

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Vizualizációs eljárások kapcsolatok síkbeli ábrázolásához
és információk felületen való megjelenítéséhez**

Papp György

Témavezető: Papp Ildikó



DEBRECENI EGYETEM
Informatikai Tudományok Doktori Iskola
Debrecen, 2022.

Tartalom/Contents

1. Bevezetés és motiváció	1
2. Az értekezés új tudományos eredményei és tézisei	4
2.1. Kapcsolatok körön alapuló vizualizációja	4
2.2. QR kódok beágyazása 3D nyomtatással előállított felü- letekbe	12
3 Introduction	29
4 New scientific results and theses	32
4.1 Circular layout based connection visualization	32
4.2 Embedding QR codes onto surfaces to be 3D printed . .	40
5. Irodalomjegyzék / Refrences	51
A Publikációs lista / List of publications	58

1. Bevezetés és motiváció

Napjainkban egyre elengedhetlenebb a kapcsolatok olyan megjelenítése, amely segítségével újabb, eddig rejtett információk, összefüggések és mintázatok fedezhetők fel az eredményül kapott diagramban. Ha ehhez táblázatos formában adjuk meg a kapcsolatokat, akkor azok vizualizációjával nemcsak az összeköttetéseket, hanem valamilyen tulajdonságukat is megjeleníthetjük.

Az egyik leghasznosabb technika a kapcsolatok ilyen célú megjelenítésére a körön alapuló elrendezés [6], amelyet nemcsak vizualizációs alkalmazásokhoz, mint például a népszerű Circos [12] szoftvercsomagban, hanem gráfok rajzolásához is előszeretettel használnak. Az általunk megalkotott körön alapuló vizualizációval, a Circosban található problémákra és hiányosságokra adtunk megoldást. új eszközöket definiáltunk a kapcsolatok értékének, irányának és az általuk alkotott mintázat megjelenítésre. A felhasználó pedig ezek közül választhatja ki interaktívan, hogy melyikre van szüksége az adott megjelenítés elkészítéséhez.

Számottevő kapcsolat egyszerre történő megjelenítése során az általuk generált metszések zavarhatják a diagram átláthatóságát. Ez egy jól ismert probléma, amely a mi megjelenítésünk esetében is jelentkezik, viszont a kezelésére különböző [1, 8, 16] megoldásokat találhatunk. Ezek alapján két módszert javasoltunk a vizualizációs eljárásunkban megjelenő metszésszámok csökkentésére. Az első megoldásunkban lokális kereső és optimalizáló algoritmusok segítségével keressük a kapcsolatoknak azt az elrendezését, amely mellett a legkevesebb metszéspontot kapjuk a diagramban. A másodikban, egy olyan hierarchikus élkötegelésen alapuló [10] módszert ismertettünk,

amellyel a vizualizációs technikánkban bevezetett hierarchikus felépítés adta lehetőséget használjuk ki.

A Circos alkalmazás által használt Bézier görbék lecserélésére mérőlegesen metsző kúpszeleteket javasolunk, mivel nem csak paraméteres, hanem implicit egyenlettel is rendelkeznek. Ehhez először bemutatjuk az egyes kúpszeletek, illetve azok tengelypontjainak a szerkesztését, majd pedig megvizsgáljuk, hogy miként teljesítenének a javasolt kúpszeletekkel alkotott szalagok a kapcsolatok vizualizációjában.

A kapcsolatok síkbeli vizualizációja mellett azt is megvizsgáltuk, hogy miként lehet információkat, valamilyen géppel olvasható kód formájában megjeleníteni tárgyak felszínén. A vizsgálatunk közép-pontjába a széles körben használt QR-kód került, amelynek a felhasználók számára történő vonzóbbá tétele egy előszeretettel kutatott terület [5, 7, 9, 20, 21, 35, 37]. Azonban a megszokott címkére nyomtatott QR-kódok elhelyezése korlátozott, mivel csak a tárgyak síkba kifejezhető felületfoltjaira elhelyezve biztosítható a címkére nyomtatott QR-kód beolvashatósága [13–15, 18, 19]. Ezen korlátozás elkerülésére több megoldás is elérhető [4, 17, 36, 38], amelyekben a tárgyak felületébe kerül beágyazásra a QR-kód. A saját megoldásunkat Kikuchi és mtsai. [11], valamint Peng és mtsai. [31,32] munkái inspirálták. Ezen módszerek a QR-kód fekete moduljait vésik a felületbe, hogy az így keletkező árnyék megfelelő mértékű kontrasztot eredményezzen a fekete és fehér modulok között a QR-kód beolvasásához. Azonban, a modulok felületen való helyzetének meghatározásához használt vetítés problémákba ütközik, ha a beágyazáshoz kijelölt felület túlságosan ívelt. Emellett, a [11, 31, 32] munkákban ja-

vasolt algoritmusoknak több percig tart a sikeres beolvasáshoz szükséges mélység megtalálása.

Két módszert ismertetünk, amelyekben a QR-kód paraméteres felületekre, valamint háromszögelt modellek felületére történő automatikus vetítésére adunk megoldásokat. A javasolt eljárásaink segítségével kiküszöbölhetők a túlságosan ívelt, nagy átlaggörbülettel rendelkező felületek esetében tapasztalt problémák. Továbbá, a módszerünk segítségével meg tudjuk határozni a QR-kód olyan méretét, amely a kód tetszőleges pozicionálása mellett még probléma nélkül beágyazható eredményt nyújt a felületen kiválasztott középpontban.

