

Óbudai Egyetem

Doktori (PhD) értekezés
tézisfüzete



Felületmodellek lokális hibáinak javítása fényvonalakkal

Gyurecz György

Témavezető:
Dr. Renner Gábor

**Alkalmazott Informatikai és Alkalmazott Matematikai
Doktori Iskola**

Budapest, 2015

1. A kutatás előzményei

Az ipari termékek számos műszaki és esztétikai funkciója csak magas formai minőségű, szabadformájú felületekkel valósítható meg (pl. járműkarosszéria, használati- illetve háztartási eszközök, stb. külső felületei). A számítógéppel segített tervezés (CAD) és a gyártástechnológia fejlődésével párhuzamosan, ezen funkciókkal szemben támasztott felhasználói elvárások egyre magasabbak lesznek, aminek a következménye, hogy a funkciók felértékelődnek, újabb funkciók jönnek létre, és nő a magas minőségű felületek iránti igény.

Ennek eredményeképp a termékek piaci árában ezek a felületek egyre nagyobb részarányt tesznek ki [Luchs et al., 2012], [Talke et al., 2009], [Creusen & Schoormans, 2005], megtervezésük a vállalatok közötti versengés egyik fontos tere. A felületek egyre összetettebbé [Creusen et al., 2010], a minőségi követelmények egyre magasabbá válnak [Homburg et al., 2015]. A termékek piaci versenyében az érvényesüléshez ma már nem elég a magas gyártási minőség, és a minőségi anyagok használata, szükség van újabbnál újabb, innovatív formai kialakítású, magas minőségű felületekre is.

A magas minőségű felületekkel szemben támasztott egyik fontos követelmény, hogy helyi hibáktól (gyűrődések, horpadások, kitüremkedések, ráncok, stb.) mentesek legyenek. A teljes felület méretéhez képest a viszonylag kisméretű, és kiterjedésű helyi hibák, erősen befolyásolhatják a felület minőségét, és alkalmazhatóságát is. Gondoljunk csak az ipari termékek külső megjelenésének esztétikai korrektségére (pl. járművek, használati vagy háztartási eszközök, stb.) az energiaipari berendezések bizonyos elemeinek (pl. turbinalapátok) magas hatásfokára, az optikai eszközök képpalkotási minőségére (pl. tükrök) vagy az orvosi protézisek életminőség javító funkciójára (pl. térdprotézis).

A szabadformájú felületek megtervezése, és a felületek számítógépes modelljének (felületmodell) előállítás, CAD rendszerekben történik. A felületek megtervezésének első lépése az elsődleges felületmodell, CAD rendszer eszközeivel vagy felületrekonstrukcióval [Váradny & Martin, 2002] történő, előállítása. A felületmodellt ezután méretre és minőségre ellenőrzik, majd a hibákat javítják [Dankwort et al., 2001]. A felületmodellek lokális hibái a felületmodellek interaktív módosításából, a tervezés hibáiból illetve felületrekonstrukciói egyes műveleteinek pontatlanságából erednek.

A felületekkel szemben támasztott növekvő minőségi igények a CAD rendszerek felülettervező eszközeinek folyamatos fejlesztését igénylik; szükség van a felülettervezési feladatok minél gyorsabb, hatékonyabb, összetettebb és lehetőleg automatizált megoldására, az eszközök tervezői igényekhez történő igazítására. Ezen igényeknek megfelelő eszközök kifejlesztése ugyanakkor, még a mai fejlett számítógéppel segített geometriai tervezés (CAGD) mellett is, sokszor nagy kihívást jelent.

A kutatásomban a magas minőségű, szabadformájú felületmodellek lokális hibáit feltáró és javító módszerekkel, ezek problémáival és a problémák megoldásával foglalkoztam.

A felületmodellek hibáinak feltárására több módszer áll rendelkezésre [Hahmann et al., 2008]. Ezek közé tartoznak a felületértékelő vonalak, amelyek különösen a finom, lokális

felületi hibák feltárására [Dankwort et al., 2001] alkalmasak. A felületértékelő vonalak a felület felett elhelyezett lineáris vagy pontszerű fényforrások lenyomatai a felületen. Ide tartoznak az árnyékvonalak [Andersson, 2005], fénykontúrok [Poeschl, 1984], [Andersson, 1996], reflexiós vonalak [Klass, 1980], [Kaufman & Klass, 1988] és a fényvonalak [Chen, 1993], [Beier & Chen, 1994].

A tervezői gyakorlatban a fényvonalak alkalmazása az elterjedtebb, aminek két fő indoka van. Egyrészt, a fényvonalak alakja nagyban hasonlít az iparban alkalmazott fizikai laborok reflexiós vonalainak alakjára, másrészt a fényvonalak kezelése a számítógépes környezetben hatékonyabb mint a reflexiós vonalaké. Gyorsabban számíthatók, alakjuk nem függ a nézőponttól, ami következtében a tervezés során szétválaszthatók a nézeti és a fényvonal kezelési műveletek.

