

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Baricentrikus koordinátákon alapuló deformációs
technikák hatékonyabb használatát segítő
módszerek fejlesztése**

Tóth Ákos

Témavezető: Dr. Kunkli Roland Imre



DEBRECENI EGYETEM
Informatikai Tudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2021.

Tartalom/Contents

1. A doktori értekezés előzményei és célkitűzései	1
2. Az értekezés új tudományos eredményei	4
2.1. Koordináta-módszerek vizsgálata	4
2.1.1. Koordináta-módszerek affin kombinációja	6
2.2. Deformációs módszereket támogató fejlesztések	9
2.2.1. Képedformációhoz használt háromszöge- lési technikák	9
2.2.2. Deformációs ketrec generálása	12
2.2.3. MPEG-4 szabványnak megfelelő fejmo- dellek	14
3 Previous work and motivation	19
4 New scientific results	22
4.1 Analysis of barycentric coordinate methods . .	22
4.1.1 Affine combination of barycentric functions	24
4.2 Application of deformation techniques based on barycentric coordinates	27
4.2.1 Triangulation techniques for cage-based image deformation	27
4.2.2 Cage generation for cage-based deforma- tion	30
4.2.3 MPEG-4 compliant human face models	32
Irodalomjegyzék/References	34
A. Publikációs lista/List of publications	36

1. A doktori értekezés előzményei és célkitűzései

Egy geometriai alapelem helyzetének a meghatározására talán a legismertebb és leggyakrabban használt koordináta-rendszer a Descartes-féle derékszögű koordináta-rendszer. Azonban nagyon gyakran foglalkozunk olyan problémákkal is, melyek megoldása egy alternatív rendszerben sokkal egyszerűbb. Ezen kutatás alapjául egy olyan koordináta-rendszer szolgál, melyben egy geometriai objektum pozíciója egy politóp helyzetéhez viszonyítva definiálható. Az említett rendszer koordinátáit baricentrikus koordinátáknak nevezzük, ezek fogalmát Möbius definiálta először 1827-ben [1]. Azóta a baricentrikus koordinátákat általánosították tetszőleges sokszögekre a síkban és általános politópokra magasabb dimenziókban. Kedvező tulajdonságaik miatt napjainkban gyakran használják őket különböző adatok lineáris interpolációjára, háromszöghálók paraméterezésére vagy kép- és modelldeformációra.

Az általánosított baricentrikus koordináta-módszerek különböző típusú sokszögek esetén eltérően viselkednek és néhány tulajdonságukban eltérnek egymástól, ezért manapság számos kutatás foglalmazza meg célként ezek vizsgálatát és összehasonlítását. Floater, Hormann és Kós munkájukban [2] már kitértek a koordináta-módszerek kontúrvonalakkal történő összehasonlítására, azonban mélyebb analízis nélkül tették mindezt. Ezért, kiemelt célom volt az, hogy a dolgozat megírása idején ismert vizsgálatokhoz képest, egy részletesebb szempontrendszer alapján elvégezzem a Wachspress-, a diszkrét harmonikus

és a középérték koordináta-módszer vizsgálatát és viselkedésük összehasonlítását.

Az általánosított baricentrikus koordináták képdeformációs alkalmazásokban való használatakor elengedhetetlen a kép körülvevő sokszög háromszögelése, ami a deformációt biztosítja. Azonban ezen háromszögelés meghatározása nem egyértelmű feladat, mert az nagymértékben befolyásolja a deformációs végeredményt. Manapság az ilyen típusú képdeformációs alkalmazások [3] a grafikus processzorra (GPU-ra) implementáltak és egyenletes Delaunay-háromszögelést használnak. Viszont nem egyenletes háromszögelés használatával csökkenthetjük a belső pontok számát, ezzel pedig a számítási időt és a költségeket is redukálhatjuk. Mivel az említett háromszögelési technikák (egyenletes és nem egyenletes) összehasonlítása a képdeformációs módszerek vonatkozásában még nem történt meg ezen irányú kutatásaink megkezdéséig a szakirodalomban, ezért szerettük volna elvégezni alapos vizsgálatukat és összevetésüket. Továbbá célunk volt egy olyan nem egyenletes háromszögelési módszer létrehozása, mely hasonlóan sima és pontos deformációkat eredményez, mint az egyenletes háromszögelés, viszont a háromszögek számát képes minimalizálni.

A képdeformációs alkalmazások analógiájára az általánosított baricentrikus koordináta-módszerek a háromdimenziós térben is alkalmazhatóak deformációra. Ebben az esetben a manipulációt a modellt burkoló ketrecmodell biztosítja. Ezen ketrecmodelleket gyakran a felhasználó készíti el manuálisan, ami rendkívül fárasztó és időigényes feladat. A legrosszabb esetben ez akár több órás folyamat is lehet. Továbbá, ha a bemeneti modell topológiája kellően komplex, akkor a ketrec manuális elkészítése nagyon sok esetben kivitelezhetetlen fel-

adat. Az elmúlt években a problémára megoldást kínálva olyan módszerek jelentek meg [4, 5, 6], melyek az említett ketrecek képesek automatikusan létrehozni. Azonban ezek a megoldások sok esetben nem elég hatékonyak, mivel gyakran numerikus módszereket használnak, melyek a számítási idő sokszoros megnövekedéséhez vezethetnek. Továbbá az is előfordulhat, hogy nem alkalmasak kellően részletes ketrecmodellek generálására bizonyos bemeneti modellek esetén. Ezen a területen végzett kutatásunkban a kiemelt célunk az volt, hogy meghatározzunk egy olyan automatikus eljárást, mely az eddigieknél gyorsabban és hatékonyabban képes háromdimenziós háromszögelt modellekhez ketrecmodelleket létrehozni. A módszer tervezésekor elvárásaink között szerepelt az is, hogy az eljárás lehetőséget biztosítson a felhasználónak, hogy meghatározhassa a ketrecmodell csúcsszámát közelítőlegesen, illetve a bemeneti modell és a ketrec közötti távolságot.

Napjainkban a virtuális avatárok használata az ember-gép kommunikációban a kapcsolat minőségének a javítása érdekében egyre gyakoribb és természetesebb. Egy-egy ilyen avatár elkészítésekor elkerülhetetlen lépés a modell felkészítése az animációra. Léteznek már olyan, az MPEG-4 szabványt támogató, deformáció alapú módszerek [7, 8], melyek az előbb említett feladatra kínálnak megoldást. Azonban ezek a rendszerek a használt deformációs módszereik korlátai miatt bizonyos esetekben nem tudnak kielégítő deformációs eredményeket biztosítani. Ezért, ezen a területen végzett kutatásaink célja volt, hogy megalkossunk egy olyan rendszert, mely az MPEG-4 szabványosítási folyamatot megkönnyíti, a felhasználó által elkövethető hibák számát minimalizálja, illetve a korábbi módszerek eredményeinél valóságosabb kimeneteket produkál.

2. Az értekezés új tudományos eredményei

2.1. Koordináta-módszerek vizsgálata

Az általánosított baricentrikus koordináták összevetését a legtöbb esetben a kontúrvonalak összehasonlításával szokták elvégezni, amely csak egy felszínes képet ad a módszerek hasonlóságairól, illetve eltéréseiről.

