat, majd kitér e területen elért hazai eredményekre. A fejezet hátralevő részében részletesen elemzi ezen a tudományterületen alkalmazott legfontosabb modellezési eljárásokat, úgy mint: ACC, LWR, MPC, STARIMA (téridős autoregresszív integrált mozgó átlag) modelleket és továbbfejlesztett változataikat, amelyek a járműforgalom dinamikus modellezése és irányítása során felmerültek. Bár ez a fejezet nem tartalmaz új tudományos eredményeket, ugyanakkor értékes és hasznos összefoglaló anyagot képez a továbbiak megértéséhez.

A 4. fejezetben a szerző bevezet egy új általános, a makroszkopikus közlekedési folyamatok leírására alkalmas modellt. A hagyományos modellezés alapja az úthálózathoz rendelt irányított gráf, az azon megvalósuló bonyolult forgalmi folyamatok pedig csak az úthálózattal, közlekedési szabályokkal, a forgalomban részvevő járművekkel és az azt vezetőikkel, időjárási tényezőkkel, stb. együtt értelmezhetők és modellezhetők. A modellezés során azt is figyelembe kell venni, hogy alapvetően nagyméretű sztochasztikus dinamikus rendszerekről van szó és az ugyancsak nagyméretű közúti hálózatok esetén a feladat bonyolultsága és komplexitása irányításelméleti megfontolásokkal kiegészítve is új megközelítést igényel. Ebben a fejezetben a szerző által bevezetett modell kiinduló pontja az, hogy a geometriai úthálózat irányított gráfját alkalmas módon újradefiniálja (37. o.) általánosított szakaszokkal (szektorokkal), valamint a hozzájuk rendelt forgalmi állapotokkal és hosszkapacitásokkal. Ezután vizsgálható egy szektor, mint egy dinamikus részrendszer, majd vele együtt a szektoron a szabad be- és kiáramlás. A modellezéshez szükséges feltétel az, hogy a szektorokon a sebességfüggvények, járműsűrűség-függvények (és így a járműszám-függvények is) a t -idő szerint differenciálhatók legyenek. E feltételek mellett lehet levezetni a járműsűrűségre vonatkozó (4.14) differenciálegyenletet és a szabadáramlási modellt (40. o.).

Az összes szektort, illetve egy részüket vizsgálja a szerző univerzális, illetve szűkített hálózati modell esetében. Felbontja a hálózatot belső és külső részhálózatra és definiálja a hozzájuk tartozó szektorok közötti négyféle kapcsolatot (42. o.), melyeket a kapcsolati hipermatrix írja le (ld. 4.6. ábra és (4.19) formula). A belső és külső részhálózat együttes vizsgálatának a szintézise megadja az egész rendszer jellemzőit. A modell alkalmas arra, hogy beépítésre kerüljenek olyan paraméterek a (4.19) formulában, amelyek pl. a különböző útminőségeket, vagy a meteorológiai jellemzőket is figyelembe tudja venni. A sebesség-járműsűrűség sztochasztikus kapcsolatot leíró függvényekkel külön foglalkozik a szerző, a hozzájuk tartozó paraméterek becslése regressziós módszerrel történik. E kapcsolat leírására az irodalom számos függvénytípust ajánl, ezek elemzésére is sor kerül (49-51. o.). A fejezetben elért eredményeket a szerző a T_1 téziscsoport (1)-(6) altéziseiben foglalja össze.

Az 5. fejezet foglalkozik a hálózati forgalom általános matematikai modelljével. A felépített modell párhuzamba vonható egy speciális tulajdonságokkal rendelkező kooperatív dinamikus rendszerrel, ami lehetővé teszi a pozitív rendszerek elméletének alkalmazását. Ugyanakkor azt is meg kell jegyezni, hogy egy valós rendszer nagyon összetett lehet, nagyszámú változóval és összetett kölcsönhatásokkal rendelkezhet, így elemzésük nagy kihívást jelenthet.

A Jelölt a fejezet elején tárgyalja a hálózati forgalom általános matematikai modelljéhez szükséges alapvető fogalmakat és a figyelembe veendő tényezőket, Bevezeti az alkalmas matematikai formalizmust a forgalmi folyamat leírására a forgalmi struktúra, a szabályozóelemek, a forgalomban részt vevő különböző járművek és egyéb tényezők figyelembevételével, A modell matematikai formalizmussal történő leírását több jellemző példa és ábra bemutatásával szemlélteti.