A felületek javításának utólagos és variációs módszerei léteznek. Az utólagos (direkt) módszerek [Kaufmann & Klass, 1988], [Farin & Sapidis, 1989], [Hagen & Santarelli, 1992], [Hermann et al., 1997] jellemzően lokálisan módosítanak, megtartják a felület globális alakját. A variációs (indirekt) módszerek [Hagen & Schulze, 1990], [Bonneau & Hagen, 1994], [Greiner, 1994] többnyire globálisan javítanak, a felület alakjában nagyobb változások is megengedettek.

A kutatásomban a felületek lokális hibáit felületértékelő vonalakkal, elsősorban fényvonalakkal, feltáró és direkt módon javító módszereket vizsgáltam meg részletesen. Ezekben a módszerekben először előállítják a felületértékelő vonalakat, majd a tervező, a saját igényeinek megfelelően a hibás vonalakat kijavítja. Ezt követi a felület javítása, amiben a felületet a javított felületértékelő vonalakkal igazítják [Dankwort et al., 2001].

2. Célkitűzések

A szakirodalom elemzése alapján megállapítható, hogy a magas minőségű szabadformájú felületek lokális hibáinak javítására, a direkt, felületértékelő vonalak javítását alkalmazó módszerek a leginkább alkalmasak. A szakirodalom elemzéséből az is megállapítható, hogy a jelenlegi direkt módszerek, megelégednek az elemien kis kiterjedésű és méretű hibák javításával. A hibák mérete, kiterjedése és összetettsége (hiba jellemzői) ezzel ellentétben a mai felületeken sokszor széles határok között mozognak. Ennek az ellentétnek az a következménye, hogy a meglévő módszerek alkalmazása nehézkes, hosszadalmas, nagy felhasználói tapasztalatot igényel, a tervező sokszor inkább manuálisan javít.

- Céлом egy olyan új, felületmodellek lokális hibáinak javítására alkalmas direkt módszer megalkotása, amely széles határok között mozgó hibajellemzők esetén is jól alkalmazható. A módszert a lokális hibák feltárására leginkább alkalmas fényvonalakra szándékozom kidolgozni.

A módszert a jelenlegi módszerek hiányosságainak kiküszöbölésével szándékozom megalkotni. A hiányosságok, és a kiküszöbölés tervezett módjai a következők:

A jelenlegi módszerek nem foglalkoznak megfelelően a fényvonalak számítási pontosságának kérdésével.

- Céлом egy olyan fényvonal számító eljárás kidolgozása, amelyben a fényvonalak nagy pontossággal számíthatók, és a jelenlegi eljárásoktól eltérően a felhasználó közvetlenül írhatja elő a fényvonalak számítási pontosságát.

A módszerek hibás fényvonal-szakaszokat kijelölő eljárásai teljes mértékben interaktívak, és nem adnak megfelelő megoldást a szakaszok kijelölésének pontosítására. Ennek a következménye, hogy a fényvonalak javításából hibás vonalszakaszok maradhatnak ki, illetve a javítás során jó fényvonal szakaszok is módosulhatnak.

- Céлом egy újabb művelet beiktatásával pontosítani a kijelölési eljárást.

A jelenlegi módszerekben a felületértékelő vonalak javításánál a tervező legtöbbször a CAD rendszer olyan eszközeire kell hogy hagyatkozzon, amelyeket nem erre a feladatra fejlesztettek ki. A közreadott értékelési vonal javító módszerek egyáltalán nem automatizáltak, ami miatt alkalmazásuk hosszadalmas és fáradságos. A módszerek további hiányossága, hogy a fényvonalakat egyenként javítják, ami miatt a nagyobb felületrészeken történő alkalmazásuk nagy felhasználói tapasztalatot igényel.

- Céлом olyan eljárás kidolgozása, amely képes nagyobb kiterjedésű és összetettebb fényvonal hibák javítására is, nagyrészt automatizált, és a használatához nem kell nagy tervezői tapasztalat. Ezt olyan eljárással szándékozom elérni, amely a hiba értékelésébe és javításába a fényvonalak alakja mellé beveszi a fényvonalak mintázatát is, és a fényvonalak struktúráját javítja.

A fényvonalak és a fényvonalakat előállító felület paramétereinek közti összefüggés bonyolult, nemlineáris. A felület paramétereinek meghatározásához a jelenlegi eljárások sok egyszerűsítést alkalmaznak a számításokban, ami korlátozza az alkalmazhatóságukat, és alkalmatlanná teszi őket a nagyobb és kiterjedtebb hibák kezelésére.

- Céлом egy olyan eljárás kifejlesztése, amely képes a javított fényvonalaknak megfelelő felület paramétereit megfelelő pontossággal és hatékonysággal meghatározni, széles értékhatárok között változó hibajellemzők esetén is. A feladatot a problémához illesztett genetikus algoritmussal szándékozom megvalósítani.

3. Vizsgálati módszerek

Az új felületjavító módszer kifejlesztéséhez a CAGD illetve a genetikus algoritmus (GA) technikáit alkalmaztam. A fő vizsgálati módszerem az eljárások, eljáráslemek, algoritmusok, paraméterek alkalmazhatóságának értékelése és igazolása különböző felületeken. A felületek egymástól jelentősen eltérő hibajellemzőkkel (nagyság, kiterjedés, komplexitás) rendelkező, különböző geometriai bonyolultságú és funkciójú formatervezett ipari felületek. Az alkalmazhatóság értékeléséhez és igazoláshoz eljárásonként különböző vizsgálati módszereket fejlesztettem ki.