1. eredmény

Azzal a céllal, hogy egy részletesebb analízist nyújtsak a koordináta-módszerek tulajdonságairól, elvégeztem a Wachspress-, a diszkrét harmonikus és a középérték koordináta-módszer vizsgálatát és viselkedéseik összehasonlítását n oldalú konvex sokszögek esetén.

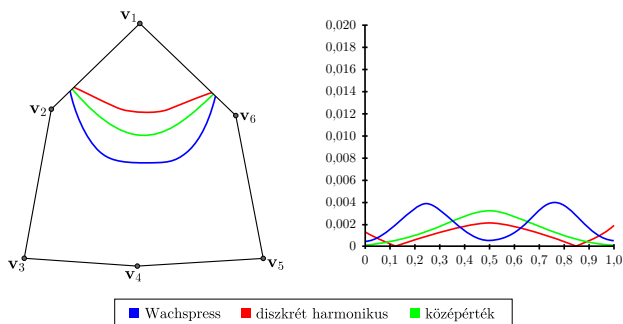
Kapcsolódó publikáció: [9]

Az összehasonlítás alapját a módszerek kontúrvonalainak a görbületfüggvényei, illetve a kontúrvonalak mintázata szolgáltatta (lásd 1. és 2. ábra). Az összehasonlítás alapján az alábbi megfigyeléseket tettem:

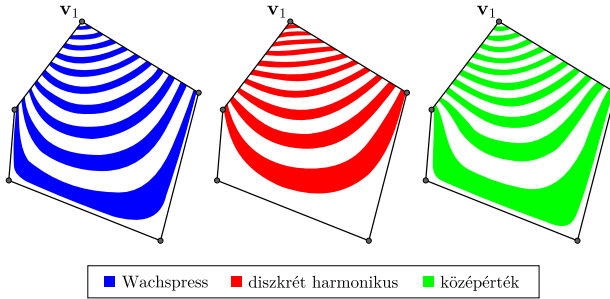
- Szabályos és húsokszögek esetén a Wachspress- és a diszkrét harmonikus koordináták rendelkeznek a *hullámszűkítő* tulajdonsággal, míg a középérték koordináták nem kívánatos inflexiós pontokat generálhat.
- A sokszög belső szögei nagymértékben befolyásolják a

módszerek közötti eltérést. Minél nagyobb egy adott csúcs-hoz tartozó belső szög, annál nagyobb az eltérés a középérték és a többi koordináta-módszer kontúrvonalai között az adott csúcsra vonatkozóan.

- Szabálytalan konvex sokszögek esetén a három különböző koordináta-módszer eltérően viselkedik. A Wachspress-koordináták közelíti a sokszög oldalait a legnagyobb mértékben, ugyanakkor egyenletes eloszlását biztosítja a kontúrvonalakhoz tartozó sávoknak. A diszkrét harmonikus koordináta-módszer negatív koordinátákat generál, így sok esetben nem az elvárt módon viselkedik. A középérték koordináta-módszer sokkal robusztusabb, kevésbé érzékeny a szabálytalan sokszögekre, mint a többi módszer.



1. ábra. Bal oldalon a baricentrikus koordináta-módszerek kontúrvonalai a $b_1 = 0,25$ értéknél a v_1 csúcs esetén, míg jobb oldalon a kontúrvonalak görbületfüggvényei láthatóak



2. ábra. Baricentrikus koordináta-módszerek kontúrva-
lainak mintázata egy közel szabályos sokszögben a $\mathbf{v}_1$
csúcs esetén

2.1.1. Koordináta-módszerek affin kombinációja

2. eredmény

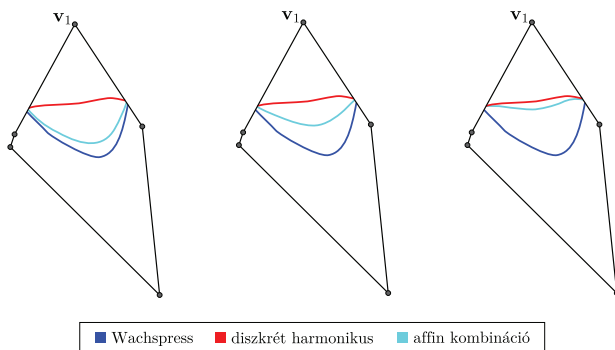
Annak érdekében, hogy a különböző baricentrikus koordináták előnyeit kihasználhassuk, bevezettem a koordináta-módszerek affin kombinációját.

Kapcsolódó publikáció: [9]

2.1.1.1. Definíció Tekintsünk egy konvex P sokszöget a síkban, amely a $\mathbf{v}_1, \dots, \mathbf{v}_n$ csúcsokkal adott, továbbá legyenek b^W és b^H a P sokszöghöz tartozó Wachspress-, illetve diszkrét harmonikus koordináta-függvények. Ezen koordináta-függvények $b^A = [b_i^A, \dots, b_n^A] : \bar{P} \rightarrow \mathbb{R}^n$ affin kombinációja (lásd 3. ábra) a

$$b_i^A = (1 - \lambda) b_i^W + \lambda b_i^H,$$

ahol $\lambda \in [0; 1]$ egy szabad paraméter.



3. ábra. A Wachspress- és a diszkrét harmonikus koordináta-módszer affin kombinációjának kontúrvonalai különböző λ paraméterértéknél a v_1 csúcsra vonatkozóan

Az új koordináták pedig bármely $\mathbf{p} \in \bar{P}$ pont esetén kielégítik az általánosított baricentrikus koordináták definíciójában megfogalmazott

$$\sum_{i=1}^n b_i(\mathbf{p}) = 1, \quad \forall \mathbf{p} \in \bar{P}$$

és

$$\sum_{i=1}^n b_i(\mathbf{p}) \mathbf{v}_i = \mathbf{p}, \quad \forall \mathbf{p} \in \bar{P}$$

feltételeket, a

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^n b_i^A(\mathbf{p}) &= \sum_{i=1}^n ((1-\lambda)b_i^W(\mathbf{p}) + \lambda b_i^H(\mathbf{p})) = \\
&= (1-\lambda) \sum_{i=1}^n b_i^W(\mathbf{p}) + \lambda \sum_{i=1}^n b_i^H(\mathbf{p}) = \\
&= (1-\lambda) + \lambda = 1,
\end{aligned}$$

illetve a

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^n b_i^A(\mathbf{p}) \mathbf{v}_i &= \sum_{i=1}^n ((1-\lambda)b_i^W(\mathbf{p}) \mathbf{v}_i + \lambda b_i^H(\mathbf{p}) \mathbf{v}_i) = \\
&= (1-\lambda) \sum_{i=1}^n b_i^W(\mathbf{p}) \mathbf{v}_i + \lambda \sum_{i=1}^n b_i^H(\mathbf{p}) \mathbf{v}_i = \\
&= \mathbf{p} - \lambda \mathbf{p} + \lambda \mathbf{p} = \mathbf{p}
\end{aligned}$$

módokon.