A dinamikus kooperatív forgalmi folyamatot a belső és külső tartományhoz tartozó belső-belső, külső-belső és belső-külső kapcsolatok határozzák, ezeket a szektorok közötti dinamikus kapcsolati mátrix adja meg. Egy belső, illetve külső szektorra vonatkozóan ezeket a dinamikus kapcsolatokat az 5.5, illetve az 5.8. ábra szemlélteti. A folytonos modellre tett korábbi feltételek alapján levezetésre kerültek a belső, illetve külső szektorok esetén a járműsűrűségeket leíró differenciálegyenletek (ld. (5.7) és (5.9.)).

Az 5.4. szakaszban a szerző a sebesség-sűrűség függvényt vizsgálja a hálózaton. és tesz megállapításokat abban az esetben, amikor a hálózaton bármely egymáshoz csatlakozó szektoron külön-külön teljesül a Greenshields-féle diagram-linearitás feltétel. Ezután a vizsgálatokat kiterjeszti általánosabb, (5.11) alakú sebesség-sűrűség függvénykapcsolatokra és belátja, hogy a korábban említésre került szabadáramlás feltétele esetén az n változós sebesség-sűrűség függvényre érvényes az (5.12) formula. Ezeket az eredményeket a Jelölt a T_2 tézisben foglalja össze. A fejezet hátralevő részében a bevezetett kapcsolati hipermatrixra támaszkodva egy egységes forgalmi modellt állít fel a teljes forgalmi hálózatra nézve és vizsgálja a globális hálózat (5.15), illetve a szűkített hálózat (5.16) differenciálegyenlet-rendszerét.

A 6. fejezet egy konkrét közúti hálózati részrendszert (ld. 6.1. ábra) vizsgál szimulációs módszerekkel, Az összetett modell összehangolt forgalomirányító lámpákat is tartalmaz az egyes be- és kimeneteken. A szerző részletesen kitér a konkrét paraméterezésre és a kapcsolati összefüggéseket leíró hipermatrixokra, a paraméterekre vonatkozó részletes számításokat pedig a 3. melléklet tartalmazza. A szimulációval kapott numerikus eredmények és diagramok megvilágítják a modellezés gyakorlati alkalmazhatóságát, valamint illusztrálják a modellre kapott eredményeket. A szimulált modell eredményei megjelenítik a közlekedési lámpák periodikus működésére vonatkozó hatását és azt a fontos tulajdonságot is, hogy a részrendszer az adott paraméterek és kapcsolati függvények mellett aszimptotikusan stabil.

A disszertáció 7. fejezete foglalkozik az általános modell stabilitási kérdéseivel, amely a szektorok közötti dinamikus kapcsolati mátrix tulajdonságaitól függ (ld. 5. fejezet), és amire már 6. fejezetben tárgyalt hálózati modell és a rá vonatkozó szimulációs eredmények is utaltak. A dinamikus kooperatív folyamatok stabilitási problémáival több tudományterületen számos publikáció foglalkozik és a szerző érdeme, hogy ezeket a közlekedési rendszerek vonatkozásában alkalmazza. A közúti forgalmi folyamatot a modellben a belső és külső tartományhoz tartozó belső-belső, külső-belső és belső-külső kapcsolatok határozzák meg a szektorok közötti dinamikus kapcsolati mátrixokkal. A fejezet a modell forgalomszabályozási szempontból alapvető tulajdonságával, a stabilitás kérdésével foglalkozik. A szerző megmutatja, hogy ez a probléma analizálható pozitív rendszerek esetén a lineáris (7.2) Ljapunov-függvény segítségével, amire egyébként a 2. és 3. fejezetekben is kitért, továbbá azt is, hogy a stabilitási tulajdonság biztosításához a sebességfüggvények, járműsűrűség-függvények differenciálhatósága mellett elegendő megkövetelni a természetes (7.18) feltételt.

A 8. és 9. fejezet értékes, konkrét részrendszerek gyakorlati modellezési kérdéseivel foglalkozik szimulációs módszerek felhasználásával. Ezek az eredmények alátámasztják a Jelölt közúti forgalmat leíró általános modelljének alkalmazhatóságát és rávilágítanak arra, hogy a modellek felhasználásával új elvű, tartományi szinten a csomópontokon optimális átbocsátást és optimális járműsűrűséget lehet elérni.