3.1. Fényvonal struktúra javítási eljárás kifejlesztéséhez alkalmazott vizsgálati módszerek

A fényvonal struktúra hibáinak értékelésére és javítására kidolgozott eljárás ismert matematikai [Paláncz, 2011], illetve CAGD [Piegl & Tiller, 1997] eljárásokat kombinál, illetve adaptál. A struktúra hibáját távolság és szögfüggvényekkel (hibafüggvények) számszerűsítem, illetve javítom. A hibafüggvényeket az egymást követő fényvonalak pontjaiból létrehozott pontsorozatokból számolom [1],[3],[5],[6],[7],[8].

A pontsorozatokat számító eljárást több szempont szerint megvizsgálva, több lehetséges változat közül választottam ki. A szempontok a következők: a pontok által kijelölt vonal alakja, a pontokból számolt hibafüggvények alakja, a simított hibafüggvények alakja, a pontszámító eljárás költsége. A leginkább alkalmas módszertől azt vártam, hogy olyan vonalakon halad, amelyek képesek a fényvonal-struktúra hibáját követni, hibafüggvényei érzékenyen kimutatják a hibákat, a simított függvényei jól alkalmazhatók a javításban illetve olcsón számítható.

3.2. Genetikus algoritmus kifejlesztéséhez alkalmazott vizsgálati módszerek

A genetikus algoritmus megtervezése során először a szakirodalom alapján [Herrera et al., 1998], [Deb et al., 2002] egy működő alapváltozatot hoztam létre, amit aztán lépésenként javítottam. A lépésekben a GA egy-egy összetevőjét (operátort, paramétert) értékeltem és határoztam meg, amelyet innentől kezdve megfelelőnek tekintettem, és továbbléptem a következő összetevő meghatározására.

Az összetevőket a GA változatokat felületeken tesztelve, a keresési folyamat alakulását, a megállási feltétel elérésének sebességét és a keresés megbízhatóságát vizsgálva, értékelve határoztam meg [12],[15],[25]. Az értékelés több szempontot mérlegelve, *mérőszámok* és *mutatók* alapján történt.

A *mérőszámok* az aktuális és a javított fényvonalak, illetve az aktuális és a javított felületek közötti eltéréseket mérik (átlag, maximum és komplexitás). A GA sebességét a különböző megállási feltételek eléréséhez szükséges generációszámmal mértem, a megállási feltételeket a mérőszámok javítottságából (90% illetve 80%) számoltam.

A *mutatókat* a keresési folyamat alakulásának értékeléséhez használtam. A mutatók a populációk változatosságának, illetve átlagának alakulását mutatják a keresés során.

A GA megbízhatóságának értékelésére több vizsgálati módszert (M1, M2 és M3) dolgoztam ki.

Az M1 vizsgálat a megbízhatóság értékeléséhez a GA változat tesztfelületeken mért átlagos sebességét (a megállási feltétel eléréséhez szükséges generációszámok átlaga) veszi alapul. Minél nagyobb volt egy GA változat átlagos sebessége, megbízhatóságát annál jobbnak tartottam. A megbízhatóság értékelésében a vizsgálati módszer figyelembe veszi, hányszor volt utolsó a GA változat, illetve volt-e olyan felület, ahol nem érte el a megállási feltételt. Az első esetben, annak függvényében hányszor volt utolsó, annyi hellyel hátrébb sorolja a GA válto-

zatot. Ha van olyan eset, ahol a GA nem éri el a megállási feltételt, a GA változatot nem tekintem megbízhatónak.

Az M2 vizsgálatban a megállási feltételnek alsó és felső határt definiáltam, és a megbízhatóságot aszerint értékeltem, hogy a GA képes volt-e az alsó határt elérni, illetve hány többletgenerációra volt szüksége a felső határ eléréséhez. Minél kevesebbre, a GA változatot annál megbízhatóbbnak tartottam.

Az M3 vizsgálatban a GA megbízhatóságát és sebességét egyszerre több megállási feltételt figyelembe véve értékeltem. A GA változatok megbízhatóságát az alapján döntöttem el, hogy milyen széles generációs szám tartományban érték el a megállási feltételeket a különböző tesztfelületeken, és hogy hol volt a tartomány közepe. Minél kisebb a tartományok szélessége a GA változatot annál megbízhatóbbnak, minél kisebb értékű a tartomány közepe, a GA változatot annál gyorsabbnak tekintettem.

A megbízhatóság értékelésében azt is figyelembe vettem, volt-e olyan eset, ahol a GA változat nem érte el valamelyik megállási feltételt a maximális 100 generációs számon belül. Ha volt, a GA változatot nem tekintettem megbízhatónak. A GA változatot a javított fényvonalainak minősége alapján vizuálisan is értékelem. A minőség meghatározásához a jó és a javított fényvonalak alakját és pontosságát hasonlítottam össze, vizuálisan.

