

Járműváz-szerkezetek terhelésének modellezése és alkalmazása élettartam-számításokra fuzzy szabálybázison alapuló valamint statisztikai módszerek segítségével

T042896

Témavezető: Dr. Michelberger Pál

egyetemi tanár, akadémikus

Zárójelentés

I. A kutatási munka előzetes célkitűzései

Kutatási munkánk során négy kutatási irányt tűztünk ki célul. Az első a járműtest deformációk identifikációjával foglalkozik, különböző hatékony intelligens számítási eljárások alkalmazásával.

A második célkitűzésünk a járműváz-szerkezetek járműtestek deformációs eloszlásának vizsgálat volt, különös tekintettel a balesetknél keletkező deformációs folyamatokra, valamint a közlekedésbiztonságot elősegítő, képfeldolgozáson alapuló rendszerek támogatására irányuló új módszerek kidolgozása volt. Itt elsődleges célul tűztük ki a deformáció jellegének identifikációját. Erre vizuális alapon működő 3D modellező koncepciót fejlesztettünk ki, melynek segítségével a deformációs folyamat eredményeként keletkező deformációs felület jellege hatékonyan mérhető és további - deformációval kapcsolatos - elemzések támogató eszközeként is alkalmazható. Ugyanezen célkitűzésünkhöz kapcsolódóan az intelligens járműrendszerekben gyakran alkalmazott vizuális információt hasznosító rendszerek támogatására fejlesztettünk ki képkorrekciós eljárást. Mindezen eredményeket természetesen nemzetközi neves konferenciákon és folyóiratokban is publikáltuk.

Kutatási munkánk harmadik célkitűzése a HOSVD bázisú tenzorsorozat modellek alkalmazása volt bonyolult járműdinamikai lengési problémák megoldása során. Itt lineáris paraméterváltozós (időben tehát nemlineáris jellegű) dinamikus rendszerek politopikus modelljeinek kidolgozásával foglalkoztunk. Ezen belül célul tűztük ki HOSVD bázisú kanonikus forma konstruálását a lineáris paraméterváltozójú rendszerek modellezésében.

A negyedik célkitűzésünk a járműdinamikai folyamatok terhelési körülményeinek sztochasztikus vizsgálata volt. Ezen belül konkrétan célul tűztük ki újszerű a járműváz szerkezet élettartamát alapvetően befolyásoló feszültség-szint-átmetszési statisztikák kidolgozását ergodikus jellegű sztochasztikus terhelési folyamatok hipotézise esetén. Ugyancsak foglalkozni kívántunk az átlagos szintátmetszési statisztikák szóródási jellegű karakterisztikájának valószínűség számítási leírásával is.

II. A kutatási munka során elért eredmények ismertetése

a. Járműtest deformációk modellezése intelligens számítási módszerekkel

Feladatunknak új intelligens modellezési eljárások kidolgozását tekintettük, általában heurisztikus jellegű identifikációs algoritmusok alkalmazásával, és a kiegészítő statisztikai elemzések elméleti megalapozását is szoros összefüggésben a felhasznált intelligens logikai eszköztárral. Az így elméletileg megalapozott sztochasztikus, statisztikai jellegű analitikus módszereket a kidolgozott szoftver rendszerekben összekapcsoltuk a neurális hálózatok ugyancsak részben intelligens, részben valószínűségi bázison kidolgozott heurisztikus tanuló algoritmusaival. Az elméletileg megalapozott és részben már kidolgozott módszereket több területen is hatékonyan alkalmazni tudtuk a nagy alakváltozással járó járműdinamikai modellezési feladatok megoldásában.

Módszereket dolgoztunk ki a deformált test identifikálására lágy számítástechnikai módszerek alkalmazásával. A járműtest deformáció finom strukturális identifikációjában elsősorban a keletkezett deformációs felület jellegének identifikációját tekintettük elsődleges feladatunknak. Az alkalmazott stratégiák közül a felület identifikációját, jellegének meghatározását vizuális alapokra helyeztük. Mivel a jármű deformáció során keletkező felület nagyszámú él- és sarokpontot tartalmaz, ezért elsősorban ezek azonosítására (detektálására) helyeztük a hangsúlyt. Erre a célra különböző típusú sztochasztikus algoritmusokat fejlesztettünk ki és alkalmaztunk.