2.2. Deformációs módszereket támogató fejlesztések

2.2.1. Képedformációhoz használt háromszögelési technikák

Az általánosított baricentrikus koordinátákon alapuló képedformációs alkalmazásokban a deformációt a képet körülvevő sokszög háromszögelése biztosítja (lásd 4. ábra), mely a legtöbb esetben egyenletes háromszögeléssel (pl. Delaunay-háromszögelés) meghatározott [3].

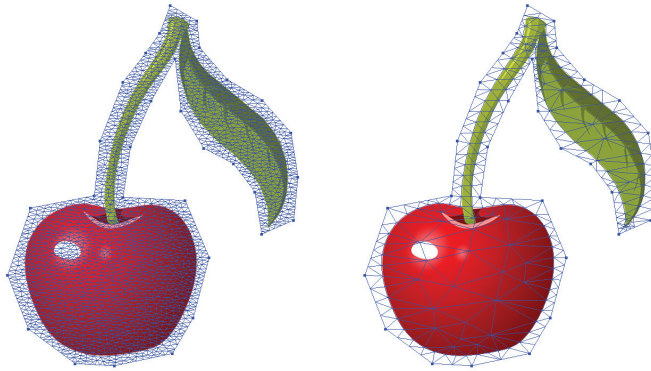
3. eredmény

Annak érdekében, hogy ezen kezdeti sokszög háromszögelésének a létrehozásakor számítási időt és költséget csökkentsünk, meghatároztunk egy nem egyenletes háromszögelési módszert, amely hasonlóan sima és pontos deformációkat eredményez, mint az egyenletes háromszögelés.

Kapcsolódó publikáció: [10]

Saját, nem egyenletes háromszögelési technikánk az alábbi tulajdonságokkal rendelkezik:

- Módszerünk a háromszögháló létrehozásakor figyelembe veszi a kezdeti sokszöget és a használt koordináta-módszert is, továbbá képes lyukakat kezelni.
- A nem egyenletes háromszögelési módszerünkkel létrehozott háromszögháló élei követik a bemeneti kép kontúrját, így a deformáció után is megőrizhető a bemenet kontúrjának a simasága.



4. ábra. Bemeneti képek egyenletes (balra) és nem egyenletes (jobbra) háromszögelési technikával felosztott határoló sokszögekkel

- A saját, nem egyenletes háromszögelési módszerünkkel a számítási idő csökkenthető a háromszögek számának a minimalizálásával.
- Mérési eredményeink alapján kijelenthető, hogy az általunk létrehozott, nem egyenletes háromszögelési technika hatékonyabb és pontosabb deformációs eredményeket produkál, mint az egyenletes háromszögelés, azokban az esetekben, amikor kevesebb háromszöggel generálunk háromszöghálót.

Továbbá, elvégeztük az említett háromszögelési technikák (egyenletes és nem egyenletes) vizsgálatát és összevetését. Összehasonlításunk eredményei az alábbiak szerint foglalható össze:

- Azokban az esetekben, amikor a baricentrikus koordiná-

tákon alapuló képdeformációs módszer egy GPU-s implementációja rendelkezésünkre áll, illetve az erőforrásunk lehetővé teszi a háromszögek számának a megnövelését akár több ezer darabig, akkor az egyenletes háromszögelési technika kellően sima deformációs eredményeket produkál.

- Egy kevésbé részletes rajzfilmfigura vagy egy olyan kép deformációja esetén, amely nagy összefüggő területeket tartalmaz, a nem egyenletes háromszögelési technika megfelelő deformációs eredményeket produkál. Továbbá, ha az algoritmust futtató platform vagy eszköz grafikus erőforrása limitált vagy csak számítási kapacitást szeretnénk spórolni a háromszögek számának a csökkentésével, akkor a nem egyenletes háromszögelési technika használata szintén indokolt.

Mindezek mellett megvizsgáltuk azt is, hogy a különböző textúrafilterezési algoritmusok [11] hogyan tudják növelni a deformációs eredmények minőségét. Megállapítottuk, hogy egy olyan textúrafilterező algoritmus használatával, melyben bikubikus interpolációt használunk, tovább növelhető a deformációs eredmények minősége.

2.2.2. Deformációs ketrec generálása

4. eredmény

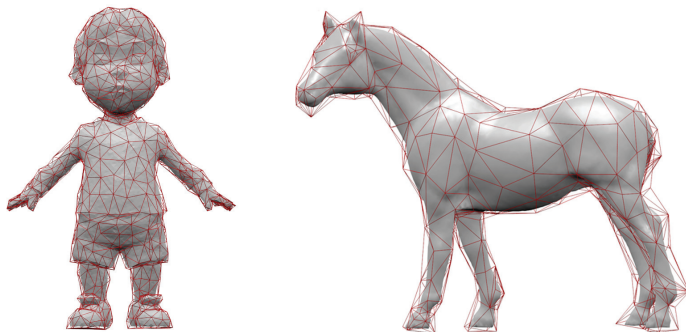
A baricentrikus koordinátákon alapuló modelldeformáció területén végzett kutatásunk során meghatároztunk egy olyan gyorsan és hatékonyan számolható módszert, mely háromdimenziós háromszögelt modellekhez képes automatikusan ketrecmodelleket generálni.

Kapcsolódó publikáció: [12]

Saját, deformációs ketrecet generáló módszerünk (lásd 5. ábra) az alábbi tulajdonságokkal rendelkezik:

- Algoritmusunkat különböző topológiájú modelleken próbáltuk ki, a CAD modellektől kezdve az animációs karakterekig, és elmondható, hogy a generált ketrecmodellek alkalmasak modelldeformációs célokra.
- A felhasználó meghatározhatja a ketrecmodell csúcsszámának a nagyságát. A ketrec csúcsszámának a csökkentésével a számítási idő rövidíthető, illetve megkönnyíthető az interaktív deformáció.
- A felhasználónak továbbá lehetősége van a bemeneti és a ketrecmodell közötti távolság megválasztására is. Ezen távolság variálásával a deformációra lehetünk hatással.
- Publikációnk készítésekor (2018) algoritmusunkat összevetettük a szakirodalom meghatározó módszerével. Megállapítottuk, hogy a saját algoritmusunk minden általunk

tesztelt bemeneti modell esetén szignifikánsabban gyorsabb, mint a Sacht, Vouga és Jacobson által publikált módszer [6].



5. ábra. Bemeneti modellek szürkével és a hozzájuk generált ketrecmodellek pirossal, drótvázként megjelenítve

2.2.3. MPEG-4 szabványnak megfelelő fejmodellek

5. eredmény

Azzal a céllal, hogy az MPEG-4 szabványosítási folyamatot megkönnyítsük és az esetleges kalibrációs hibák lehetőségét minimalizáljuk, létrehoztunk egy olyan félig automatikus módszert, mely egy háromdimenziós fejmodell kalibrációját végzi el.