Emellett mintákat definiáltunk a beágyazott modulokban megjelenő árnyék mértékének növelésére, valamint azok vésési mélységének a csökkentésére. Ezeket két csoportba sorolhatjuk aszerint, hogy miként módosítjuk a fekete modulokat. Az első csoportba azok a minták tartoznak, amelyekkel felületeket helyezhetünk el a QR-kód moduljainak az alján. A másodikba pedig azok, amelyekkel módosíthatjuk a fekete modulok formáját. Ezeken felül egy mélységoptimalizációs módszert is meghatároztunk, amely a [11, 31, 32] módszerek futási idejének töredéke alatt képes jól dekódolható, és sekély beágyazási mélységgel rendelkező QR-kódot szolgáltatni. Módszerünkben a komputergrafika területén széleskörűen használt Screen Space Ambient Occlusion árnyékolási technikák [2, 22, 34, 39] közül a Horizon-Based Ambient Occlusion technikát alkalmazzuk.

2. Az értekezés új tudományos eredményei és tézisei

2.1. Kapcsolatok körön alapuló vizualizációja

1. Tézis

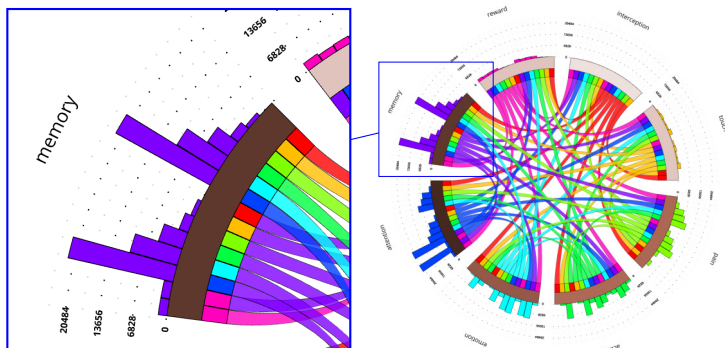
A felhasználói igényeknek megfelelően variálható új eszközöket és interaktív funkciókat tartalmazó vizualizációs technikát alkottunk meg. A kapcsolatok között előforduló metszések csökkentésére és a diagram átláthatóságának javítására, egy optimalizációs és kereső algoritmusokat használó rendezést, valamint egy hierarchikus élkötegelésen alapuló megoldást készítettünk.

Kapcsolódó publikációk: [23, 28]

A javasolt vizualizációs technikánkban olyan új eszközöket definiáltuk, amelyek használatával megoldhatók a Circosban [12] található hátrányok és problémák. A bemutatott eszközök alkalmazása variálható, hogy megkönnyítse a kitűzött vizualizációs céloknak megfelelő diagram kialakítását. Az alábbiakban röviden ismertetjük ezeket az eszközöket.

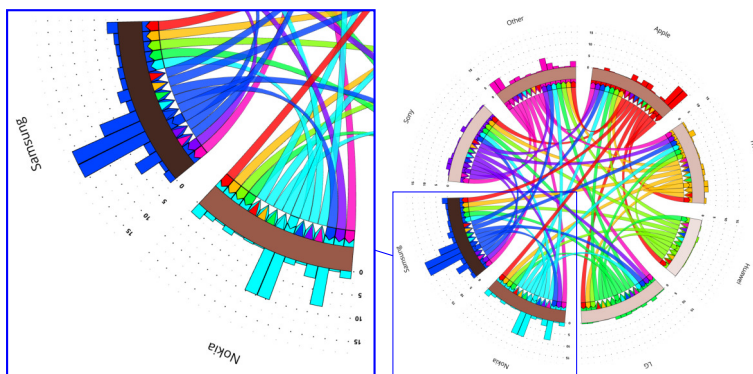
A kapcsolatokhoz rendelt érték megjelenítésére bevezettük a sávokat (lásd 2.1. ábra). Ezzel lehetővé tettük a hierarchikus felépítés kialakítását, a kapcsolatok értékének könnyebb leolvasását és összehasonlítását, valamint javítottuk a kapcsolatok által alkotott mintázat láthatóságát.

Egy új elemet illesztettünk a kapcsolatok végéhez, amely nyílsze-



2.1. ábra. A kapcsolatok értékének reprezentálására bevezetett új sáv elemet mutatjuk be a diagrammal, amelynek elkészítéséhez az agy működésével kapcsolatos [3] adatokat használtunk fel.

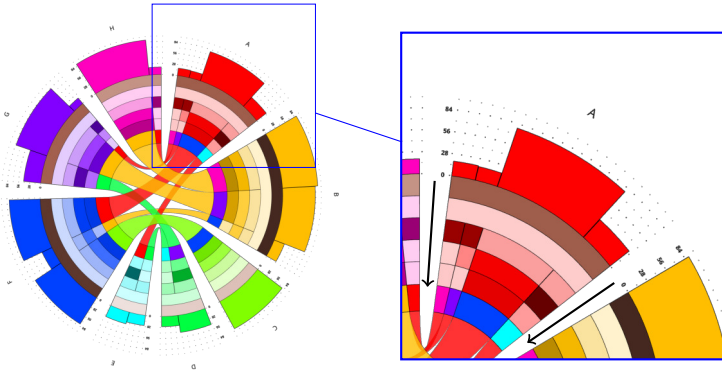
rű formák segítségével egyértelműen meghatározza azok irányát, illetve a kapcsolatban résztvevő másik elemet (lásd 2.2. ábra).



2.2. ábra. A kapcsolatok irányát jelző nyíl formájú elemek láthatók a sávok és kapcsolatok között. Ennek megmutatására, a felhasználók telefonváltási szokásait leíró adatsort használtunk fel [33].

A kapcsolatok és blokkok között elhelyezett körgyűrűbe pakolt

szegmensekkel további, hozzájuk köthető információ jeleníthető meg (lásd 2.3. ábra).