Az azonosítási folyamat során kapott mintázatokban a tévesen azonosított ún. jellegzetes pontok (él- és sarokpontok) megbízható módon kiszűrhetők. Az így kidolgozott módszerekkel előkészítettük a komplex intelligens, sztochasztikus modelleket, melyeket a járműtest deformációs karakterisztikájának meghatározására eredményesen alkalmazhatunk.

A kutatás további szakaszában a járműtest deformáció optikai úton történő mérésére, valamint a járművek környezetében jelenlévő akadályok vizuális alapon való detektálásának támogatására fejlesztettünk ki újszerű módszereket. Ez utóbbi a járműinformatikai rendszerekben is hatékonyan alkalmazható.

Közismert, hogy a járműtest deformációs folyamatának során gyakran olyan bonyolult felületek keletkeznek a járműtesten, melyek identifikációja csupán a jellegzetes pontok azonosításán keresztül, gyakran akadályokba ütközik. Ennek egyik fő oka az egyes deformált karosszéria elemek egymáshoz viszonyított helyzetének tudható be. Ez esetekben ugyanis a takarásban lévő felületelemek optikai úton való mérése akadályokba ütközik. Ezért nagy hangsúlyt fektettünk a takarásban lévő felületelemek mérésére ill. modellezésére is. A kifejlesztett eljárást hibrid jelleggel fejlesztettük ki, melyben egyrészt a jellegzetes pontok azonosítására kifejlesztett módszereket ötvöztük a takarásban lévő elemek mérésére és azok egymáshoz való illesztésére szolgáló eljárásokkal.

Az általunk kifejlesztett módszer lehetővé teszi a kamerák valós időben történő tetszőleges pozícióba való elmozgatását az elmozdulás folyamatos nyomon követését. Így biztosítani tudtuk a statikus képeken nem látható deformált felületelemek optikai úton való rögzítését. Szükségszerű volt a kamerák térbeli helyzetének nyomon követése, amely lehetőséget adott a már említett különböző kamerapozíciókból készített képek alapján rekonstruált felületelemek egymáshoz való illesztésére. A fejlesztésnél nagy szerepet kapott a kamerák elrendezésének optimális megválasztása, ill. a megfelelő kalibrációs folyamat alkalmazása és továbbfejlesztése, amely nagyban hozzájárult a mérési hiba csökkentéséhez. A kalibrációnál ill. az egyes kamerák nyomon követésénél fennálló zajokat minimalizációs

eljárásokkal küszöböltük ki. A módszer eredményeként kapott deformált felületet a gyűrődési folyamat során felemésztett deformációs energia meghatározására alkalmazzuk.

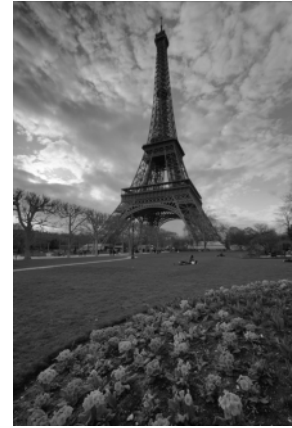
Nem csupán a balesetelemzés, hanem a baleset megelőzés területén is új eredményeket értünk el. Elsősorban a jármű környezetében elhelyezkedő akadályok rossz látási viszonyok melletti detektálásának támogatására hoztunk létre új intelligens eljárásokat. A gyalogos elütéses balesetek viszonylag nagy százaléka a rossz látási viszonyoknak tudható be. Gyorsan változó fényviszonyokhoz az emberi szem relatívan nagy késleltetéssel alkalmazkodik, ami gyakran balesetveszélyes szituációk kialakulásához vezethet.



Bemeneti kép



Bemeneti kép



Eredmény

A jelenlegi rendszerek által alkalmazott kamerák által detektálható intenzitástartomány (dynamic range) nem elegendő ahhoz, hogy rossz látási viszonyok mellett is olyan képeket továbbítsanak a feldolgozó egységek felé, amelyeken az objektumok körvonalai jól láthatók. E korlátokat figyelembe véve új algoritmusokat fejlesztettünk ki különböző expozíciós idővel készült digitális képek azon részeinek elemzésére ill. azok egymáshoz való illesztésére, keverésére, melyek a feldolgozás szempontjából a lehető legtöbb hasznosítható információt tartalmazzák. Ennek támogatására szegmentálási módszert fejlesztettünk ki, amelynél a kép elementáris szegmenseinek gradiens alapú vizsgálatát alkalmazzuk.