Kapcsolódó publikáció: [13]

Saját, egy fejmodell kalibrációját támogató módszerünk (lásd 6. ábra) az alábbi tulajdonságokkal rendelkezik:

- Algoritmusunk a harmonikus koordináták módszerét használja, hogy az általános modell deformálásával közelítse a bemeneti fejmodellt.
- Módszerünkről elmondható, hogy csupán a ketrecgeneráláshoz szükséges pontok megjelölésekor követel felhasználói interakciót.
- Szemben az előző rendszerekkel, a felhasználónak nem kell az MPEG-4 szabványpontokat definiálnia a fejmodellen, ezért esetleges kalibrációs hibák nem befolyásolják a beszédanimáció minőségét.
- Validációs méréseink alapján kijelenthető, hogy a kapott eredmények kellően hasonlítanak a bemeneti modellekhez, kisebb eltérések csak a szemek, az orr és a nyak területén fordulhatnak elő.



6. ábra. Bemeneti modell (balra) és a kalibrációs folyamat után kapott eredmény (jobbra). A használt textúrák a *Karolinska Directed Emotional Faces (KDEF)* adatbázisból [14] származnak.

Short thesis for the degree of doctor of philosophy (PhD)

**Analysis and application of deformation
techniques based on barycentric coordinates**

by Ákos Tóth

Supervisor: Dr. Roland Imre Kunkli



UNIVERSITY OF DEBRECEN
Doctoral School of Informatics

Debrecen, 2021

3 Previous work and motivation

The Cartesian coordinate system is probably the most used and best-known coordinate system to specify an object’s location in space. However, we often use alternative systems to solve a problem effectively. Our research is based on a coordinate system where a geometric element’s location is determined with respect to a general polytope. The coordinates of the mentioned coordinate system are called barycentric coordinates and Möbius introduced them in 1827 [1]. In recent years, the barycentric coordinates have been generalized to arbitrary polygons and general polytopes. Nowadays, they are often used in computer graphics for linear interpolation, mesh parameterization, and image or mesh deformation.

The barycentric coordinate functions have different properties, and they behave differently in arbitrary polygons in the plane; therefore, many papers deal with the comparison of them. Floater, Hormann, and Kós [2] had provided an overall picture of the so-called contour lines of the coordinate functions but without any analysis. With all this in mind, I aimed to examine the Wachspress, the discrete harmonic, and the mean value coordinate functions and compare the behavior of them in a more detailed way.

In the cage-based image deformation applications, the triangulation of the source polygon—which envelops the input image—is necessary. Although, the determination of the mentioned triangulation is not always trivial because it can influence the quality of the deformation. Recently, the cage-based image deformation algorithms [3] operate with uniform Delau-

may triangulation, and they are usually implemented on the graphics processing unit (GPU). But if we use a non-uniform triangulation, we can decrease the number of triangles to save computation time and cost. Because the comparison of the two different triangulation techniques has not been done yet in the term of image deformation methods, our goal was to examine and compare them. Moreover, we wanted to develop a non-uniform triangulation method that can produce smooth deformation results while minimizing the number of triangles.

Similarly, the generalized barycentric coordinates can be used for deformation in three dimensions as well. In that case, a coarser, simplified mesh—called cage—is used to manipulate the input model to be deformed. The cage construction is often done manually, which is a very exhausting task. Moreover, if the topology of the input model is very complex, the construction of the cage is usually an impossible task by the user. In recent years, some methods [4, 5, 6] have appeared which can generate the mentioned cages automatically. However, these algorithms are often based on numeric methods or minimization of an energy function; therefore, the computation of them might be time-consuming. Moreover, it can happen that they can not generate sufficiently detailed cages in some cases. Therefore, the purpose of our research was to create an automatic and customizable algorithm that can generate cages for 3D triangulated models faster and more efficiently than the previously mentioned algorithms.

Nowadays, the usage of virtual avatars is very common in human-computer interaction, and the role of them will be important in the future as well. Those approaches which create avatars are usually based on two phases. In the first one, they

create the 3D model of the avatar, while the model calibration for facial animation is executed in the second phase. To calibrate a 3D model, there are some deformation-based systems [7, 8] that support the MPEG-4 standard, but they cannot produce realistic enough results because of the limitations of their used deformation methods. For this reason, we wanted to create a method which can support the process of the model calibration, and it is based on the MPEG-4 standard while it can minimize the calibration errors, and it can produce more realistic results than the previous approaches.

4 New scientific results

4.1 Analysis of barycentric coordinate methods

The comparison of the barycentric coordinates is usually done by the contour lines of the coordinates functions, but it only provides an overall picture of the different properties of them.

Result 1

In order to provide a much detailed comparison of the three different methods, I examined the Wachspress, the discrete harmonic, and the mean value coordinates, and I compared these functions for convex, n -sided polygons.

Publication: [9]

The comparison was based on the curvature plots of the contour lines and the contour line patterns (see Figure 7 and Figure 8). Based on the comparison, I made the following observations:

- The Wachspress and the discrete harmonic coordinate functions satisfy the *variation diminishing* property in the case of regular and cyclic polygons, while the mean value coordinate method can generate inflection points.
- The angles of the polygon greatly affect the differences of the coordinate functions. The larger the polygon's angle at the corresponding vertex, the larger the difference

between the mean value and the other two coinciding coordinate functions.

- In the case of non-cyclic polygons, the three different coordinate methods provide significantly different patterns of contour lines. It can be said generally that the Wachspress coordinates follow the sides of the polygon better than the others, and they provide more uniform patterns, while the discrete harmonic coordinate method behaves unconventionally in some cases because it produces negative coordinates. The mean value coordinate function is the most robust for non-cyclic polygons.

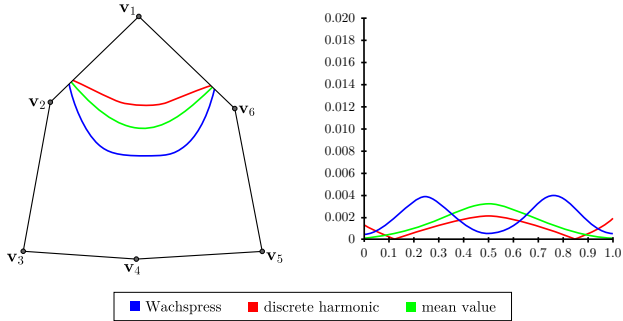


Figure 7: Contour lines of barycentric coordinate functions at $b_1 = 0.25$ with respect to the vertex v_1 on the left, and the curvature plots of them on the right

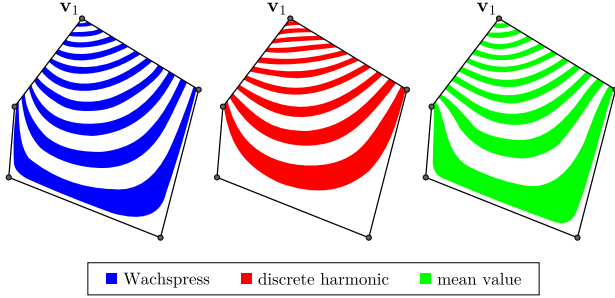


Figure 8: Barycentric contour line patterns of the three different functions with respect to the vertex $\mathbf{v}_1$

4.1.1 Affine combination of barycentric functions

Result 2

To overcome the different disadvantages of the coordinate functions, I introduced the affine combination of the barycentric coordinate functions.