3.3 A felületjavító módszer alkalmazhatóságának vizsgálati módszerei

A felületjavító módszer alkalmazhatósági vizsgálataival arra kerestem a választ, hogy az egyes hibajellemzők nagysága hogyan befolyásolja a javítás hatékonyságát [2],[5],[7],[8],[10]. Ennek meghatározására azt elemeztem, hogy a fényvonalak különböző hibajellemzői: a hiba nagyság, kiterjedés és komplexitás széles határok között történő változtatása hogyan befolyásolja a GA működését.

A GA működését a megállási feltételek eléréséhez szükséges generációk számával, illetve a jó és a javított felületek közti távolságokból számolt távolságtérképekkel értékeltem. Megállási feltételek a felület mutatóinak 90%-os javítottsága és a legkisebb hibát tartalmazó felület mutatóinak 90%-os javítottsága. Ez utóbbi megállási feltételt arra használtam, hogy megvizsgálhassam mennyivel több generáció szükséges ugyanazon jó felület előállításához, különböző hibajellemző nagyságok esetén. Az eltérést a generációs számok terjedelmével és szórásával értékeltem.

A távolságtérképeken ábrázolt távolságok, felületek közötti merőleges távolságok, amelyeket a jó felületen felvett pontok és a másik (a hibás vagy a javított) felület között számítok. A pontokat rendezetten, adott számban, paraméterirányonként veszem fel a felületen, a vizsgálatokban irányonként 250 pontot alkalmaztam. A térképek a távolságokat a pontokhoz rendelt pixel színével jelenítik meg. A kutatásban alkalmazott színskála 42 színt különböztet meg, a hidegebb színek kisebb, a melegebbek nagyobb távolságot mutatnak. A felületek közötti távolságtérképekkel vizuálisan értékelhetők a javítások. A térképek a hiba és a javítás értékelésének eszközei, amelyek segítségével részletesebb kép alkotható a megoldandó feladat-

ról és a megoldás eredményességéről. Ellenőrizhető, hogy a hibajellemzők méretétől függetlenül a megoldásfelületek mindenhol a felületen ugyanoda és a jó megoldáshoz konvergáltak-e.

A vizsgálatokhoz a következő távolságtérképeket alkalmaztam: jó és a hibás (MAP.1), jó és a javított (MAP.2) illetve javított (MAP.3) felületek közötti távolságtérkép. A MAP.1 térképből a megoldandó feladat jellege olvasható ki. A MAP.2 térkép a jó felület és a javított felületek közti legnagyobb távolságokat mutatja. Tanulmányozásával eldönthető mennyivel és hogyan térnek el a javított felületek a jó felülettől. A MAP.3 térképek a javított felületek közötti legnagyobb távolságokat mutatják. A térképpel az vizsgálható hogy a felületek a hibajellemzők nagyságától függetlenül ugyanoda konvergálnak-e.

4. Új tudományos eredmények

1. Tézis

Új számítási eljárást dolgoztam ki a fényvonalak előállítására. Az eljárásban a fényvonal-pontok és a fényvonalakat reprezentáló görbék pontosságát a felhasználó közvetlenül írhatja elő.

Az eljárásban először létrehozom a fényforrásokot reprezentáló egyeneseket, majd a felületet a paramétervonalak mentén felosztom és a felosztásnak megfelelően felületi pontokat és a pontokhoz tartozó felületi normálisokat számolok. Ezt követően a felületi normálisok és a fényforrás-egyenesek közti merőleges távolságokból távolságfüggvények diszkrét pontjait számolom. A fényvonal-pontokat a távolságfüggvények zérushelyei határozzák meg, ugyanakkor a zérushelyek csak közelítőleg határozhatók meg, mivel a távolságfüggvények csak véges számú helyen ismertek. A pontosításhoz behatárolom a zérushelyek szomszédos diszkrét függvényértékeit, majd a felhasználó által előírt értékkel pontosítom a zéruspont helyét. A következő lépésben a zérushelyekből meghatározom a felületen a fényvonal-pontokat, majd a fényvonalak folytonos reprezentációjához a pontokra B-Spline görbét illesztünk. A görbe a felhasználó által előírt pontossággal közelíti (approximálja) a fényvonal-pontokat.

Az eljárás az eddig használt módszerekhez képest több előnyös tulajdonsággal rendelkezik. Egyrészt a pontosság növeléséhez nincs szükség a felület sűrűbb újrafelosztására és a teljes fényvonal-pont számítási procedúra megismétlésére, mivel a pontosítás nem globális, hanem lokális jellegű. Mindegyik fényvonal-pont ugyanolyan pontossággal számítható, és a felhasználó a saját igényeinek megfelelően, közvetlenül előírhatja a fényvonal-pontok és a fényvonal-pontokra illesztett, a fényvonalat reprezentáló, folytonos görbe pontosságát.

A tézishoz kapcsolódó publikációk:

[19],[21],[22],[23],[24].

2. Tézis

Új eljárást dolgoztam ki a fényvonalak javítására. Az eljárás az egymást követő hibás fényvonal-szakaszok alakjából és mintázatából álló fényvonal struktúrát javítja.

Az eljárásban először kijelölöm a hibás fényvonal-szakaszok végpontjait, és a végpontokban meghatározom a fényvonalak érintőit. A végpontok meghatározása két lépésben történik.

