

**FOGASKEREK VEGETES MODELLEZÉSI ELJÁRÁSÁNAK
FEJLESZTÉSE ÉS AZ ELŐÁLLÍTOTT MODELLEK MINŐSÉGI
ÉRTÉKELÉSE VÉGESELEM ELEMZÉS SEGÍTSÉGÉVEL**

**DEZVOLTAREA PROCEDURII DE MODELARE MIXTĂ A
ROȚILOR DINȚATE ȘI EVALUAREA CALITATIVĂ DE
ANALIZĂ CU ELEMENT FINIT A MODELELOR CONSTRUITE**

**DEVELOPMENT OF MIXED GEAR MODELING PROCEDURE
AND QUALITATIVE EVALUATION OF THE GENERATED
MODELS USING FINITE ELEMENT ANALYSIS**

/kutatási beszámoló/

2015 – 2016

KPI Ikt. szám: 12/19/2015.04.28.

Sapientia Egyetem Ikt. szám: 252/16/2015.04.28

Témavezető:

dr. Tolvaly-Roșca Ferenc, egyetemi adjunktus

2016 augusztus

Jelen beszámoló a KPI által támogatott, 18 hónapra tervezett kutatás során elért eredményeiről számol be.

Kutatási pályázatunk keretében egy forgódugattyús (pontosabban: bolygódugattyús) pneumatikus motort fejlesztettünk. E motor felépítésében a Wankel-motorra emlékeztet, amely egy belső égésű motor. Az újítás abban áll, hogy a motor sűrített levegővel fog működni és nem egy, hanem két egyidejűleg aktív munkatere van.

A kutatás 2-ik hónapjában világossá vált számunkra, hogy a fogfelületek megfelelő pontossággal való generálása gyakorlatilag egy nagyon korszerű CAD technika fejlesztését igényeli: pontfelhők (Points Cloud) manipulálását. Ezekből éppen a mi munkánkat érintő feladat a legkezdetlegesebb. Nem csak vizualizációs célokra Pontfelhők burkolását megoldó algoritmusok szoftverekbe beépítve nem léteznek, vagy csak igen csekély számú pont manipulálását teszik részlegesen lehetővé. A kutatásunk céljaként kitűzött pontosság semmiképp nem akarja túllépni a mindennapi szabványos műszaki pontosságokat. De felismertük, hogy ennek elérése és megfelelő irányítása igen sok változó megfelelő összehangolását teszi szükségessé.

A munka elvégzése céljából, elméletileg elég jól ismert fogaskerék fogfelületeinek a modellezése vált célszerűvé. Ezek először egyenes fogazatú, majd ferde fogazatú hengeres kerekek modellezését és a kapott eredmények hasonlítását teszi lehetővé az elméleti alapokon megépített modellekhez.

A jelenlegi kutatási folyamat előtt célszerűnek láttuk az első szakaszban a vágóélen található ponthalmazok való meghatározását, de már a kezdetben az első modellek megépítése után rájöttünk, hogy csak a pontfelhő-szűrő algoritmus megfelelő megépítése és paramétereinek a tesztelése után lehetséges csupán a generáló ponthalmaz szükséges sűrűségének a megválasztása. Már első lépéseinkben, még a jelenlegi kutatás megkezdése előtt szoftvert készítettünk a vágóélek diszkretizálására, amely már kezdettől fogva az élek geometriai konfigurációja alapján sűrítette a generáló pontokat. Ezt kibővítettük a pontsűrűség tetszőleges utólagos diszkretizálási lehetőségével a már megépített generálási modelleken belül. Csak az pontfelhő-szűrő algoritmus paramétereinek hosszas tesztelése után ismertük fel, hogy szükség lesz egy újabb diszkretizálási szintre bevezetésére is: az él-elemeknek a forgástengelyektől való távolságának a függvényében. Ez pedig mindig egyedi fogaskerék, vagy tetszőleges felületek generálási, relatív mozgásainak a függvénye. A kutatás lezárásának időszakában a második diszkretizálási szint beépítése még nem megoldott.

A kutatási feladat alapvető és előre meg is fogalmazott legnagyobb kihívása a generált ponthalmazok méreti korlátozása, illetve a burkolófelületek megkeresése jelentette a legnagyobb kihívást. Matematikai megoldáson dolgoztunk szimmetrikus fogdalkak esetében (egyenes fogazat), de a kezdeti sikerek után elvetettük a megoldást, mivel a kifejlesztett eljárásunk teljesen univerzális megoldás kell legyen, bármilyen fogazat vagy felület generálására ugyanúgy kell lehessen alkalmazni. Ezt a feladatot sikeresen megoldottuk, habár az algoritmus paramétereinek további finomhangolása lehet szükséges a modellezési idő és pontosság további optimalizálása céljából.

Kutatócsoportunk tagjai

A kutatócsoport tagjai a Sapientia Egyetem marosvásárhelyi Gépészmérnöki Tanszékének oktatói:

- kutatásvezető: dr. Tolvaly-Roșca Ferenc, adjunktus
- csoporttagok: dr. Forgó Zoltán, adjunktus, tanszékvezető
dr. Kakucs András, docens
dr. Máté Márton, docens

A kitűzött célok megvalósítására tett lépések a következők:

1. A vágóélek diszkretizálása, a generáló ponthalmazok meghatározása AutoLISP szoftver segítségével

A tevékenységet Tolvaly-Roşca Ferenc irányította, részt vettek: Forgó Zoltán, Gyéresi Hunor.

2. Fogaskerék hajtásmodellek felállítása és ellenőrzése

Ebben a tevékenységben részt vettek: Máté Márton, Tolvaly-Roşca Ferenc, Forgó Zoltán

3. Pontfelhő manipulálása előtesztelési célokból, dedikált szoftverekkel (Autodesk Recap, Meshlab)

A tevékenységet Tolvaly-Roşca Ferenc irányította, részt vettek: Forgó Zoltán, Gyéresi Hunor.