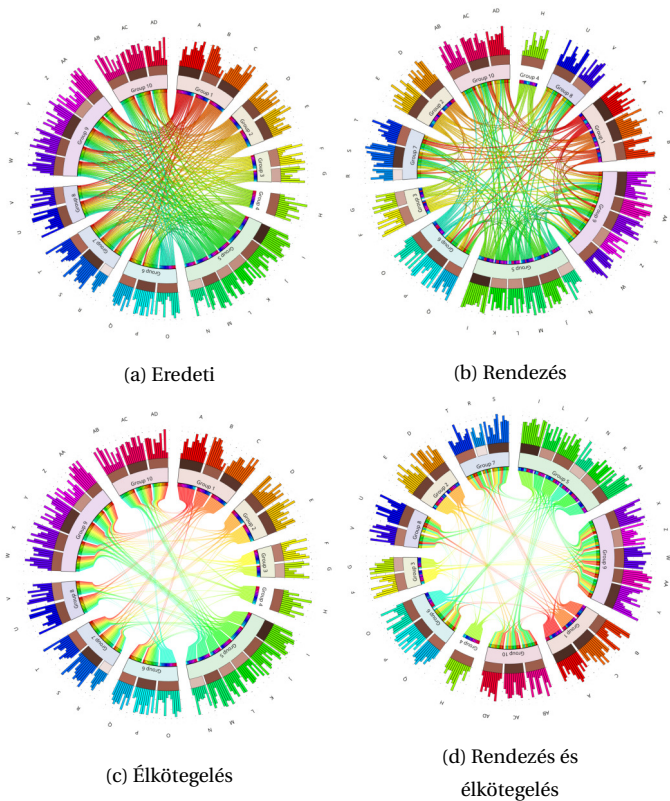
2.3. ábra. A következő információkat jeleníthetjük meg a blokkoktól befelé, a nyíllal jelölt irányba haladva a kapcsolatokig: blokkban található sávok összértéke, blokkban elrejtett sávok száma, legkisebb és legnagyobb értékkel rendelkező kapcsolat, kapcsolat által keresztezett kapcsolatok száma és a kapcsolat értéke.

A felsorolt eszközök használatára, valamint a diagram átláthatóságának javítására egy interaktív vizualizációs webalkalmazást készítettünk ¹.

A megoldásunkban lokális kereső (hegymászó és minimális konfliktusok), valamint optimalizáló algoritmusok segítségével (keresztentrópia, szimulált hűtés, és méhek algoritmus) rendeztük a diagramban található kapcsolatokat. Az elkészült rendezési módszerünk tesztelése alapján, átlagosan $\approx 50\%$ -kal tudjuk csökkenteni a diagramban található metszések számát.

Az élkötegelés implementációját úgy akartuk elvégezni a vizualizációs megoldásunkban, hogy a kapcsolatok végpontjai és irányai

¹ https://papp_gyorgy.gitlab.io/BezierSimpleConnectViewer/



2.4. ábra. A rendezési és élőkötegelési módszerünket, valamint ezek kombinációját hasonlítjuk össze a képeken.

a kötegelés elvégzése után is egyértelműen meghatározhatók legyenek. Ennek eléréséhez, egy olyan hierarchikus élőkötegelésen alapuló megoldást adtunk, amelyben az azonos csoportokat összekötő kapcsolatok kerülnek kötegelésre. A 2.4. ábrán mutatjuk meg a javasolt módszereink és azok kombinációjának összehasonlítását.

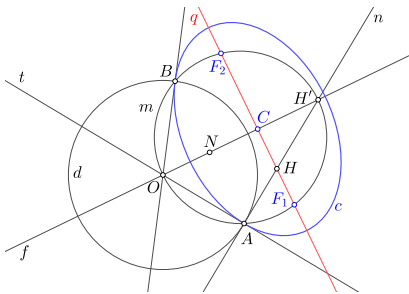
2. Tézis

A kapcsolatok vizualizációjában elterjed Bézier görbe lecseréléséhez kúpszelet szerkesztéseket adtunk meg, mivel így nem csak paraméteres hanem implicit egyenlete is van a kapcsolatokot alkotó másodrendű görbéknek. Továbbá megvizsgáltuk a kúpszeletek viselkedését, amely során megmutatjuk, hogy a javasolt merőlegesen metsző köröknek a kapcsolatok reprezentálására történő használata javítja azok láthatóságát.

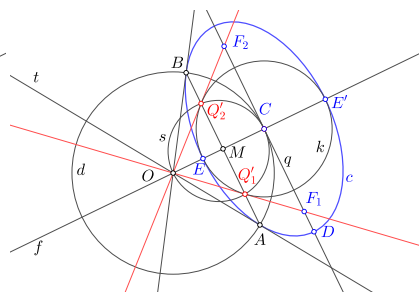
Kapcsolódó publikációk: [29, 30]

Két szerkesztést adtunk olyan speciális ellipszisekhez, amelyek nagytengelye merőleges az f egyenesre, és a d kört két tetszőleges A és B pontban merőlegesen metszik (lásd 2.5. ábra).

2.1. Tétel. Legyen c olyan f egyenesre merőleges q nagytengellyel adott ellipszis, amely a d kört két tetszőleges A és B pontban merőlegesen metszi. Az A , O és B pontok által definiált m körnek a q -val vett F_1 és F_2 metszéspontjai a c ellipszis fókuszpontjai.



(a) 2.1. tétel



(b) 2.2. tétel

2.5. ábra. A bemutatott tételeinkkel megszerkeszthető ellipszisekre adunk példát

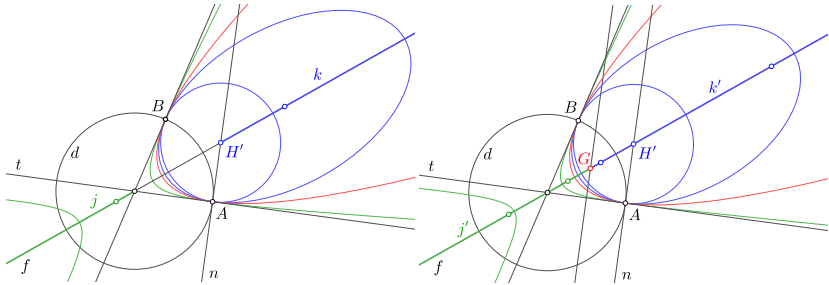
A 2.5a. ábrán jól látható, hogy a 2.1. tétellel megszerkeszthető ellipszisek C középpontja az NH' szakaszon helyezkedhet el. Azonban C -t rögzítjük a d -körön, hogy garantáljuk az ellipszisek egyszerű szerkesztését bármilyen tetszőlegesen kiválasztott A és B pontpár esetén.