Először interaktívan, közelítőleg jelölöm ki a hibás fényvonal-szakaszok végpontjait, majd az így kijelölt végpontok között megjelenítem a fényvonal görbületi fésűjét, amellyel a felhasználó, a görbületi eltéréseket figyelembe véve, pontosítja a végpontok helyét.

A következő lépésben, egy erre a célra kifejlesztett algoritmust alkalmazva, az egymást követő hibás fényvonal-szakaszok meghatározott pontjaiból pontsorozatokat hozok létre, amelyeket felhasználva a fényvonal struktúra hibáját reprezentáló távolság és szögfüggvények (hibafüggvények) diszkrét pontjait határozom meg.

Ezt követően, a diszkrét pontokat felhasználva a hibafüggvényeket kisímitom. A függvényésimítás kényszerei: a végpontok, és az érintők iránya a végpontokban. A simítás feltétele: a diszkrét pontok (hibás függvényértékek) és a simított függvény közti távolságok négyzetösszegének minimalizálása.

A simított (B-Spline) függvény fokszámát és a kontroll pontok maximális értékét a felhasználó alapértelmezett értékekből kiindulva adhatja meg. Az alapértelmezett értékeket kísérletekkel határoztam meg, egymástól geometriailag és funkcióban is jelentősen eltérő szabadformájú ipari felületeken, különböző nagyságú, kiterjedésű és komplexitású fényvonal struktúrák javításával.

A hibafüggvény simítását követően az új függvényértékekből új fényvonal pontokat számolok. A hibás fényvonal-szakaszokat a végpontjaik között kimetszem, majd a végpontokat, a végpontok érintőit és az új pontokat felhasználva helyükre javított fényvonal-szakaszokat illesztek. A javított fényvonal-szakaszokat B-Spline görbékkel reprezentálom, amelyeket approximációt alkalmazva hozok létre. A görbeillesztés kényszere: végpontok, az érintők iránya a végpontokban. Az illesztés feltétele: a felhasználó által előírt illesztési pontosság.

Az eljárással a felhasználó az eddigi manuális helyett, nagyrészt automatizált módon javíthat, és képes nagyobb kiterjedésű és összetettebb fényvonal struktúra javítására is. Ezen felül, a módszer az alapértelmezett értékek alkalmazásával számszerűsíti a tervezői tapasztalatokat, amivel elérhetővé válik a minőségi és gyors javítás lehetősége a kevésbé tapasztalt tervező számára is.

A tézishoz kapcsolódó publikációk:

[1],[3],[4],[5],[6],[7],[8].

3. Tézis

Új eljárást dolgoztam ki a javított fényvonalaknak megfelelő felület előállítására. Az eljárás a nemlineáris, sokváltozós feladatot genetikus algoritmus (GA) alkalmazásával oldja meg.

A GA megtervezése során meghatároztam az alkalmazandó kódolási módszert, a génreprezentációt, a keresési teret, a populáció méretét és a kezdeti populáció előállítási módszerét, a fitnessfüggvényt, az alkalmazandó genetikus operátorokat és az operátorok paramétereit.

A GA megtervezéséhez saját munkamódszert dolgoztam ki. A munkamódszerben a GA-t egy működő alapváltozatból hoztam létre lépésenként javítva. A javításban a GA paramétereit és operátorait különböző tesztfelületeken több szempontot figyelembe véve vizsgáltam. A vizs-

gálatokhoz mutatókat és mérőszámokat hoztam létre, amelyekkel a genetikus keresés folyamatát, a GA sebességét és megbízhatóságát értékeltem. A vizsgálatokban alkalmazott tesztfelületek egymástól geometriailag és funkcióban is jelentősen eltérő szabadformájú ipari felületek.

A tézishoz kapcsolódó publikációk:

[2],[9],[10],[11],[12],[13],[14],[15],[16],[17],[18],[20],[25],[26].

4. Tézis

A fényvonal számító, a fényvonal javító és a felületet a javított fényvonalakhoz igazító eljárásokat felhasználva – egymásra építve –, egy új felületjavítási módszert alkottam meg, amely CAD rendszerbe eszközként integrálható.

A módszer alkalmazásával a tervező magas minőségi követelményeket kielégítő szabadformájú felületek lokális hibáit képes összetett, saját igényeknek megfelelő módon, nagyrészt automatizáltan javítani.

Az eszköz alkalmazhatóságát egymástól jelentősen eltérő hibajellemzőkkel (nagyság, kiterjedés, komplexitás) rendelkező, különböző geometriai bonyolultságú és funkciójú formatervezett ipari felületeken vizsgáltam és igazoltam.

A vizsgálatokhoz erre a célra kifejlesztett vizsgálati módszereket alkalmaztam. A módszer a kis és a nagyobb kiterjedésű lokális hibákat is jó hatékonysággal javítja, a felületi hiba nagyságára mérsékelten érzékeny. A módszert a Rhino 5 felülettervező rendszerbe illesztettem, alkalmazhatósága a felület CAD reprezentációjától független.

A tézishoz kapcsolódó publikációk:

[2],[9],[10],[11],[12],[13],[14],[15],[16],[17],[18],[20],[25],[26].