Publication: [9]

Definition 4.1.1.1 Given a convex polygon P with vertices $\mathbf{v}_1, \dots, \mathbf{v}_n \in \mathbb{R}^2$, let the functions b^W and b^H be the Wachspress and the discrete harmonic coordinates with respect to the polygon. The affine combination $b^A = [b_i^A, \dots, b_n^A] : \bar{P} \rightarrow \mathbb{R}^n$ of these functions is

$$b_i^A = (1 - \lambda) b_i^W + \lambda b_i^H,$$

where $\lambda \in [0, 1]$ is a free parameter (see Figure 9).

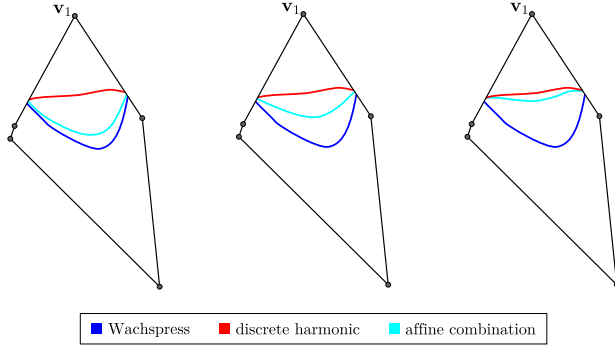


Figure 9: The affine combination of Wachspress and discrete harmonic coordinate functions with different λ parameter with respect to the vertex $\mathbf{v}_1$

The new coordinates satisfy the *partition of unity* property

$$\sum_{i=1}^n b_i(\mathbf{p}) = 1, \quad \forall \mathbf{p} \in \bar{P}$$

and the *linear reproduction* property

$$\sum_{i=1}^n b_i(\mathbf{p}) \mathbf{v}_i = \mathbf{p}, \quad \forall \mathbf{p} \in \bar{P}$$

for any $\mathbf{p} \in \bar{P}$ because

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^n b_i^A(\mathbf{p}) &= \sum_{i=1}^n ((1 - \lambda)b_i^W(\mathbf{p}) + \lambda b_i^H(\mathbf{p})) = \\
&= (1 - \lambda) \sum_{i=1}^n b_i^W(\mathbf{p}) + \lambda \sum_{i=1}^n b_i^H(\mathbf{p}) = \\
&= (1 - \lambda) + \lambda = 1
\end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^n b_i^A(\mathbf{p})\mathbf{v}_i &= \sum_{i=1}^n ((1 - \lambda)b_i^W(\mathbf{p})\mathbf{v}_i + \lambda b_i^H(\mathbf{p})\mathbf{v}_i) = \\
&= (1 - \lambda) \sum_{i=1}^n b_i^W(\mathbf{p})\mathbf{v}_i + \lambda \sum_{i=1}^n b_i^H(\mathbf{p})\mathbf{v}_i = \\
&= \mathbf{p} - \lambda\mathbf{p} + \lambda\mathbf{p} = \mathbf{p}.
\end{aligned}$$

4.2 Application of deformation techniques based on barycentric coordinates

4.2.1 Triangulation techniques for cage-based image deformation

In cage-based image deformation applications, the triangulation of the initial source polygon (see Figure 10) is usually determined by a uniform Delaunay triangulation method [3].

Result 3

To save computation time and cost, we developed a non-uniform triangulation method that can produce accurate and smooth deformation results just like the uniform triangulation.

Publication: [10]

Our non-uniform triangulation has the following properties:

- Our method takes into account the initial source polygon and the used coordinate method as well. Furthermore, it can handle holes.
- The edges of the triangulation follow the input shape's contour; therefore, the smoothness of the contour curves of the input can be preserved.
- Our non-uniform triangulation can reduce the computation time by minimizing the number of triangles of the triangulation.

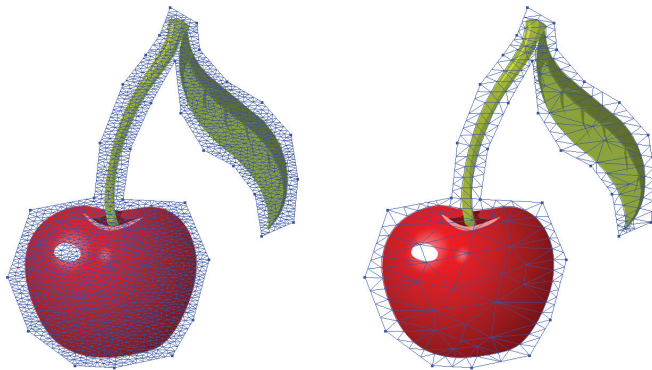


Figure 10: Input image with source polygon using a uniform (left) and our non-uniform (right) triangulation technique

- According to our results, in cases when we can operate with fewer triangles, our non-uniform triangulation is more efficient, and it can produce more accurate deformation results than the methods using a uniform triangulation.

Furthermore, we examined and compared the different triangulation techniques (uniform and non-uniform). The results of our comparison can be summarized in the following way:

- In those cases, when a GPU implementation of the cage-based image deformation methods is available, and we can increase the number of triangles up to more thousands, the uniform triangulation method is recommended.

- In those cases, when we deform cartoon figures or images with big homogeneous regions, the non-uniform triangulation method produces smooth enough deformation results. Moreover, if the used device's graphical resources are limited or we want to save computational cost, the non-uniform triangulation method can produce better results.

Besides that, we investigated how the different texture filtering algorithms can improve the quality of the deformation. We can say that a texture filtering method [11] based on a bicubic interpolation function can improve the quality of the deformation.

4.2.2 Cage generation for cage-based deformation

Result 4

In the area of cage-based deformation, we developed a simply computable and freely customizable method that can automatically define cages for 3D triangulated meshes.

Publication: [12]

Our cage generation algorithm (see Figure 11) has the following properties:

- We tested our algorithm on meshes with different topologies (e.g., CAD models or animation characters). It can be used for cage generation purposes properly.
- The user can define the approximate number of vertices of the cage. The computation time can be decreased, and the interactive deformation can be facilitated by the reduction of the vertices.
- The distance between the input model and the cage can be adjusted by the user as well. We can affect the deformation result by the modification of that distance.
- Our method was compared to the algorithm of Sacht, Vouga, and Jacobson [6]. Based on our results, we can say that our method is significantly faster for every tested model.

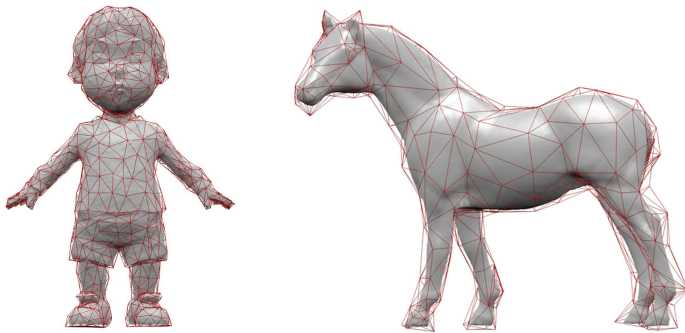


Figure 11: Input models and their generated cages in red

4.2.3 MPEG-4 compliant human face models

Result 5

In order to support the creation of an MPEG-4 compliant face model and reduce the possible calibration errors, we created a semi-automatic method that can calibrate a human face model.