2.2. Tétel. *Legyen c olyan k mellékkörrel, valamint d kört érintő és f -re merőleges q nagytengellyel adott ellipszis, amely a d -t két tetszőleges A és B pontban merőlegesen metszi. Továbbá jelölje F_1 és F_2 az O pontból k -hoz húzott érintők q -val vett metszéspontjait. Ekkor az F_1 és F_2 pontok a c ellipszis fókuszpontjai.*

Emellett két általános módszert adtunk olyan kúpszeletek szerkesztésére, amelyek nagytengelye az f egyenes, valamint merőlegesen metszik a d kört két tetszőleges A és B pontban. A szerkesztésünk első lépése az egyik fókuszpont (F_1) vagy a középpont (C) elhelyezése. Ehhez a 2.1. táblázatban listázzuk, hogy f különböző részeit választva milyen típusú kúpszelet szerkeszthető (lásd 2.6. ábra). A szerkesztést, vagy a kúpszeletek optikai tulajdonsága, vagy pedig 2.1. tételhez használt tulajdonság alapján végezhetjük el.

	Középpont elhelyezés	Fókusz elhelyezés
Kör	H'	H'
Parabola	f végtelen távoli pontja	G
Ellipszis	k	k'
Hiperbola	j	j'

2.1. táblázat. A táblázat listázza hogy milyen típusú kúpszeletek készíthetők a szerkesztési eljárásunkkal, ha a C és F_1 pontokat az f egyenes valamelyik felsorolt részén helyezzük el.

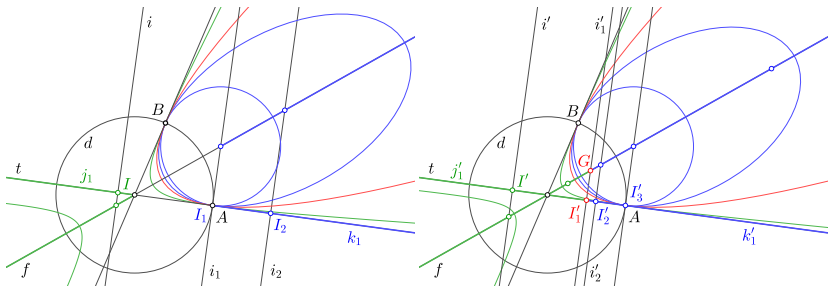


(a) Közepponthelyezése f -en

(b) Fókuszponthelyezése f -en

2.6. ábra. A középpont vagy fókuszpont f egyenesen történő elhelyezésével megszerkeszthető, különböző típusú kúpszeletekre mutatunk egy-egy példát.

A kúpszeletek elkészítése során az volt a célunk, hogy az A és B pontok d körön történő tetszőleges mozgása esetén ne változhasson meg egy kúpszelet típusa. Ezért az F_1 és C pont helyzetét, a t egyenes egy tetszőleges I pontjába állított i merőlegesnek az f egyenessel vett metszéspontjaként határozzuk meg (lásd 2.7. ábra).



(a) Közepponthelyezése t -re merőleges egyenessel

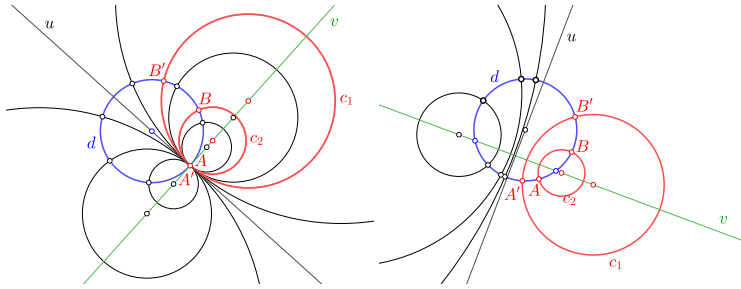
(b) Fókuszponthelyezése t -re merőleges egyenessel

2.7. ábra. A kúpszeletek középpontjának és fókuszpontjának a t -re merőlegesként megadott egyenessel történő elhelyezésére mutatunk példákat minden kúpszelet típus esetében.

Az f egyenes t -re történő merőleges vetítése megadja, hogy t mely részét kell az I pont elhelyezéséhez kiválasztani a kívánt típusú

kúpszelet megszerkesztéséhez (lásd 2.7. ábra).

A c_1 és c_2 kúpszeletek a 2.8. ábrán látható parabolikus és elliptikus körsort definiálják, ha c_1 -et és c_2 -t körnek választjuk meg.



(a) Parabolikus körsor

(b) Elliptikus körsor

2.8. ábra. A c_1 és c_2 körök által alkotott körsorokat mutatjuk be, amelyek konjugált körsorának az egyik eleme a d kör. A kapott körsorok hatványvonala az u egyenes, a centrálisa pedig a v egyenes.