5. Az eredmények hasznosítási lehetősége

A kidolgozott módszer, széles hibajellemző határok között alkalmazható, nagyrészt automatizált, de lehetőséget ad egyéni paraméterek beállítására is, amelyekkel jelentősen megkönnyíti a lokális hibák problémájának kezelését. A tervezési folyamatba jól beilleszthető, mivel ésszerű idő alatt végrehajtható a javítás, az automatizáltság következtében kevesebb tapasztalatra van szükség a kiváló eredmény eléréséhez.

A módszer kifejlesztése során kapcsolatba kerültem a *Ford Motor Company* formatervezési részlegének vezetésével, akik részben tanácsaikkal láttak el, részben pedig érdeklődést mutattak a kidolgozott módszer saját felületrekonstrukciós tervezési eljárásaik közé történő beiktatására.

A módszer iránt ezen felül a *Solid Modeling Solution* szoftverfejlesztő cég is érdeklődik, akik a rendelkezésemre bocsájtott approximációs rutinjaikkal szintén segítették a módszer megalkotását.

6. Irodalmi hivatkozások listája

- [Andersson, 1996] Andersson, R., **Surface design based on brightness intensity or isophotes-theory and practice**, Advanced Course on FAIRSHAPE, pp. 131– 143. B. G. Teubner, 1996.
- [Andersson 2005] Andersson, R., **Surface Design through Modification of Shadow Lines**, Holistic Product Development, Werner Dankwort (Ed.), Shaker Verlag, Aachen, 2005, Vol.5 pp. 239-257.
- [Beier & Chen, 1994] Beier, K.-P., Chen, Y., **Highlight-line algorithm for real-time surface-quality assessment**, *Computer-Aided Design* 26, pp. 268-278 [Chen, 1993] Chen, Y., **Highlight lines for surface quality control and shape manipulation**, Thesis (Ph.D.) University of Michigan.
- [Bonneau & Hagen, 1994] Bonneau, G.-P., Hagen, H., **Variational design of rational Bézier curves and surfaces**, *Curves and Surfaces in Geometric Design*, pp. 5 I-58
- [Chen, 1993] Chen, Y., **Highlight lines for surface quality control and shape manipulation**, Thesis (Ph.D.) University of Michigan.
- [Chen et. al., 1997] Chen, Y., Beier, K.-P., Papageorgiou, D., **Direct highlight line modification on NURBS surfaces**. *Computer Aided Geometric Design*, 14 (1997), pp. 583-601
- [Creusen et al., 2010] Creusen, M., Veryzer, R., Schoormans, J., **Product value importance and consumer preference for visual complexity and symmetry**, *EUROPEAN JOURNAL OF MARKETING* Volume: 44 Issue: 9-10 pp.: 1437-1452
- [Creusen & Schoormans, 2005], M.,E., H., Creusen, J., P. ,L., Schoormans, **The Different Roles of Product Appearance in Consumer Choice**, *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 22(1), pp. 63–81
- [Dankwort et al., 2001] Dankwort, W., Podehl, G., **A New Aesthetic Design Workflow - Results from the European Project FIORES, 2001**
- [Deb et al., 2002] Deb K., Anand, A., Joshi, D., **A Computationally Efficient Evolutionary Algorithm for Real-Parameter Optimization**, *Evolutionary Computation* , Vol. 10, No. 4, pp. 371-395
- [Farin & Sapidis, 1989] Farin, G., Sapidis, N., **Curvature and the fairness of curves and surfaces**. *IEEE Comp. Graph. Applic*, Vol.3 pp. 52-57
- [Greiner, 1994] Greiner, G., **Variational design and fairing of spline surfaces**, *Eurograph.*, 1994, pp. 143-154.
- [Hagen & Schulze, 1990] Hagen, H., Schulze, G., **Extremalprinzipien im Kurven- und Flachendesign, In Verfahren der graphischen Datenverarbeitung**, Springer, pp. 46-60
- [Hahmann et al., 2008] Hahmann, S., Belyaev, A., Busé, L., Elber, G., Mourrain, B., Rössl C., **Shape Interrogation, Shape Analysis and Structuring**, Springer
- [Herrera et al., 1998] Herrera F., Lozano M., Verdegay J. L., (1998), **Tackling real-coded genetic algorithms**, *Artificial Intelligence Review*, Vol. 12(4), pp. 265-319
- [Homburg et al., 2015] Homburg, C., Schwemmler, M., Kuehnl, C., **New Product Design: Concept, Measurement, and Consequences**, *JOURNAL OF MARKETING* Volume: 79 Issue: 3 pp.: 41-56