Publication: [13]

Our semi-automatic method for creating a standard face model (see Figure 12) has the following properties:

- Our algorithm uses the harmonic coordinates method to approximate an input face model with a generic one.
- In our algorithm, the user needs to mark only some points on the input model, and the other steps are executed automatically.
- Unlike the existing methods, the manual definition of the MPEG-4 parameters is not required. Thus, the quality of the model animation is not influenced by calibration errors.
- Experimental results show that the resulting face models sufficiently approximate the inputs, and small differences can appear only in certain areas of the model (e.g., eyes, ears, and neck).

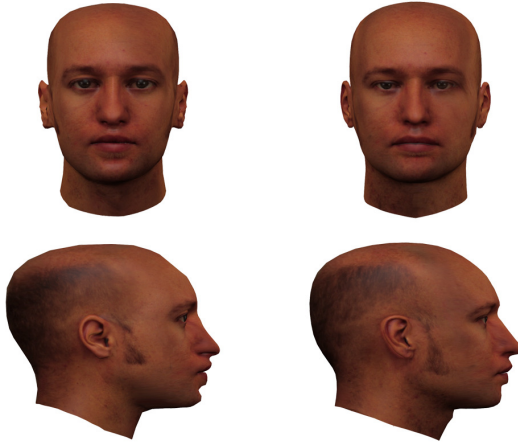


Figure 12: Input model (left) and resulting model (right) after the calibration. The used textures are from the *Karolinska Directed Emotional Faces (KDEF)* database [14].

Irodalomjegyzék/References

- [1] A. F. Möbius. *Der barycentrische Calcul*. Verlag von Johann Ambrosius Barth, 1827.
- [2] M. S. Floater, K. Hormann és G. Kós. “A General Construction of Barycentric Coordinates over Convex Polygons”. *Advances in Computational Mathematics* 24.1-4 (2006), 311–331. old.
- [3] O. Weber, M. Ben-Chen és C. Gotsman. “Complex Barycentric Coordinates with Applications to Planar Shape Deformation”. *Computer Graphics Forum* 28.2 (2009), 587–597. old.
- [4] Z.-J. Deng, X.-N. Luo és X.-P. Miao. “Automatic Cage Building with Quadric Error Metrics”. *Journal of Computer Science and Technology* 26.3 (2011), 538–547. old.
- [5] C. Xian, H. Lin és S. Gao. “Automatic cage generation by improved OBBs for mesh deformation”. *The Visual Computer* 28.1 (2012), 21–33. old.
- [6] L. Sacht, E. Vouga és A. Jacobson. “Nested Cages”. *ACM Transactions on Graphics (TOG)* 34.6 (2015), 1–14. old.
- [7] M. Escher, I. Pandzic és N. M. Thalmann. “Facial Deformations for MPEG-4”. *Proceedings of the Computer Animation*. CA '98. USA: IEEE Computer Society, 1998, 56–62. old.

- [8] F. Lavagetto és R. Pockaj. “The Facial Animation Engine: Toward a High-Level Interface for the Design of MPEG-4 Compliant Animated Faces”. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 9.2 (1999), 277–289. old.
- [9] Á. Tóth. “Comparison and affine combination of generalized barycentric coordinates for convex polygons”. *Annales Mathematicae et Informaticae* 47 (2017), 185–200. old.
- [10] Á. Tóth és R. Kunkli. “The Effects of Different Triangulation Techniques for Cage Based Image Deformation Using Generalized Barycentric Coordinates”. *Journal of WSCG* 28.1–2 (2020), 155–162. old.
- [11] C. Tomasi és R. Manduchi. “Bilateral Filtering for Gray and Color Images”. *Sixth International Conference on Computer Vision*. 1998, 839–846. old.
- [12] Á. Tóth és R. Kunkli. “An automated method for generating customizable cages using barycentric coordinates”. *Annales Mathematicae et Informaticae* 49 (2018), 167–180. old.
- [13] Á. Tóth és R. Kunkli. “An Approximative and Semi-automated Method to Create MPEG-4 Compliant Human Face Models”. *Acta Cybernetica* 23 (2018), 1055–1069. old.
- [14] D. Lundqvist, A. Flykt és A. Öhman. *The Karolinska Directed Emotional Faces (KDEF)*. CD ROM from Department of Clinical Neuroscience. Psychology section, Karolinska Institutet, ISBN 91-630-7164-9. 1998.

A. Publikációs lista/List of publications

Referált folyóiratcikkek/Refereed journal papers

- [F1] **Á. Tóth** és R. Kunkli. “The Effects of Different Triangulation Techniques for Cage Based Image Deformation Using Generalized Barycentric Coordinates”. *Journal of WSCG* 28.1–2 (2020), 155–162. old.
DOI: 10.24132/jwscg.2020.28.19.
- [F2] **Á. Tóth** és R. Kunkli. “An Approximative and Semi-automated Method to Create MPEG-4 Compliant Human Face Models”. *Acta Cybernetica* 23 (2018), 1055–1069. old.
DOI: 10.14232/actacyb.23.4.2018.5.
- [F3] **Á. Tóth** és R. Kunkli. “An automated method for generating customizable cages using barycentric coordinates”. *Annales Mathematicae et Informaticae* 49 (2018), 167–180. old.
DOI: 10.33039/ami.2018.11.002.
- [F4] **Á. Tóth**. “Comparison and affine combination of generalized barycentric coordinates for convex polygons”. *Annales Mathematicae et Informaticae* 47 (2017), 185–200. old.

Könyvrészletek/Conference papers

- [K1] **Á. Tóth** és R. Kunkli. “An approximative and semi-automated method to create MPEG-4 compliant human face models”. *The 11th Conference of PhD Students in Computer Science, Volume of short papers, CS²*. 2018, 21–24. old.
- [K2] **Á. Tóth** és R. Kunkli. “Semi-automatic MPEG-4 standardization of 3D head models”. *VIII. Magyar Számítógépes Grafika és Geometria Konferencia*. Szerk. L. Szirmay-Kalos és G. Renner. Neumann János Számítógép-tudományi Társaság. 2016, 53–60. old.

Demó absztraktok/Demo abstracts

- [D1] J. Ozsváth, B. Erős, **Á. Tóth** és R. Kunkli. “An MPEG-4 based talking head for real time voice chatting on Android platform”. *2017 8th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*. Szerk. P. Baranyi. 2017, 369–370. old.
- [D2] R. Rácz, **Á. Tóth**, I. Papp és R. Kunkli. “Full-body animations and new faces for a WebGL based MPEG-4 avatar”. *2015 6th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*. Szerk. P. Baranyi, Á. Csapó és Gy. Sallai. 2015, 419–420. old.
- [D3] R. Zs. Buda, G. Boldizsár, **Á. Tóth**, Sz. Szeghalmy, R. Tornai és R. Kunkli. “Extended capabilities for a WebGL based talking head system”. *2014 5th IEEE Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*. Szerk. P. Baranyi. 2014, 459. old.