A komplexitás csökkentése érdekében intelligens eszközökkel optimalizáltuk a felosztásban résztvevő szegmensek számát, amely a feldolgozás időigényének szempontjából fontosnak bizonyult. A szegmentálást a bemenetként megadott különböző expozíciós idővel készült képek mindegyikén elvégeztük. Az egyes képek leginformatívabb szegmenseinek egyesítésére intelligens keverő eljárásokat alkalmaztunk. Az így kapott digitális képeken csökkentett fényviszonyok mellett is mindazon objektum megtalálható és regisztrálható, melyek felismerése fontos a balesetelkerülés szempontjából (az illusztráció kedvéért itt egy nem szakmai példán mutatjuk be a módszer működését).

b. A járműváz-szerkezet deformációs energia eloszlásának vizsgálata

A balesetelemzés és ezzel összefüggésben a biztonságos járművek tervezése egyre fontosabb feladattá válik. A felmerülő problémák között az egyik legnehezebb és leginkább használható eredményeket ígérő a demonstrációs folyamat rekonstrukciója. A folyamat modellezésének elméleti alapját rendszerint egy egyszerűbb rendszer klasszikus leírása adja, mely kiegészül számítógéppel támogatott numerikus megoldással is. Sajnos azonban ezek a modellek az esetek nagy részében megoldhatatlanul bonyolulttá válnak, ha egy olyan összetett valódi rendszerre próbáljuk alkalmazni, mint amilyen például egy jármű. Egy lehetséges út

ezen probléma megoldásához az ún. lágy számítási módszerek alkalmazása, melyeket sikerrel alkalmaztak már pl. a deformációs energia és az EES meghatározásánál.

Az optimális járműtest megtervezéséhez rengeteg adatra, így aztán sok-sok töréstesztre lenne szükség. Viszont az ilyen típusú tesztek rendkívül költségesek, a nagyobb gyárak is alig néhány százat végeznek el évente. Ezeket természetesen még kiegészítik a valós töréstesztek adatain alapuló számítógépes szimulációkkal, így a vizsgált esetek száma feltornászható néhány ezerre. Ez a szám azonban még mindig nagyon kevés, ha az utakon közlekedő járművek számát és a közlekedési balesetek számát tekintjük, ezért egyre növekvő igény jelentkezik a pontosabb, gyorsabb, alacsonyabb komplexitású modellek iránt.

A közúti balesetek vizsgálatából szerzett jármű specifikus információk felhasználhatók a jövőbeni biztonságosabb járműszerkezet tervezésében, az eredeti jármű struktúrájának és paramétereinek módosításában.

Az egyik legfontosabb ilyen jellegű információ a deformáció során elnyelt energia mennyisége és eloszlása a járműtest egyes részein, illetve ezen eloszlás változása a deformáció lefutása alatt. Bár a véges elem módszerek jó eredményeket szolgáltatnak, de valós esetben nehezen használhatóak, hiszen rengeteg paraméter ismeretét tételezik fel és az ilyen jellegű program számítási igénye is igen magas. A felvetésünk célja így olyan, a deformációs folyamat leírására alkalmas módszer kidolgozása, amely az eddigieknél hatékonyabban képes közelíteni a deformációs folyamat során elnyelt energia eloszlásának változását.

STATIKUS MODELLEK

A baleseti statisztikák vizsgálatából világosan kiderül, hogy a leggyakrabban előforduló baleset a frontális ütközés valamely formája. Ennek megfelelően a deformációt leíró modellek leginkább a járművek elejének energiaelnyelő képességére és deformációjára vonatkoznak. Az egyik legegyszerűbb eljárás, ha a pontosan rögzített tesztkörülmények között megrongálódott járművet hasonlítjuk össze hasonló típusú, de ismeretlen körülmények között roncsolódott autóval. Ekkor egy tapasztalt emberi szakértő általában jól használható becslést képes adni az ütközés kérdéses paramétereire. A humán szakértő ezen tudását természetesen mindig is szerették volna beépíteni a modellbe. Az első ilyen jellegű statisztikai adatokon alapuló modell K. Campbell nevéhez fűződik, majd ezt mások továbbfejlesztették. A modell alapját merev falnak történő ütközések sorozata jelentette. A kísérletek kiértékelésével Campbell arra jutott, hogy a maradandó alakváltozás a sebesség függvénye, továbbá feltételezte, hogy a deformációs energia egyenletesen oszlik el a jármű teljes szélességében.