- [Klass, 1980] Klass, R., **Correction of local surface irregularities using reflection lines**, *Computer-Aided Design* 12, pp. 73-76.
- [Kaufman & Klass, 1988] Kaufman, E., Klass, R., **Smoothing surfaces using reflection lines for families of splines**, *Computer-Aided Design* 20, pp. 312-316.]
- [Luchs et al., 2012] Luchs, M., Brower, J., Chitturi, R., **Product Choice and the Importance of Aesthetic Design Given the Emotion-laden Trade-off between Sustainability and Functional Performance**, *JOURNAL OF PRODUCT INNOVATION MANAGEMENT* Volume: 29 Issue: 6 pp: 903-916
- [Nishiyama et al., 2007] Y. Nishiyama, Y. Nishimura, T. Sasaki, T. Maekawa, **Surface Fairing Using Circular Highlight Lines**, *Computer-Aided Design and Applications*, Nr. 1–4, Vol. 4, pp. 405–414
- [Paláncz, 2011] B. Paláncz, **Numerikus módszerek**, BME, 2011
- [Piegl & Tiller, 1997] Piegl, L., Tiller, W., **The NURBS Book**, ISBN 3-540-61545-8, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg New York, 1997
- [Poeschl, 1984] Thomas Poeschl, **Detecting surface irregularities using isophotes**, *Computer Aided Geometric Design* 1 (1984) pp. 163-168
- [Renner & Ekárt, 2003] Renner, G., Ekárt, A., **Genetic algorithms in computer aided design**, *COMPUTER-AIDED DESIGN* Volume: 35 Issue: 8 pp: 709-726
- [Talke, et al., 2009] Talke K., Salomo, S., Wieringa, J., et al., **What about Design Newness? Investigating the Relevance of a Neglected Dimension of Product Innovativeness**, *JOURNAL OF PRODUCT INNOVATION MANAGEMENT* Volume: 26 Issue: 6 pp.: 601-615
- [Várady & Martin, 2002] Várady, T., Martin, R., **Reverse Engineering, Handbook of Computer Aided Geometric Design**, 2002, Ch. 26, Elsevier
- [Zhang & Cheng, 1998] Zhang, C., Cheng, F., **Removing local irregularities of NURBS surfaces by modifying highlight lines**, *Computer-Aided Design*, 30(12), pp. 923–930

7. A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

- [1] Gyurecz & Renner, **Refinement of Shape and Structure of Highlight Lines**, *Proceedings of Conference of the Hungarian Association for Image Processing and Pattern Recognition*, pp 1-7, 2015.01.27. 2015.01.30. Kecskemét, NJSZT-SZTAKI-GAMF
- [2] Gyurecz et al., **A Case Study of Applying Genetic Algorithm in Surface Correction** *Proceedings of IESB 2014: International Engineering Symposium at Bánki*. Budapest, Magyarország, 2014.11.20. Budapest Óbudai Egyetem, 2014. pp. 89-96.(ISBN:978-615-5460-08-1)
- [3] Gyurecz & Renner, **Evaluation and Correction of Highlight Line Structures**, *Proceedings of Factory Automation 2013*, Veszprém, Magyarország, 2013.05.21-2013.05.22. Veszprém: University of Pannonia, 2013. p. 4., (ISBN:978-615-5044-80-9)
- [4] Gyurecz & Renner, **Tools and Methods for Improving Highlight Lines**, *Proceedings of the 15th International Workshop on Computer Science and Information Technologies, CSIT'2013*, Vienna-Budapest-Bratislava. Vol. 2., Bécs, Ausztria, 2013.09.15-2013.09.21. Ufa: Ufa State Aviation Technical University, 2013. pp. 198-201. (ISBN:978-5-4221-0471-0)

- [5] Gyurecz & Renner, **Correction of Highlight Structures**, In: Kovacs G. L., Kochan D., (szerk.), *Digital Product and Process Development Systems: IFIP TC 5 International Conference*, NEW PROLAMAT 2013, Dresden, Germany, October 10-11, 2013. Proceedings., Dresden, Németország, 2013.10.10-2013.10.11. Berlin: Springer, 2013. pp. 230-238. (IFIP Advances in Information and Communication Technology; 411.) (ISBN:978-3-642-41328-5)
- [6] Gyurecz & Renner, Csibi Vencel (szerk.) **Method for Correcting Highlight Line Structures**, In: *Csibi Vencel (szerk.), OGÉT 2012, XX. Nemzetközi Gépészeti Találkozó*, Kolozsvár, Románia, 2012.04.19-2012.04.22. Kolozsvár: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, 2012. pp. 149-153.
- [7] Gyurecz & Bercsey, **Surface Shape Correction by Highlight Lines**, In: Ralph Stelzer, Karl-Heinrich Grote, Klaus Brökel, Frank Rieg, Jörg Feldhusen (szerk.), *Entwerfen Entwickeln Erleben: Methoden und Werkzeuge in der Produktentwicklung*, Dresden, Németország, 2012.06.15-2012.06.16. Dresden: Technische Universität Dresden, 2012. pp. 513-520, (ISBN:978-3942710800)
- [8] Gyurecz & Renner, **Method for Improvement of Highlight Line Structures**, In: *MANUFACTURE 2012 MTA SZTAKI*. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2012.11.14-2012.11.16. Budapest: pp. 1-7.
- [9] Gyurecz & Bercsey, **EVOLUTIONARY ALGORITHM IN SURFACE SHAPE CORRECTION**: poszter, In: *9th International workshop on Integrated Product Development*. Magdeburg, Németország, 2012.09.05-2012.09.07. Magdeburg: p. 1.
- [10] Gyurecz & Renner, **Correction of Surfaces by Highlight Lines**, In: Nagy Zoltán (szerk.), *Factory Automation 2011 Conference*, Győr, Magyarország, 2011.05.24-2011.05.26. Győr: Széchenyi István Egyetem, 2011. pp. 241-247, (ISBN:978-963-7175-3)
- [11] Gyurecz & Renner, **Új felületminőség javító módszer kifejlesztése**, In: Dr Csibi Venczel-J (szerk.), *OGÉT 2011-XIX. Nemzetközi Gépészeti Találkozó*. Csíksomlyó, Románia, 2011.04.28-2011.05.01. Kolozsvár: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, pp. 152-155.
- [12] Gyurecz & Renner, **Correcting Fine Structure of Surfaces by Genetic Algorithm**, *ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA* 8:(6) pp. 181-190. (2011).
- [13] Gyurecz et al., Design and **Optimization of Fine Structure of High Quality Surfaces** *MECHEDU 1st Regional Conference-Mechatronics in Practice and Education*. Subotica, Szerbia, 2011.12.08-2011.12.10. Subotica Szabadkai Műszaki Szakfőiskola, 2011. pp. 186-191.(ISBN:978-86-85409-67-7)
- [14] Gyurecz & Renner, **Evaluating and Correcting the Reflection Characteristics of Surfaces**, In: Szirmay-Kalos L, Renner G (szerk.) V. Magyar Számítógépes Grafika és Geometria Konferencia. 226 p. Budapest, Magyarország, 2010.01.26-2010.01.27. Budapest: NJSZT, 2010. pp. 73-80. (ISBN:978-963-421-591-2)
- [15] Gyurecz & Renner, **Improving Quality of Freeform Surfaces Using Genetic Algorithm and Highlight Lines** In: Horvath I, Mandorli F, Rusák Z (szerk.), TMCE 2010. *Tools and Methods of Competitive Engineering. Proceedings of the Eight International Symposium*. Vol. 1., Ancona, Olaszország Delft: Delft Univ. of Technology, 2010. pp. 317-329., (ISBN:97890-5155-06-3)
- [16] Gyurecz & Renner, **Surface Shape Optimization With Genetic Algorithm and Highlight Lines**, In: Stépán G, T. Szalay, Á. Antal, I. Gyurika (szerk.), *Gépészet 2010: Proceedings of the*