- [D4] B. Katócs, **Á. Tóth**, R. Zs. Buda, G. Boldizsár, T. Török, Sz. Szeghalmy, R. Kunkli és A. Fazekas. “New features for an MPEG-4 talking head”. *2013 IEEE 4th International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*. Szerk. P. Baranyi, Esposito A., M. Niitsuma és Bjorn Solvang. 2013, 935–936. old.

További konferenciaelőadások/Other conference talks

- [E1] **Á. Tóth** és R. Kunkli. “The Effects of Different Triangulation Techniques for Cage Based Image Deformation Using Generalized Barycentric Coordinates”. 28. International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision 2020 (WSCG 2020). Virtuális konferencia. 2020.
- [E2] **Á. Tóth** és R. Kunkli. “Non-Uniform Triangulation for Image Deformation Using Barycentric Coordinates”. Conference on Geometry Theory and Applications (CGTA 2019). Innsbruck, Ausztria. 2019.
- [E3] **Á. Tóth** és R. Kunkli. “An automated method for creating cages for high definition 3D meshes”. The 10th International Conference on Applied Informatics (ICAI 2017). Eger. 2017.
- [E4] **Á. Tóth** és R. Kunkli. “An efficient cage generation algorithm for 3D triangulated meshes”. Conference on Geometry Theory and Applications (CGTA 2017). Pílsen, Csehország. 2017.

Poszterprezentációk/Poster presentations

- [P1] **Á. Tóth** és R. Kunkli. *A Customizable Application for Image Deformation Based on Barycentric Coordinates*. The 12th Asian Forum on Graphic Science (AFGS 2019). Kunming, Kína. 2019.
- [P2] **Á. Tóth** és R. Kunkli. *Automatic cage generation for 3D triangulated meshes with different topology*. 5th Winter School of PhD Students in Informatics and Mathematics. Debrecen. 2018.



Nyilvántartási szám: DEENK/55/2021.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Tóth Ákos

Doktori Iskola: Informatikai Tudományok Doktori Iskola

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (3)

1. **Tóth, Á.**, Kunkli, R.: An Approximative and Semi-automated Method to Create MPEG-4 Compliant Human Face Models.
Acta Cybern. 23 (4), 1055-1069, 2018. ISSN: 0324-721X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14232/actacyb.23.4.2018.5>
2. **Tóth, Á.**, Kunkli, R.: An automated method for generating customizable cages using barycentric coordinates.
Ann. Math. Inform. 49, 167-180, 2018. ISSN: 1787-5021.
DOI: <http://dx.doi.org/10.33039/ami.2018.11.002>
3. **Tóth, Á.**: Comparison and affine combination of generalized barycentric coordinates for convex polygons.
Ann. Math. Inform. 47, 185-200, 2017. ISSN: 1787-5021.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

4. **Tóth, Á.**, Kunkli, R.: The Effects of Different Triangulation Techniques for Cage Based Image Deformation Using Generalized Barycentric Coordinates.
J. WSCG. 28 (1-2), 155-162, 2020. ISSN: 1213-6972.
DOI: <http://dx.doi.org/10.24132/JWSCG.2020.28.19>

Idegen nyelvű konferencia közlemények (2)

5. **Tóth, Á.**, Kunkli, R.: An approximative and semi-automated method to create MPEG-4 compliant human face models.
In: The 11th Conference of PhD Students in Computer Science : volume of short papers : CS2, University of Szeged, Szeged, 21-24, 2018.
6. **Tóth, Á.**, Kunkli, R.: Semi-automatic MPEG-4 standardization of 3D head models.
In: VIII. Magyar Számítógépes Grafika és Geometria Konferencia. Szerk.: Szirmay-Kalos László, Renner Gábor, Neumann János Számítógép-tudományi Társaság, Budapest, 63-60, 2016. ISBN: 9786155036118





Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (2)

7. **Tóth, Á.**: Deformációs ketrec automatikus generálása baricentrikus koordináták felhasználásával.
In: XXXIII. OTDK : Informatika Tudományi Szekció : tartalmi kivonatok. Szerk.: Bálint Roland, Vassányi István, Pannon Egyetem Műszaki Informatikai Kar, Veszprém, 103, 2017. ISBN: 9789633960981
8. **Tóth, Á.**: Arcmodell MPEG-4 szabványosításának automatizálása ketrecalapú deformációs módszerrel.
In: A XXXII. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Informatika Tudományi Szekciójának kivonatkötete. Szerk.: Dombi József, Szegedi Tudományegyetem Informatikai Tanszékcsoport, Szeged, 187-188, 2015.

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (9)

9. **Tóth, Á.**, Kunkli, R.: A Customizable Application for Image Deformation based on Barycentric Coordinates.
In: Graphics and Application : the 12th Asian Forum on Graphic Science (AFGS 2019). Ed.: Baoling Han, Xiao Luo, Hongliang Fan, Beijing Institute of Technology Press, China Graphics Society, Beijing, 140-141, 2019. ISBN: 9787893910319
10. **Tóth, Á.**, Kunkli, R.: Non-Uniform Triangulation for Image Deformation Using Barycentric Coordinates.
In: Conference on Geometry: Theory and Applications: Program and Abstracts / Hans-Peter Schröcker, University of Innsbruck, Innsbruck, 46-47, 2019.
11. **Tóth, Á.**, Kunkli, R.: Automatic cage generation for 3d triangulated meshes with different topology.
In: 5th Winter School of PhD Students in Informatics and Mathematics. Ed.: Hudoba Péter, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 46-46, 2018. ISBN: 9786155586231
12. **Tóth, Á.**, Kunkli, R.: An automated method for creating cages for high definition 3D meshes.
In: ICAI 2017 : 10th International Conference on Applied Informatics . Ed.: Kovásznai Gergely, Terdik György, Eszterházy Károly Egyetem, Eger, 1, 2017.
13. **Tóth, Á.**, Kunkli, R.: An efficient cage generation algorithm for 3D triangulated meshes.
In: Conference on Geometry : Theory and Applications 2017 : Book of abstracts. Ed.: M. Lávička, Vydavatelský servis, Pilsen, 82-83, 2017. ISBN: 9788086843568
14. Ozsváth, J., Erős, B., **Tóth, Á.**, Kunkli, R.: An MPEG-4 based talking head for real time voice chatting on Android platform.
In: 8th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications: CogInfoCom 2017 : Proceedings : September 11-14, 2017 Debrecen, Hungary, IEEE Computer Society, Piscataway, 369-370, 2017. ISBN: 9781538612644





15. Rácz, R., **Tóth, Á.**, Papp, I., Kunkli, R.: Full-body animations and new faces for a WebGL based MPEG-4 avatar.
In: 6th IEEE Conference on Cognitive Infocommunications CogInfoCom 2015 : Proceedings, October 19-21, 2015, Széchenyi István University Győr, Hungary, IEEE, Danvers, 419-420, 2015. ISBN: 9781467381284
16. Buda, R. Z., Boldizsár, G., **Tóth, Á.**, Szeghalmy, S., Tornai, R., Kunkli, R.: Extended capabilities for a WebGL based talking head system.
In: 5th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications CogInfoCom 2014 : Proceedings, Vietri sul Mare, Italy. Ed.: Péter Baranyi, IEEE, Danvers, 459, 2014. ISBN: 9781479972807
17. Katócs, B., **Tóth, Á.**, Buda, R. Z., Boldizsár, G., Török, T., Szeghalmy, S., Kunkli, R., Fazekas, A.: New features for an MPEG-4 talking head.
In: 4th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications CogInfoCom 2013 : Proceedings, December 2-5, 2013 Budapest, Hungary. Ed.: Péter Baranyi, IEEE, Danvers, 935-936, 2013. ISBN: 9781479915439

Egyéb közlemények (1)

18. **Tóth, Á.**, Buda, R. Z., Boldizsár, G., Kunkli, R.: Kinect based 3D human face reconstruction for MPEG-4 based animation.