2.3. Tétel. *Legyenek c_1 és c_2 kúpszeletek a d kört A, B és A', B' tetzőleges pontokban merőlegesen metsző körök. Ha a d kör $\widehat{AA'}$ és $\widehat{BB'}$ körívei közül az egyik tartalmazza a másikat, akkor a c_1 és c_2 kör nem metszi egymást. Továbbá, ha vagy $A = A'$ vagy $B = B'$ egyenlőség fennáll, akkor a c_1 és c_2 kör egyetlen közös pontja a d körön helyezkedik el.*

A 2.3. tételnek köszönhetően olyan szalagokat készíthetünk a merőlegesen metsző körökből, amelyek oldalai nem metszik egymást. Az így kapott deformációmentes szalagok segítségével növelhetjük a kapcsolatok átláthatóságát.

2.2. QR kódok beágyazása 3D nyomtatással előállított felületekbe

3. Tézis

A QR-kód paraméteres felületekbe ágyazására adtunk meg egy olyan módszert, amely használata a nagy átlaggörbülettel rendelkező felületrészek esetében is dekódolható, deformációtól mentes beágyazott QR-kódot eredményez. Emellett, a bevésített modulokban kapott árnyék mértékét növelő mintákat definiáltunk, amelyekkel a fekete modulok alján található felületet cseréljük le.

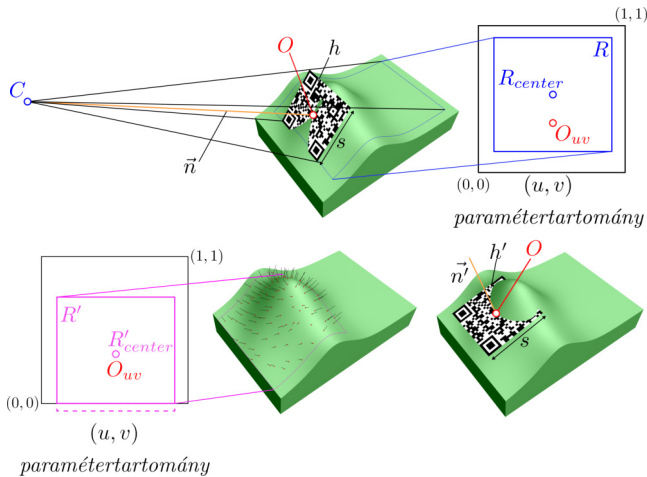
Kapcsolódó publikációk: [27]

A QR-kódhoz meghatározott vetítési irány nagyban befolyásolja a beágyazás eredményéül kapott kód dekódolhatóságát. A megfelelő irány megtalálásához az alábbiak szerint mintavételezzük a paraméteres felület normálvektorjait.

- Egy kezdeti vetítési irányt $-\vec{n}$ és centrumot $C = O + g \cdot \vec{n}$ határozzunk meg, a QR-kód felületre történő vetítéséhez.
- A 2.9. ábrán. bemutatott módszerrel határozzuk meg a normálvektorok mintavételezési tartományát.
- Az eredményül kapott tartományból Halton szekvencia segítségével választjuk ki a felületi normálvektorokat.
- A mintavételezés eredményeit (\vec{n}_i) felhasználva kapjuk meg a

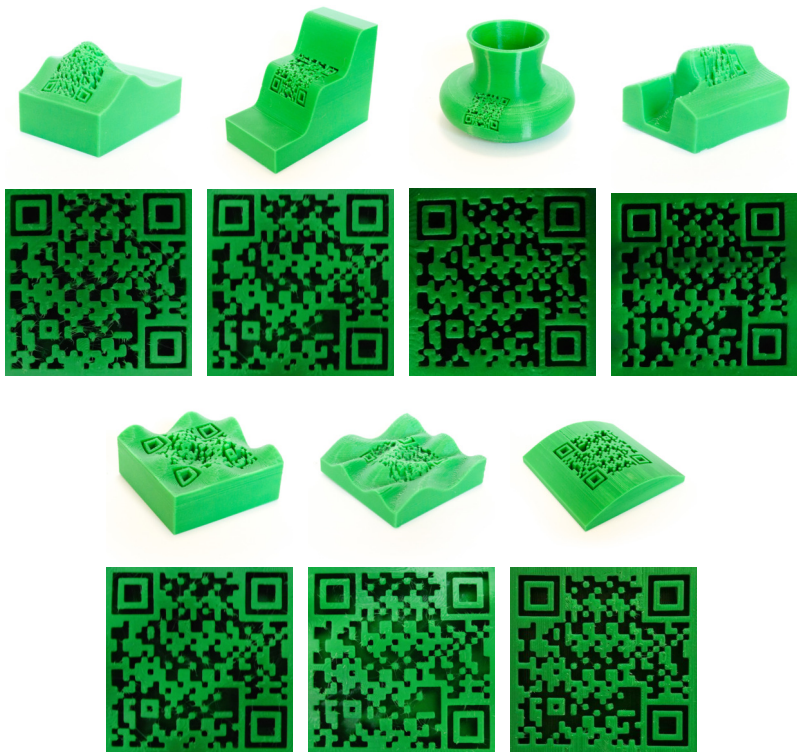
QR-kód síkjának normálvektorját, $\vec{n}' = \frac{\sum_0^m \vec{n}_i}{\|\sum_0^m \vec{n}_i\|}$

- Kiszámoljuk az új vetítési centrumot, $C' = O + g \cdot \vec{n}'$, és a QR-kód egyes pontjaihoz tartozó irányt, $d(k, l) = Q_{kl} - C'$, ahol Q_{kl} , a QR-kód egy pontját jelöli.
- Newton-módszer segítségével, $P_{kl} = C' + t \cdot d(k, l)$ alakban keressük a QR-kód felületre vetített pontjait.



2.9. ábra. A normálvektorok mintavételezéséhez egy R téglalapot határozunk meg a felület paramétertartományában, amelyhez a h síkon elhelyezkedő QR-kódot $(-\vec{n})$ kezdeti iránnyal vetítjük a felületre. Ezt az R téglalapot úgy toljuk el, hogy $R'_{center} = O_{uv}$, ahol O_{uv} a QR-kód középpontjának a felület paramétertartománybeli képe. Az így kapott R' téglalap által meghatározott felületrészen végezzük a mintavételezést. A QR-kód végső állását a h' sík adja meg, amelynek \vec{n}' normálvektorját, a felület mintavételezett normálvektorjaiból határozzuk meg.