4. Létező pontfelhő szűrő algoritmusok kutatása és tesztelése

Ebben a tevékenységben részt vettek: Tolvaly-Roşca Ferenc, Forgó Zoltán.

5. Pontfelhő burkolójának meghatározására tett matematikai kísérlet:

A tevékenységet Máté Márton végezte

6. Pontfelhő burkolójának meghatározása algoritmus segítségével

Ezt a tevékenységet Tolvaly Roşca Ferenc koordinálta és részt vettek: Forgó Zoltán, Máté Márton, Kakucs András.

7. Pontfelhő szűrőalgoritmusának felállítása és programozása

A tevékenységet Tolvaly-Roşca Ferenc irányította, a programozást Forgó Zoltán végezte.

8. Fogfelületek és testmodellek előállítás. A pontszűrő algoritmus paraméterek változtatása hatásának vizsgálata az előállított modellekre

A tevékenységet Tolvaly-Roşca Ferenc végezte.

9. Végeselem modellek megépítése. Végeselem elemzés eredményeinek a kiértékelése

A tevékenységet Kakucs András irányította és végezte, részt vett Tolvaly-Roşca Ferenc.

Következtetések

A kutatási célkitűzéseket sikerült teljesíteni:

1. A vágóéleket diszkretizáló program sikeresen megépült, majd tovább bővült. Habár a kitűzött célok eléréséhez megfelelő, ezt maradéktalanul kibővítjük egy újabb szinttel amely lehetővé teszi a generálási folyamat további optimalizálását.

2. Fogaskerék generálási modelleket építettünk meg virtuális környezetben a valós relatív generáló mozgások alapján.

3. Megfogalmaztunk és beprogramoztunk Matlab környezetben egy pontszűrő algoritmust. Az algoritmus paramétereit több száz futtatás során optimaltunk, a pontosság megfelelő szinten való tartása mellett a legrövidebb generálási idő elérése érdekében.

4. CAD eljárásokat dolgoztunk ki, amelyek a generált pontfelhőre Bspline felületeket illesztettek. Az így kapott felületekkel fogaskerék testmodelleket építettünk, majd ezeket

hasonlítottuk a matematikai egyenletek segítségével és a merevtest kivonás segítségével épített testmodellekhez.

5. Végeselem modelleket építettünk és összehasonlítottuk a 3 modellezési eljárással előállított virtuális fogaskerek fogtőhajlító feszültségét. Ezek értékei igazolták, hogy a modellek hasonló pontossággal jellemezhetők

Az általunk kidolgozott felületgeneráló módszer **rendkívüli rugalmas** az elméleti egyenleteken alapuló modellekhez képest - a fogtő geometriája azonnal, egyenes származtatásként és igen nagy pontossággal megkapható, a merevtest kivonás módszerhez képest **a generálási idő jobb pontosság mellett ezredrészére csökkent (gyakorlatilag 2-3 perc).**

Az eddig bemutatott eredmények alapján nagy érdeklődést tapasztaltunk mind a fogaskerék kutatással foglalkozó, mind a pontfelhők manipulálásával foglalkozó kutató és fejlesztő tudományos köröknél. Együttműködési kérést kaptunk a Miskolci Egyetem két oktatójától, új még ki nem fejlesztett fogaskerék hajtások modellezésére és virtuális tesztelésére.

További célokat fogalmaztunk meg, amelyek a kidolgozott eljárás további fejlesztését teszik lehetővé.

A kutatással kapcsolatos publikációk

A kutatás eredményeit két publikációban ismertettük.

1. A 2016. április 21-24., Déván tartott XXIV. Nemzetközi Gépészeti Találkozó 2016. április 21-24., Plenáris Szekciójában tartott előadást meghívottként Tolvaly-Rosca Ferenc, *Relatív mozgásokon alapuló vegyes CAD eljárás fejlesztése fogazatok generálására*. A dolgozat a Konferenciakötet Plenáris dolgozataiban került publikálásra.

2. A kutatás valamivel későbbi eredményei az Inter-Eng 2016 Nemzetközi Konferencián lesznek bemutatva 2016 októberében. A bemutatott dolgozat publikálása ISI indexálású [Elsevier's Procedia Engineering Journal \(ISSN: 1877-7058\)](#)-ban történik majd meg. Az elfogadott dolgozat 74-es számú ID-vel rendelkezik, címe: *Development of Helical Teethed Involute Gear Meshed With a Multi-Edge Cutting Tool Using Mixed Gear Teeth Modeling Method*. Az elfogadás bizonylatát csatoljuk.

A publikációkat feltöltöttük a KPI online rendszerébe.

Elszámolás

A 2015 évben eszközbeszerzésre került sor a modellezésekhez szükséges számítógépet alkatrészenként beszereztük és szereltük. Az eszközbeszerzésre elkülönített 3500 RON összegből 3499.90 RON költöttünk el. A ISI publikációval rendelkező konferencia részvételre 160 EUR kifizetéséhez pénzügyi átcsoportosítást kérvényeztünk és hagyott jóvá a KPI vezetősége. Mivel az utazási költségeket nem igényeltük, ezt az összeget csatolhattunk részvételi díjhoz. A részvételi díjra kifizetett összeg: 713.70 RON, illetve 60 RON-t irodai fogyóanyagokra költöttük, a jóváhagyott átcsoportosításnak megfelelően. Így, a kutatócsoport rendelkezésére álló 4300 RON-ból, 4264.60 RON-t használtunk fel, a pályázatban jóváhagyott kereteken belül.