DINAMIKUS MODELL

Az előzőektől eltérően olyan modellt szeretnénk alkotni, amely a teljes deformációs folyamat során információt nyújt az elnyelt energia eloszlásáról, és nem csak a végeredménnyel foglalkozik. A töréstesztekből és a balesetek elemzéséből az alábbiakra lehet következtetni:

- Egy-egy cella energiaelnyelő képessége a deformációs folyamat során nem jellemezhető állandó értékkel.
- A cellák energiaelnyelő képessége erősen irányfüggő: előfordulhat, hogy egyik irányban könnyebben, míg más irányban jóval nehezebben deformálhatóak.
- Bizonyos esetekben fontos lehet szomszédos cellák közötti energiaterjedés (nyíróerők).

A fentieknek megfelelő modell rövid leírása a következő: tekintsük a járműtest kétdimenziós derékszögű rácshálójával történő felbontását (felülnézetből, a jármű hossz tengelyével párhuzamos és arra merőleges élekkel). A felosztást az egyes részek energiaelnyelési képességét figyelembe véve tesszük meg úgy, hogy egy-egy cella közelítőleg homogén legyen. A felbontást természetesen három dimenzióban is megtehetjük, ekkor a járműtestet a felülnézeti kép mélységében is cellákra osztjuk fel.

A deformációs energia modellezéséhez minden egyes cellához rendelhetünk egy-egy függvényt, amely leírja az adott rész energiaelnyelési tulajdonságát. A deformáció során a cella elnyelési képessége erősen változhat, bizonyos mennyiségű elnyelt energia után hasonló mértékű deformáció csak jóval nagyobb energia befektetéssel érhető el, vagyis a cella tulajdonképpen telítődni kezd. E jelenség leírására egy monoton csökkenő függvényt választunk: a cella a beérkező energia egyre kisebb hányadát képes elnyelni, a többi egyszerűen „átfolyik” rajta, és a szomszédos cellák bemenetét képezi. Egyszerű választás lehet egy szakaszonként lineáris vagy szigmoid szerű függvény. A pontosabb közelítés érdekében akár vehetjük néhány ilyen típusú függvény konvex kombinációját is. A cella által elnyelt energia tulajdonképpen az így definiált elnyelési függvény integráljaként adódik.

Tény, hogy a járműtest felosztásával kapott cellák energiaelnyelési tulajdonsága erősen irányfüggő: a cellát valamilyen irányban könnyű, míg egy másik (pl. az előzőre merőleges) irányban jóval nehezebb deformálni, vagyis hasonló mértékű deformáció eléréséhez jóval nagyobb bemeneti energiára van szükség. Ezért célszerűnek tűnik minden egyes cellához több, a szóba jöhető ortogonális irányoknak megfelelő függvényt definiálni. Célszerű itt a felosztásnál alkalmazott rácsháló tengelyeivel párhuzamos irányokat használni. Ezen irányok fogják szolgáltatni a ráctengelyekkel nem párhuzamos külső hatások felbontásával keletkező komponensek irányait is. Mivel ütközéskor a külső hatás mozgási energiaként jelentkezik, ezért a felbontását egyszerűen a megfelelő sebességkomponensekre bontásából származtathatjuk. „Ferde” ütközés esetén így az energia eloszlás az egyes komponensek hatásainak összegeként értelmezhető.

SPECIÁLIS ESETEK

A közúti balesetek jelentős része a frontális ütközés valamely formája (teljes vagy részleges átfedéssel), így szükséges ezzel külön is foglalkozni.

Teljesen átfedő ütközésnél a jármű teljes szélességében roncsolódik (pl. fálnak vagy másik járműnek csapódik). Ekkor az energiaterjedés folyamata leírható az egymás mellett álló cellák közötti energiaátvitel elhanyagolásával is, hiszen a deformációs energia nagy része a becsapódás irányának megfelelően az egymás mögött álló cellákon halad végig.