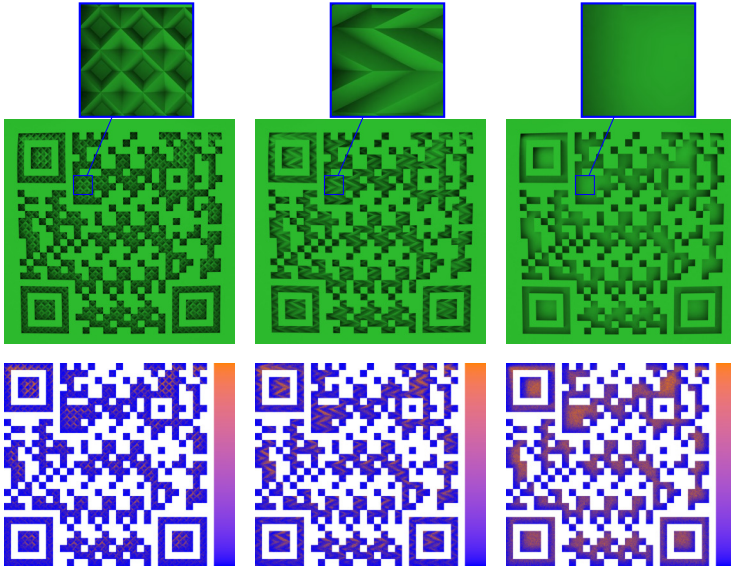
A 2.10. ábrán látható, hogy a megoldásunkkal beágyazott QR-kód nem csak a problémás felületeken, hanem egyéb általánosabb felületekkel használva is dekódolható QR-kódot eredményez.



2.10. ábra. 3D nyomtatóval elkészített példák a módszerünkkel beágyazott QR-kódokra. Az első négy képpár a problémás, míg a fennmaradó képpárok egyéb, általános esetekre adott, beágyazott QR-kódokat mutatja.

A QR-kód problémamentes beolvasásához a fekete modulokat olyan mélyen kell beágyazni, hogy az így kapott árnyékkal megfelelő mértékű kontrasztot érjünk el a fehér és fekete modulok között. A megoldásunkban olyan mintákat definiáltunk, amelyekkel a dekódoláshoz szükséges mélység növelése nélkül tudunk több árnyékot elérni. A 2.11. ábrán mutatjuk be a mintáink által definiált új felületeket a fekete modulok alján. Az első képen látható négyzetes mintá-

inkkal minden modulnak egységes felületet definiálunk. Ezzel szemben a hullámos mintánk használata esetén soronként változik a modul felülete (lásd 2.11. ábra második kép).



2.11. ábra. Az önárnyék növelésére adott mintáink (első két kép) egymással és a minta nélküli esettel való összehasonlítását mutatjuk meg, az alsó sorban kiszámolt [11] megvilágítottság segítségével. Kékkel a sötét, narancssárgával a világos területeket jelöltük.

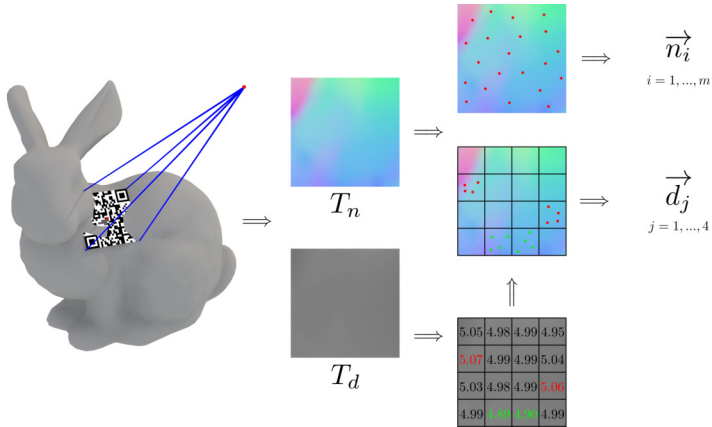
4. Tézis

Egy olyan iteratív módszert dolgoztunk ki, amely képes deformációtól mentesen beágyazni háromszögelt modellek felületébe a QR-kódot, még abban az esetben is, amikor nagy átlaggörbülettel rendelkező felületrész kerül kiválasztásra. Ehhez a kijelölt felület megjelenítése során kinyert normálvektorokat és mélység információkat használjuk fel a megoldásunkban. Továbbá a módszerünk képes meghatározni a QR-kód azon méretét, amellyel garantáltan beágyazható a kijelölt középpontban megadott tetszőleges elhelyezéssel.

Kapcsolódó publikációk: [24–26]

A QR-kód háromszögelt modellek felületre vetítéséhez javasolt módszerünk egy kezdő vetítési irány segítségével határozza meg a mintavételezési tartományt, majd pedig az így kapott terület normálvektorjait és mélység információt rendereli textúrákba. Ezt követően, mindig az előző iterációban meghatározott vetítési irányt felhasználva készíti el az új textúrákat. Ha egy adott iteráció eredményeként kapott QR-kódnak (h sík) van olyan része, amely az általa meghatározott vetítési irányból nézve a modell kontúrján kívül helyezkedik el, akkor azokon a részeken módosítjuk a normálvektorokat, $T_{n_{ij}} = h_{ij} - O - \vec{n}$, ahol O a QR-kód középpontja, \vec{n} pedig a h sík normálvektora.

Az iteratív módszerünk minden lépésében egy olyan vetítési irányt keresünk, amelynek a használatával kapott mélységinformációk a legkisebb varianciát mutatják.