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2021.02.16.





Registry number:
Subject:

DEENK/55/2021.PL
PhD Publikációs Lista

Candidate: Ákos Tóth

Doctoral School: Doctoral School of Informatics

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (3)

1. **Tóth, Á.**, Kunkli, R.: An Approximative and Semi-automated Method to Create MPEG-4 Compliant Human Face Models.
Acta Cybern. 23 (4), 1055-1069, 2018. ISSN: 0324-721X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14232/actacyb.23.4.2018.5>
2. **Tóth, Á.**, Kunkli, R.: An automated method for generating customizable cages using barycentric coordinates.
Ann. Math. Inform. 49, 167-180, 2018. ISSN: 1787-5021.
DOI: <http://dx.doi.org/10.33039/ami.2018.11.002>
3. **Tóth, Á.**: Comparison and affine combination of generalized barycentric coordinates for convex polygons.
Ann. Math. Inform. 47, 185-200, 2017. ISSN: 1787-5021.

Foreign language scientific articles in international journals (1)

4. **Tóth, Á.**, Kunkli, R.: The Effects of Different Triangulation Techniques for Cage Based Image Deformation Using Generalized Barycentric Coordinates.
J. WSCG. 28 (1-2), 155-162, 2020. ISSN: 1213-6972.
DOI: <http://dx.doi.org/10.24132/JWSCG.2020.28.19>

Foreign language conference proceedings (2)

5. **Tóth, Á.**, Kunkli, R.: An approximative and semi-automated method to create MPEG-4 compliant human face models.
In: The 11th Conference of PhD Students in Computer Science : volume of short papers, : CS2, University of Szeged, Szeged, 21-24, 2018.
6. **Tóth, Á.**, Kunkli, R.: Semi-automatic MPEG-4 standardization of 3D head models.
In: VIII. Magyar Számítógépes Grafika és Geometria Konferencia. Szerk.: Szirmay-Kalos László, Renner Gábor, Neumann János Számítógép-tudományi Társaság, Budapest, 53-60, 2016. ISBN: 9786155036118





Hungarian abstracts (2)

7. **Tóth, Á.**: Deformációs ketrec automatikus generálása baricentrikus koordináták felhasználásával.
In: XXXIII. OTDK : Informatika Tudományi Szekció : tartalmi kivonatok. Szerk.: Bálint Roland, Vassányi István, Pannon Egyetem Műszaki Informatikai Kar, Veszprém, 103, 2017. ISBN: 9789633960981
8. **Tóth, Á.**: Arcmodell MPEG-4 szabványosításának automatizálása ketrecalapú deformációs módszerrel.
In: A XXXII. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Informatika Tudományi Szekciójának kivonatkötete. Szerk.: Dombi József, Szegedi Tudományegyetem Informatikai Tanszékcsoport, Szeged, 187-188, 2015.

Foreign language abstracts (9)

9. **Tóth, Á.**, Kunkli, R.: A Customizable Application for Image Deformation based on Barycentric Coordinates.
In: Graphics and Application : the 12th Asian Forum on Graphic Science (AFGS 2019). Ed.: Baoling Han, Xiao Luo, Hongliang Fan, Beijing Institute of Technology Press, China Graphics Society, Beijing, 140-141, 2019. ISBN: 9787893910319
10. **Tóth, Á.**, Kunkli, R.: Non-Uniform Triangulation for Image Deformation Using Barycentric Coordinates.
In: Conference on Geometry: Theory and Applications: Program and Abstracts / Hans-Peter Schröcker, University of Innsbruck, Innsbruck, 46-47, 2019.
11. **Tóth, Á.**, Kunkli, R.: Automatic cage generation for 3d triangulated meshes with different topology.
In: 5th Winter School of PhD Students in Informatics and Mathematics. Ed.: Hudoba Péter, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 46-46, 2018. ISBN: 9786155586231
12. **Tóth, Á.**, Kunkli, R.: An automated method for creating cages for high definition 3D meshes.
In: ICAI 2017 : 10th International Conference on Applied Informatics . Ed.: Kovásznai Gergely, Terdik György, Eszterházy Károly Egyetem, Eger, 1, 2017.
13. **Tóth, Á.**, Kunkli, R.: An efficient cage generation algorithm for 3D triangulated meshes.
In: Conference on Geometry : Theory and Applications 2017 : Book of abstracts. Ed.: M. Lávička, Vydavatelský servis, Pilsen, 82-83, 2017. ISBN: 9788086843568
14. Ozsváth, J., Erős, B., **Tóth, Á.**, Kunkli, R.: An MPEG-4 based talking head for real time voice chatting on Android platform.
In: 8th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications: CogInfoCom 2017 : Proceedings : September 11-14, 2017 Debrecen, Hungary, IEEE Computer Society, Piscataway, 369-370, 2017. ISBN: 9781538612644





15. Rácz, R., **Tóth, Á.**, Papp, I., Kunkli, R.: Full-body animations and new faces for a WebGL based MPEG-4 avatar.
In: 6th IEEE Conference on Cognitive Infocommunications CogInfoCom 2015 : Proceedings, October 19-21, 2015, Széchenyi István University Győr, Hungary, IEEE, Danvers, 419-420, 2015. ISBN: 9781467381284
16. Buda, R. Z., Boldizsár, G., **Tóth, Á.**, Szeghalmy, S., Tornai, R., Kunkli, R.: Extended capabilities for a WebGL based talking head system.
In: 5th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications CogInfoCom 2014 : Proceedings, Vietri sul Mare, Italy. Ed.: Péter Baranyi, IEEE, Danvers, 459, 2014. ISBN: 9781479972807
17. Katócs, B., **Tóth, Á.**, Buda, R. Z., Boldizsár, G., Török, T., Szeghalmy, S., Kunkli, R., Fazekas, A.: New features for an MPEG-4 talking head.
In: 4th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications CogInfoCom 2013 : Proceedings, December 2-5, 2013 Budapest, Hungary. Ed.: Péter Baranyi, IEEE, Danvers, 935-936, 2013. ISBN: 9781479915439

Other publications (1)

18. **Tóth, Á.**, Buda, R. Z., Boldizsár, G., Kunkli, R.: Kinect based 3D human face reconstruction for MPEG-4 based animation.

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

16 February, 2021