Részlegesen átlapoló ütközés esetén (pl. fának ütközik a jármű) viszont fontos szerepet kap az egymás melletti cellák közötti energiaátvitel is, tulajdonképpen a külső hatás által deformált cella húzza maga után a vele szomszédosakat. Ezt a hatást a következőképpen vehetjük figyelembe: egy cella által átengedett energia (a bejövő és az elnyelt különbsége) a vele szomszédos cellákkal való kapcsolatának szorosságát jellemző súlyok arányában oszlik el a szomszédjai között.

Természetesen a modellezés „jósága” az egyes cellákhoz rendelt elnyelési függvények paramétereinek és a cellák közötti kapcsolatot jellemző súlyok helyes megválasztásától függ.

Ebben támaszkodhatunk a már ismert töréstesztek eredményeire, digitális fotók és töréstesztekről készült videofelvételek elemzésére is.

c. Járműdinamikai rendszerek modellezése tenzorszorzat transzformáció és LPV modellekkel

A közúti járműveknél, járműváz-szerkezeteknél fellépő lengésekkel és rezgésekkel kapcsolatban LPV modell reprezentációt alkalmaztunk. Az LPV rendszerek analíziséhez és azzal kapcsolatos tervezések végrehajtásához az egyik leghatékonyabban alkalmazott, a modern technikák közül a politóp reprezentációban értelmezhető lineáris mátrixegyenlőtlenségen alapuló megoldásokat alkalmaztunk. A politóp reprezentációra épülő modellek megalkotásához tenzorszorzat-modell transzformációt alkalmaztunk és azzal kapcsolatos különböző kanonikus és konvex formákat definiáltunk és vizsgáltunk.

A tenzorszorzat-modell transzformáción alapuló megközelítések illetve modellezési technikák eredményesen alkalmazhatóak a földi járművek (közúti haszongépjárművek) dinamikai modelljeinek vizsgálatában, így többek között hatékonyan felhasználható a közúti haszongépjárművek vázszerkezetének modális analízisében is a végeselem alapú módszerek kiegészítéseként. Hasonló módon a transzformáció jól alkalmazható haszongépjárművek irányítási, lengéssel és rezgéssel, fékezéssel és kormányzással kapcsolatos, feladataiban.

Az OTKA támogatásával elért eredményeink az elmúlt évtizedben szinte párhuzamosan megjelent, áttörő jelentőségű irányításelméleti és matematikai eredményekre, illetve rendszerelméleti szemléletváltásra támaszkodik.

A fentiek alapján a következő műszaki feladatot vizsgáltuk meg a gépjárművek lengő rezgő rendszereinek tervezéséhez és vizsgálatához. Ha egy adott modellt - irányítási céloktól függően - konvex optimalizációs feladatként meg tudunk fogalmazni (például lineáris mátrixegyenlőtlenségek segítségével), akkor a feladatok tág osztályát meg tudjuk oldani - függetlenül attól, hogy analitikus megoldó módszer létezik-e vagy sem. A szakirodalomban számos (analitikus) megoldási módszer található arra a feladatra, hogy egy (analitikus formában) adott, lineáris paraméterváltozós állapotter-modellt hogyan lehet olyan affin alakra felbontani, amely a fentiek alapján már könnyen átírható lineáris mátrixegyenlőtlenségekké, természetesen az adott tervezési célok figyelembe vételével. Viszont a modell analitikus átalakítása, például megfelelő affin felbontása, sok esetben nehézkes, időigényes, illetve bonyolultabb modellek esetén a jelenlegi analitikus eszközökkel nem is lehetséges. Ez különösen igaz akkor, amikor a modern identifikációs módszerekkel kapott modell nem - a klasszikus értelemben vett - képletekkel adott, hanem a lágy számítástechnika algoritmikus eszközeivel, például egy neurális hálózattal (ahol az adott modell dinamikáját a neuronok közötti kötések struktúrája, és a kötések súlyainak értékeiből képezhető nagyméretű számtömb reprezentálja). Hasonlóan, ha az adott modell dinamikáját fuzzy szabályok vagy genetikus algoritmusok reprezentálják, akkor az analitikus átalakítás szinte megoldhatatlan. További nehézséget jelent, hogy az analitikus megoldás sem egységes, különböző modellek vagy a modellek megváltozása esetén új levezetést igényel.