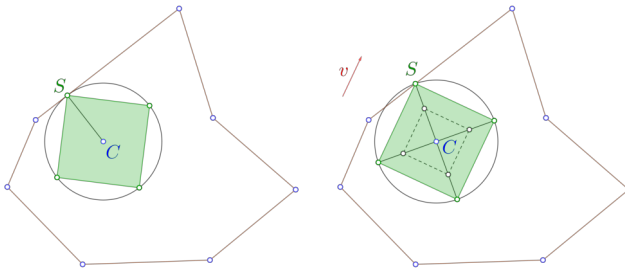


2.12. ábra. A rendereléssel meghatározott normálvektorokat és mélységinformációkat tartalmazó textúrákat a képen látható módon használjuk fel a mintavételzés során.

- Halton szekvencia használatával mintavételezést végzünk a normálvektorokat tartalmazó textúrán, majd pedig meghatározuk az eredményül kapott vektorok átlagát.
- Ismételten mintavételezzük a normálvektorokat, azonban már csak azokon a területeken, ahol a két legtávolabbi illetve legközelebbi mélységinformáció található (lásd 2.12. ábra).
- Egy harmadik opcionális lépésre is szüksége lehet, ha van olyan része a h síknak, amely kívül esik a modell kontúrján. Ekkor ezeket a területeket is mintavételezzük, és meghatározzuk a módosított vektorok átlagát.
- Az iteráció új irányát, az előző lépések eredményeként kapott vektorok átlagaként határozzuk meg.
- Ha a mélységértékek varianciája elég alacsony, vagy elérjük az

iterációk maximális számát, akkor megáll az iteráció.

A QR-kód középpontját és vetítési irányát felhasználva egy olyan módszert definiáltunk, amely automatikusan megkeresi a QR-kód legnagyobb, bármilyen elhelyezés esetén garantáltan problémamentes beágyazást biztosító méretét. Ehhez először a vetítési irányunk által definiált sziluettjét keressük meg a modellnek, majd pedig a sziluett azon S pontját, amely a QR-kód C középpontjához a legközelebb található. Az így kapott \overline{SC} távolságot, ami a 2.13. ábrán látható négyzet átlójának a fele, használjuk a QR-kód garantált beágyazási méreteként.



2.13. ábra. A bal oldalon látható, QR-kód köré írt kör érinti a modell sziluettjét (a vetítési centrumának nézőpontjából), ezért a kód bármilyen forgatás mellett beágyazható. A jobb oldali QR-kódot egy \vec{v} irányal megadott elhelyezéshez határoztuk meg.

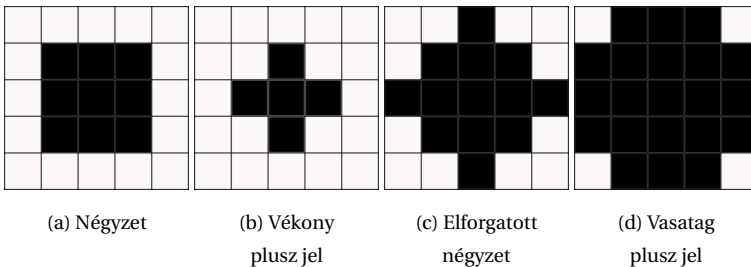
Emellett az is látható a 2.13. ábrán, hogy a módszerünk egy adott \vec{v} irányhoz igazítva is képes meghatározni a QR-kód garantált méret. Ehhez középpontos hasonlóság segítségével lépésről-lépésre nagytunk fel egy olyan C középpontú négyzetet, amelynek két oldala párhuzamos a \vec{v} iránnyal. Mindezt addig folytatjuk, amíg a négyzettel el nem érjük az előzőekben megtalált sziluettjét a modellnek (lásd 2.13. ábra).

5. Tézis

A QR-kód beágyazási mélységének csökkentéséhez definiált mintáink használatával módosíthatjuk a fekete modulok formáját, valamint a QR-kód lokalizációs mintáját. Emellett, a Horizon-Based Ambient Occlusion árnyékolási technikán alapuló módszerünk a meglévő megoldások futási idejének töredéke alatt találja meg a QR-kód beágyazásához szükséges mélységet.

Kapcsolódó publikációk: [26]

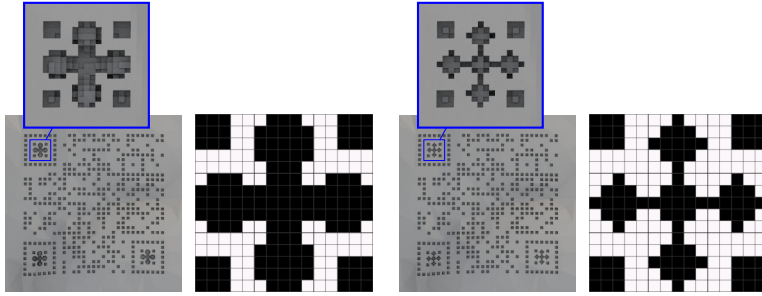
A modulok beágyazási mélységének csökkentésére megadott mintáinkat két csoportra oszthatjuk aszerint, hogy megtartják-e a modulok közötti összeköttetést vagy sem. A 2.14. ábrán mutatjuk be a QR-kód fekete moduljaihoz javasolt mintáinkat.



2.14. ábra. A modulok alakzatának módosítására javasolt mintáinkban a fekete négyzetek jelölik a bemélyeszhető almodulokat. Az első két minta megszünteti, míg az utolsó kettő csak korlátozza a modulok közötti összeköttetést.

A QR-kód lokalizációs mintájának fontos szerepe van a dekódolás során. Emiatt olyan új lokalizációs mintákat javaslunk a QR-kód beágyazáshoz, amelyek csökkentik az ehhez szükséges mélységet, valamint dekódolható QR-kódot eredményeznek. A 2.15. ábrán is-

mertetjük ezeket a mintáinkat, amelyeket a 2.14. ábrán látható minták kombinációjaként alkottunk meg.



