

Szakmai beszámoló

Magyar Állami Eötvös Ösztöndíjhoz

Név: Dr. Kunkli Roland Imre

Pályázati azonosító: 158912

Ösztöndíjas időszak: 2021. március 1. – 2021. augusztus 31.

A Magyar Állami Eötvös Ösztöndíj keretében a Myung-Soo Kim professzorral közösen megkezdett kutatást folytattuk, melynek aktuális célja hatékony algoritmusok megkonstruálása gömbalapú burkolófelületek (pl. csőfelületek vagy skinning algoritmusok nyomán nyert felületek) Minkowski-összegének előállításához. Az eddigi eredményeink részletekbe menő elemzése és tesztelése nyomán eljutottunk addig a felismerésig, hogy amennyiben általános megoldást kívánunk nyújtani a Minkowski-összeg vagy annak határának előállításához úgy, hogy képesek legyünk kezelni a tetszőleges tengelyek körüli forgatások alkalmazásával nyert felületeket is, elengedhetetlen a vezérgörbék párhuzamos érintővektorai által okozott szingularitási probléma matematikailag előkészített és hatékony feloldása.

A korábbi kutatás eredményeként a párhuzamos érintővektorokat sikerült pontosan detektálnunk a vezérgörbék körívekkel való közelítését feltételezve. A tóruszdarabokat definiáló paraméterektől függően az ezek mentén előálló körök teljes mértékben részei lehetnek a konvolúciós felületnek, azonban ezek megfelelő bekötése a felület paraméterezéséből adódó háromszögeléshez számos kihívást hordoz magában. A felület a szingularitás következtében kis paramétereltéréssel is extrém módon tekeredik meg az említett körök közelében, emiatt a pusztán a felület egyéb részeit hatékonyan előállító, a paramétertartomány ekvidisztáns felosztására támaszkodó háromszögelésre alapozva nem tudjuk lezárni a felületet az említett körök környékén, továbbá a megfelelő körpontok társítása sem egyértelmű feladat. Habár a számítógéppel segített geometriai tervezésben napjainkra már számos foltgeneráló algoritmus ismert, eddigi vizsgálataink alapján arra a megállapításra jutottunk, hogy az ezek létrehozásához szükséges határoló paramétervonal-daraboknak a minél pontosabb közelítő meghatározása túl sok számítási kapacitást igényelne ahhoz, hogy ez ne veszélyeztesse a célként kitűzött valós idejű futást. Mindezek miatt megalkottunk egy olyan algoritmust, amely a konvolúciós felületre illeszkedő körök síkjára merőlegesen vetíti a paramétervonalak jól detektálható részeit, majd meghatározza a kapott pontokhoz legközelebb eső körpontokat egy hatékony, elemi geometriai eszközökön alapuló – emiatt gyorsan is számolható – szerkesztésre építkező számítás segítségével. Az így nyert pontok lehetőséget adnak arra, hogy a szingularitáshoz közeli, paraméterezésből származtatott megfelelő pontokkal jó háromszögelési alapot szolgáltatassanak. Azonban mivel a vetítés síkját meghatározó említett kör mindkét oldalát kezelniük kell, ki kellett dolgoznunk egy, a magán a körön

létrehozott pontok összekötését is megfelelően biztosító módszert, mely képes a precizitást igénylő modellezési feladatoknál fontos, ún. vízzáró (watertight) poligonháló létrehozására. Ennek kiemelt kezelése azért is nélkülözhetetlen, mert a hosszabb távú cél a Minkowski-összeg határának meghatározása, a szingularitási rész egyes területei pedig sok esetben, amikor a paramétertartomány és az aktuális elhelyezkedés ezt indokolja, részét képezik ennek a határnak. Mivel a szoftveres implementáció és megjelenítés a számítógépi számábrázolás és -tárolás miatt csak mindig egy alkalmas közelítést eredményezhet, az említett szingularitás olyankor is problémát jelent, amikor elvileg ez nem merülne föl. Sikerült minden lehetséges esetet figyelembe véve detektálunk azokat az elrendezéseket a paramétertartományokon belül, amelyek esetében hátráltatja a szingularitás a tesszellációt. A diszkusszió tanulságait részletesen dokumentáltuk, és szisztematikusan átvizsgálva ezeket az eseteket, sikerült kidolgoznunk egy olyan általános megközelítést, amely egységében képes kezelni ezeket a problémákat. Szintén a tesszellációt segítheti az a kutatás folyamán felmerült ötletünk, mely szerint a párhuzamos érintőknél generált kör környezetében használhatnánk az érintőknél értelmezett gömbök Minkowski-összegét, ami szintén egy gömb, és illeszkedik a problémát okozó szingularitásnál fontossá vált körre. Meglátásunk szerint az ilyen módon létrehozott gömböt akár a problémás környezet approximációjára is felhasználhatnánk, persze a Minkowski-összeg már meglévő részének ezen gömbsel való kapcsolása a tesszelláció esetében további kérdéseket vet fel.