Seventh Conference on Mechanical Engineering. 926 p., Budapest, Magyarország, 2010.05.25-2010.05.26. Budapest: Budapest University of Technology and Economics, 2010. pp. 490-495, (ISBN:978-963-313-007-0)

[17] Gyurecz & Renner, **Application of Highlight Lines in the Design of Technical Surfaces**, In: MANUFACTURE-HU Nemzeti Technológiai Platform "GTENTP08" Szakmai Tanácsadó Testülete (szerk.), *Gyártás 2010, Manufacturing 2010: A GTE XX. nemzetközi gyártás konferenciája*. Budapest, Magyarország, 2010.10.20-2010.10.21. Budapest: Gépipari Tudományos Egyesület, 2010. pp. 1-5. (ISBN:978-963-9058-31-6)

[18] Gyurecz & Renner, **Genetic Algorithm for Correcting Fine Structure of Surfaces by Highlight Lines**, *ÓBUDA UNIVERSITY E-BULLETIN* 1:(1) pp. 79-85. (2010)

[19] Gyurecz & Renner, **Computation Method for Evaluation of Surface Fine Structure by Highlight Lines**, *ÓBUDA UNIVERSITY E-BULLETIN* 1:(1) pp. 71-77. (2010)

[20] Gyurecz & Renner, **Improvement of Shape Properties of Technical Surfaces**, *SYMMETRY: ART AND SCIENCE* 1:(1-4), Polish Academy of Sciences pp. 262-265. (2010)

[21] Gyurecz & Renner, **New Method for the Computation of Highlight Lines**, *MŰSZAKI SZEMLE (EMT)* 12:(különszám) pp. 146-149. (2009)

[22] Gyurecz & Renner, **Robust Computation of Reflection Lines**, *JOURNAL OF MACHINE MANUFACTURING* 1: pp. 1-4. (2009), Ed.: Andrew Kaldos (ISBN 0016-8580)

[23] Gyurecz & Renner, **Evaluation of Aesthetic Quality of Surfaces by Reflection Lines**, *SYMMETRY: ART AND SCIENCE* 1:(1-4), Polish Academy of Sciences pp. 208-211. (2009)

[24] Gyurecz & Renner, **Computation of Reflection Lines for the Design of High Quality Surfaces**, In: Haidegger Géza (szerk.), *Biannual 19th International Conference on Manufacturing 2008*. Proceedings, Budapest, Magyarország, 2008.11.06-2008.11.07. Budapest: Gépipari Tudományos Egyesület, 2008. pp. 107-112. (ISBN:978-963-9058-25-5)

[25] Gyurecz, **Genetic Algorithm in Removing Local NURBS Surface Irregularities Using Highlight Lines**, In: *ACM, GECCO 2008*, Atlanta, Amerikai Egyesült Államok, 2008.07.12-2008.07.16. New York: ACM - IEEE Service Center, 2008. pp. 1703-1704, (ISBN:978-1-60558-130-9)

[26] Gyurecz, **Removing Local Surface Irregularities by Modifying Highlight Lines**, In: Ungvári László LINDI 2007. Wildau, Germany, 2007.09.13-2007.09.15. (IEEE), Wildau Fachhochschule: Óbuda University, 2007. pp. 150-153.