Fontos része a modellezésnek az eredmények validálása. A modellezés során számos olyan, a forgalmat befolyásoló tényezővel lehet találkozni, amelyek sztochasztikus jelleggel bírnak. Ezek makroszintű vizsgálatok esetén más módon merülnek fel (járművek átlagos sebessége, áramlási sebesség), mint a trajektórián történő mozgással kapcsolatban, amikor a sebesség az idő függvényében egy sztochasztikus folyamat realizációit jelenti és egyedi sebességprofilokról van szó. A modell validálása valós körülmények között budapesti és győri mérési eredmények alapján lett elvégezve és kerültek összehasonlításra szimulációs eredményekkel.

A tézisek értékelése.

A T_1 tézis altéziseit, valamint a T_2 és T_3 tézis megállapításait elfogadom új, gyakorlati számításokkal is alátámasztott eredményeknek. A T_4 tézist egészében el tudom fogadni mint lehetséges modellezési megközelítést.

3. KÉRDÉSEK A JELÖLTHÖZ:

1. A járművekben elterjedő kommunikációs és a járművezetést befolyásoló eszközök milyen mértékű hatást jelenthetnek az eddigi forgalomszabályozási rendszerekhez képest?

Mit jelent a modellezés számára és hogyan lehetne figyelembe venni a közlekedésben résztvevők mobil kommunikációs rendszerét (pl. Waze), illetve annak hatását a közlekedési folyamatokra, amelyek valós idejű forgalmi adatokon és jelentéseken alapulva segítenek a valós idejű útvonalak időben történő optimális kiválasztásában?

2. A modell paramétereinek megválasztásánál, illetve ezzel összefüggésben az állapotok osztályozásánál (pl. útminőség jellemzői, meteorológiai paraméterek kategorizálása, jármű jellemzők) milyen gyakorlati problémák merültek fel a szimulációs vizsgálatok során? Mi lehet az empirikus és szimulációs vizsgálatok esetében a reális határa a z állapotkategóriák bevezetésének?

3. A sebességtartomány milyen felbontása mellett lett alkalmazva a 97.-on a kétmintás χ^2 –próba a homogenitás vizsgálatára?

4. Milyen konkrét kutatási eredmények vannak a járműtermelési és amortizációs folyamatok közötti forgalmi folyamatokra gyakorolt hatásaira nézve – különös tekintettel Magyarországra nézve?

4. ÖSSZEFOGLALÓ ÉRTÉKELÉS

Az értekezés egységes rendszerben, megfelelő formában mutatja be Jelöltnek azokat a vizsgálati, modellalkotási eljárásait és tudományos eredményeit, amelyek a nagyméretű közötti hálózatok igen sokrétű forgalmi folyamataira vonatkoznak és amelyek a közlekedéstudomány különösen fontos és dinamikusan fejlődő területét képezik.

Értelemszerűen az értekezésben nem találhatók új elméleti matematikai megállapítások, ugyanakkor új általánosított hálózati modell kialakítása, az elméleti matematika eredményeinek felhasználása a kidolgozott modell stabilitási tulajdonságainak elemzésére és a szimulációs vizsgálatokat lehetővé tevő számítógépes programok kidolgozása, valamint alkalmazása új eredményekhez vezetett a közötti forgalmi folyamatok vizsgálatában.

Az értekezésben tárgyalt általános, a forgalmi hálózatot és folyamatot leíró modell kidolgozása, matematikai analízise és az eredményeket alátámasztó empirikus és szimulációs vizsgálati eredmények elméleti és gyakorlati szempontból is egyaránt fontosak az alkalmazott módszertannal együtt.

Elmondható, hogy a Jelölt a matematikai eszközöket, vizsgálati módszereket jól választotta meg és megfelelően alkalmazta, ezért a levont következtetések korrektek. A tézisekben megfogalmazott tudományos eredmények megalapozottak, elérésükben a Jelöltnek meghatározó szerepe volt, továbbá megfelelő módon publikálásra kerültek, melyeket elfogadom új tudományos eredményekként.

Összefoglalóan megállapítom, hogy Péter Tamás értekezése mind formai, mind tartalmi vonatkozásban kielégíti az MTA doktori szabályzatában előírt követelményeket. Jelölt a PhD fokozat megszerzése óta jelentős tudományos eredményekkel és gyakorlati alkalmazásokkal gyarapította a közlekedéstudomány tudományterületét. Mindezek alapján javaslom a nyilvános vita kifizetését és Péter Tamás részére az MTA doktora cím odaítélését.

Budapest, 2021. augusztus 5.



Dr.Szeidl László
a mat. tud. (MTA) doktora