Kutatómunkánk során egyik fő cél az volt, hogy mind a szemlélet, mind a matematikai eszköztár szempontjából nézve egységes rendszert dolgozzunk ki bonyolult modellekre épülő irányításelméleti feladatok megoldására. Ezen belül az alábbi feladatokat végeztük el:

Megvizsgáltuk - különös tekintettel a lineáris paraméterváltozós állapotter modellek esetére -, hogy létezik-e olyan modell-reprezentáció, amelyben a konvex optimalizációs feladatok megoldására kidolgozott lineáris mátrixegyenlőtlenségek értelmezhetőek és felírhatóak, valamint amelyre - szemlélet és matematikai eszközök szempontjából egyaránt - egységesen át lehet térni fizikai megfontolások alapján analitikusan levezetett, vagy más modern identifikációs módszerrel eredményezett modell-reprezentációkból.

Bemutattuk, hogy a tenzorszorzat-modell transzformáció alkalmazásával a tenzorszorzat-modell reprezentációra való áttérés adott feltételek esetén automatikusan, „emberi beavatkozás nélkül” egységesen elvégezhető. Itt a transzformáció, mint numerikus módszer alkalmazása elsősorban nem egy analitikus képlet megoldását, hanem annál tágabb értelemben vehetően analitikus képletek, vagy különböző modern identifikációs reprezentációk és a tenzorszorzat-modell analitikus képlete közötti átalakítást jelenti, amely egyszerűbb, szerencsésebb esetekben esetleg analitikus levezetéssel is megoldható. A transzformáció numerikus átalakítások sorozatát foglalja magába (mint például N -ed rendű szinguláris értékelbontás), amely tágabb értelemben ugyan, de úgy tekinthető az analitikus levezetéssel egyenértékűnek, mint ahogy ma már egy analitikus képlet megoldásaként elfogadjuk a numerikus módszerek eredményét is. A transzformáció és a lineáris mátrixegyenlőtlenségek együttes megoldása elfogadható időn belül végrehajtható.

Megmutattuk, hogy a tenzorszorzat-modell transzformáció lényeges új, alkotó jellegű szemléletet jelenthet az irányításméletben, annak ellenére, hogy valamelyest hasonlít a lineáris paraméterváltozós állapotter-modellek affin felbontásához. Felvetettük azt a hipotézist, hogy a szabályozási feladat megoldása során a lineáris mátrixegyenlőtlenségek megoldhatóságát jelentősen befolyásolja az adott dinamikai modell konvex burkának típusa, amely az új reprezentációban jól szemléltethető, vizsgálható és tervezhető. Olyan tervezési szempontok is (például szűk konvex burkok típusainak előállítása) vizsgálhatóak, melyek az eddigi analitikus módszereknél nem merültek fel.

A fenti kutatásokat az alábbi módszerre alapoztuk: A lineáris paraméterváltozós állapotter-modellek, a lineáris mátrixegyenlőtlenségek, valamint a modern - tágabb értelemben vett - identifikációs reprezentációkban megszokott mátrixalgebrai operátorok használata túl bonyolult leírást és többszörös hierarchikus indexelési technikát igényelt volna, különösen az N -ed rendű szinguláris értékelbontás különböző kiegészítései és módosításai esetében. A tenzoralkgebrai operátorok alkalmazásánál a *Lathauwer* munkáiban ismertett szemléletet követtük.

A kidolgozott módszerek és bizonyítások az N -ed rendű szinguláris értékelbontásra épülnek. A mátrixalgebrában, és különösen a numerikus lineáris algebrában központi szerepet játszik a mátrixfelbontás vagy kanonikus forma. Az egyik leginkább alkalmazott felbontás a szinguláris értékelbontás. Megjelenését a műszaki alkalmazásokban és szinte minden tudományterületen a számítógépek megnövekedett teljesítménye segítette elő. A szinguláris értékelbontással kapott szorzat mindegyik összetevőjének eltérő, fontos tulajdonsága van, melyekre az alkalmazásokban különböző feladatok megoldását építik.