Elméleti vizsgálatokat végeztünk arra vonatkozóan is, hogy miként lehet elősegíteni a Minkowski-összeg határán felmerülő önmetszési helyek és alakzatok detektálását. Felismertük, hogy ezek legtöbbször azokból a részösszegekből erednek, amelyek az egyik tóruszdarab lezárásához használt félgömb és a másik tóruszdarab figyelembevételével keletkeznek. Mivel belátható, hogy ebben az esetben szintén egy tóruszdarabot súrol a Minkowski-összeg, ezért önmetszés ennek az eredményként kapott tórusznak a lehetséges önmetszéseiből is adódhat, amelyek pontosan kiszámolhatók. Az elemzőmunka során arra is felfigyeltünk, hogy nem csak ezekben az esetekben állhat elő metszés, azonban ezek detektálása további vizsgálatokat és tesztelést igényel. Sikerült megalkotnunk egy merőben más megközelítést is a problémának, ami akár önmagában, akár a meglévő módszert segítve jelenthet hatékony megoldást a későbbiekben, különösen a csőfelületek kapcsán adódó szingularitás kezelésében. Az új megközelítés esetében a korábbi kutatásaink során előállított, körsorozatokat burkoló görbepárt használnánk föl a Minkowski-összeg határának előállítására egy közelítő eljárással úgy, hogy a Minkowski-összeget kitöltő, a vezérgörbékre illeszkedő középpontokkal definiált gömbsorozatok Minkowski-összegeként származtatott gömbök egy alkalmas síkkal párhuzamosan vett metszetét tekintjük, majd ennek a körhalmaznak állítjuk elő a burkolóját. Ennél a megközelítésnél problémát jelenthet a metszésekkel kapott körök rendezetlensége, viszont ezek kezelésében hathatós segítséget jelenthet annak a kihasználása, hogy a metszeni kívánt gömbök is egy paramétertartományon történő végighaladás nyomán adódnak, ezzel egyfajta sorrendiséget teremtve a gömbök között.

Az elméleti vizsgálatokkal párhuzamosan zajlott a már meglévő, korábbi eredményeink teszteléséhez használt szoftver refaktorálása, hogy minél inkább felkészítsük azt a várható új eredmények hatékony implementálhatóságára. Ez a munka magában foglalta többek között a vezérgörbék kölcsönös viszonyainak detektálásához használt paramétertartomány bejárásának merőben új, hatékonyan választott adatszerkezetre alapuló implementációját, így sokkal stabilabbá téve a már meglévő megvalósítást is. A kidolgozott alapok után a szingularitás okozta problémák megoldásának tényleges implementációja következhetett, továbbra is C++ nyelven, az OpenGL grafikus alkalmazás-programozási interfész felhasználásával. A kód rendszerezését, átdolgozását és továbbfejlesztését verziókövető-rendszerrel végeztük. Bár a GLM függvénykönyvtár sok alapvető számítást magában foglal, több gyakran használt matematikai vagy geometriai műveletet jobbnak láttunk a könyvtártól függetlenül megvalósítani, ezzel több esetben is sikerült alacsonyabb számítási időt elérni. A sebességméréseket különböző operációs rendszereken és hardvereken is elvégeztük, majd összegző elemzést végeztünk, amely a jövőben is hasznos referenciaként szolgálhat majd. Elmondható, hogy a refaktorizáció eredményeként szignifikáns gyorsulást sikerült elérnünk. Olyan könyvtárat is felkutattunk, amelynek célja többek között a legegyszerűbb lineáris algebrai műveletek minél gyorsabb megvalósítása. Ez a későbbiekben szintén nagyon jó szolgálatot tehet, amikor éppen az erőforrások nem maximális kihasználása szabhat gátat a valós idejű megvalósításnak, hiszen a számítógépes grafika nagyon nagy részben ezekre a műveletekre alapoz.

Bár előre nem volt tervezhető, de a témában meglévő ismereteim gazdagítására májusban lehetőségem volt online részt venni a szakterület egyik legnevesebb konferenciáján, amely az International Conference on Geometric Modeling and Processing (GMP 2021) nevet viseli.

Az ösztöndíjas időszakban végzett kutatásunk során elért eredmények nagy előrelépést jelentettek, hiszen sikerült egy sok problémát magában hordozó területet tisztáznunk, és az eredményeket a fejlesztett demonstrációs szoftverbe is implementáltuk. Ez utóbbi funkcionalitása és teljesítménye mostanra olyan állapotban van, amire stabilan tudunk alapozni a következő lépések megvalósításakor. Az egyik ilyen kulcsmomentum az általánosabb szplájnként generált vezérgörbéknek a körívvel történő approximációja, valamint a Minkowski-összeg határának konkretizálása a nem részét képező háromszögrészek eliminálása által. Az elkövetkező időszakban ezeken fogunk dolgozni.

Ezúton is szeretném megköszönni a Tempus Közalapítványnak, hogy a Magyar Állami Eötvös Ösztöndíj keretében lehetőséget kaptam a kutatásra. Az együttműködés során olyan szakmai tapasztalatokkal lettem gazdagabb, amelyeket biztosan jól tudok majd hasznosítani további kutatási projekteken is.

Debrecen, 2021. szeptember 30.



Dr. Kunkli Roland Imre