Az elmúlt évtizedekben megjelent a többdimenziós mátrixok szinguláris-érték felbontása, amit N -ed rendű szinguláris értékelbontásnak neveznek a szakirodalmi tanulmányok. Kulcsszerepet kapott a független komponens analízisben, és dimenzió-redukcióként is megjelent az N -ed rendű faktoranalízisben. Az elmúlt években *Lathauwer* szisztematikus tenzoralkgebrai rendszerbe foglalta a szinguláris értékelbontást, információ és reprezentáció

szempontjából új tulajdonságok bizonyításával együtt. Ezeket az eredményeket kutatásainkban implicit módon használtuk, és megmutattuk, hogy a tenzorok N -ed rendű szinguláris érték szerinti felbontásának mintájára olyan tenzorszorzat-modellek definiálhatók és állíthatók elő, melyek a szinguláris értékelbontás tulajdonságait kihasználva a dinamikus modellek lényegesen új reprezentációját és vizsgálatát teszik lehetővé. Továbbá megmutattuk, hogy ennek a felbontásnak az analógiájára a folytonos függvények is felbonthatóak - numerikus úton - úgy, hogy azok öröklik a tenzor-felbontás kedvező tulajdonságait.

d. Ergodikus sztochasztikus terhelési folyamatok vizsgálata - szintátmetszés

A járműterhelési ergodikus sztochasztikus folyamatok modellezésében új az eddigieknél pontosabb szintátmetszési számítási módszert dolgoztunk ki. A módszer alkalmas az átlagos feszültség-szint-átmetszési statisztikák mellett a centrumtól való eltérés szóródásának sztochasztikus jellemzésére is. Kapott eredményeinket természetesen publikáltuk is.

III. Összefoglalás

Öt éves kutató munkánk során elvégeztük a járműtest deformáció finom strukturális identifikációját, elsősorban a csúcsok és az élek hatékony azonosításával, különböző típusú sztochasztikus algoritmusok kidolgozásával. Ezen identifikációs eljárásokat továbbfejlesztettük, elsősorban újszerű, a fuzzy logikát és a neurális hálózatokat alkalmazó, sajátos képfelismerő informatikai eljárások segítségével. Így módszert dolgoztunk ki a zavaró, ún. fényességjelek fuzzy alapú kompenzációjára HDR képek esetén (HDR – high dynamic range). Hasonlóan új eljárást jelent a gradiens bázisú szintetizált élképfelismerési eljárás kidolgozása is, amit ugyancsak a tárgyévben sikeresen végrehajtottunk.

Ugyancsak sikeresen megalapoztuk az identifikációs modellek újra értelmezését az úgynevezett tenzor szorzat modellek alkalmazásával. Itt az alapvető feladat a többváltozós nemlineáris járműdinamikai modell helyettesítése volt LPV (LPV – linear parameter varying) többváltozós dinamikus rendszer reprezentációkkal. Ezeket a reprezentációkat folytonos modellek esetén egy rácshálóval approximáltuk, mely alapján lehetővé vált a magasabb rendű szinguláris érték dekompozíciós módszerek alkalmazása (HOSVD – higher order singular value decomposition). Az eljárás műszaki részleteinek kidolgozását ebben a kutatási évben is folytattuk és több részfeladatot is sikerült megoldanunk.

Ezen kutatásunkon túlmenően a nemlineáris járműdinamikai vizsgálatok tenzor szorzat alapú megközelítését a magasabb rendű szinguláris érték dekompozícióval sikerült olyan módon matematikailag megalapoznunk, hogy azok az úgynevezett posztmodern, rendszermodellezési, rendszer-identifikációs és irányítási paradigmák szerint numerikusan rekonstruálható kanonikus rendszer-reprezentációnak felelnek meg. Ezen váratlanul kapott fontos eredményeinket már előzetesen publikáltuk.

Az így részben megváltozott kutatási munka, illetve újszerű fontos kutatási lehetőségek miatt kértük pályázatunk egy évvel való meghosszabbítását, mivel az adott kutatási évben rendelkezésünkre álló pénzügyi keretünket a jövő évben akartuk elkölteni. Kérésünkhöz az OTKA Műszaki és Természettudományi Kollégiuma volt olyan szíves hozzájárulni. A kutatási munka statisztikai, illetve a sztochasztikus ergodikus témáinak vizsgálatát a váratlanul elhunyt Nándori Ernő helyett az OTKA bizottság szakmai kollégiumának beleegyezésével az utolsó meghosszabbított kutatási évre Horváth Sándor vette át.