(a) Vastag plusz jel

(b) Elforgatott négyzet

2.15. ábra. A lokalizációs minták bemélyesztéséhez javasolt formáinkat mutatjuk be az ábrán. A jobb oldalon a minta látható míg mellette a bal oldalon egy példát adunk a használatára.

A QR-kód olvasható beágyazásához javasolt módszerünk az alábbiak szerint találja meg a kellő kontraszt eléréséhez szükséges mélységet.

- A javasolt iteratív módszerünk a „Horizon-Based Ambient Occlusion” (HBAO) technikát használja a beágyazott QR-kód megjelenítésére.
- Az almodulok $AMV_{k,l,i,j}$ megvilágítottságát a renderelés kimeneteként kapott textúrák alapján, a

$$V(p_x, p_y) = \frac{\sum_{i=p_x}^{p_x+s} \sum_{j=p_y}^{p_y+s} T_{i,j}}{s^2}$$

függvény segítségével határozzuk meg.

- A modulok $M_{k,l}$ megvilágítottságát pedig az almoduljainak az átlagaként kapjuk meg.

- Egy modul környező szomszédainak (8-szomszédság) a megvilágíttósága $KMV(k, l)$ alapján határozzuk meg az almoduljainak a további mélyítését.
- Az almodulok mélyítését irányító f függvény:

$$f(k, l, i, j) = KMV(k, l) \cdot (-1 + c) + AMV_{k,l,i,j},$$

ahol a 0,2 értékkel definiált c paraméterrel, a fekete és fehér modulok között elérni kíván kontraszt küszöbértékét adjuk meg.

- Az $M_{k,l}$ modul $AM_{k,l,i,j}$ almoduljának mélységét csak akkor növeljük ha, $f(k, l, i, j) > 0$.
- Az alábbi egyenlőtlenség teljesülése esetén állunk meg az iterációval.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n H(G(k, l, i, j)) \leq 0$$

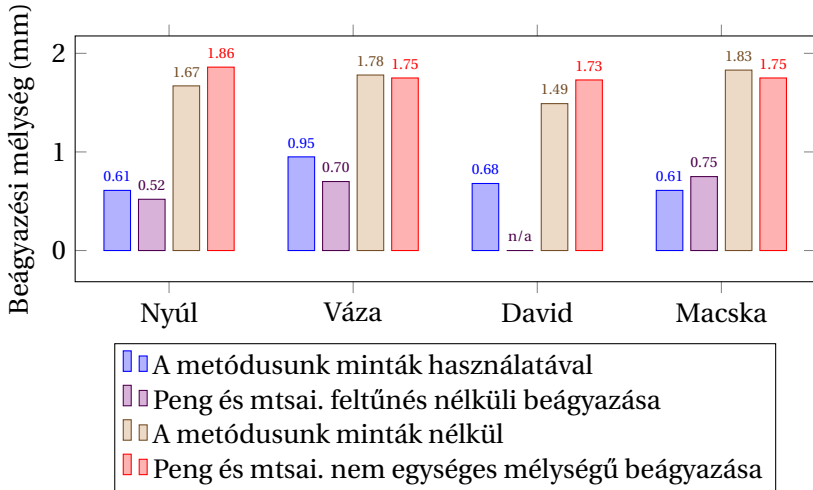
- Az almodulok mélységét változó mértékben növeljük,

$$O(x) = a - a \cdot b \left(\tanh\left(\frac{1}{d} - e\right) + \tanh\left(e - \frac{x}{d}\right) \right),$$

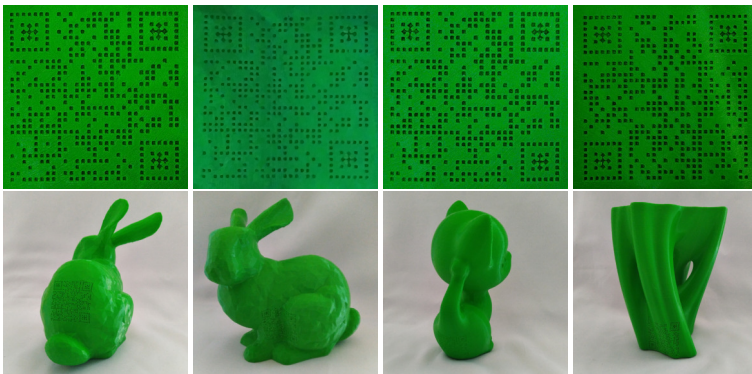
ahol az x változó adja meg egy almodul megvilágíttóságában bekövetkező legutolsó szignifikáns változás óta eltelt iterációk számát. Az a paraméter az alapértelmezett növekedési érték, míg a d , b , és e pedig állandó értékek a $\tanh()$ függvény transzformációjához. A paramétereinknek választott értékek: $a = 0,1$; $d = 2$; $b = 3$; $e = 2,5$.

Az így működő megoldásunk hasonló mélységgel ágyazza be a QR-kódot, mint Peng és mtsai. [32]. A bemutatott mintáink alkalmazásával pedig még kisebb mélységgel beágyazott QR-kódot kaphatunk (lásd a 2.16. és 2.17. ábrákon).

Emellett a módszerünk lehetőséget biztosít irányított fényforrások használatára a QR-kód beágyazása során. A segítségükkel olyan robusztus QR-kódokat kaphatunk, amelyek adott irányból érkező fény mellett is dekódolhatók maradnak.



2.16. ábra. Saját módszerünk összehasonlítása a [31, 32] módszerekkel.



2.17. ábra. A négyzet (modul) és elforgatott négyzet (lokalizációs) mintáink használatával készített 3D nyomtatott QR-kódok.



Nyilvántartási szám: DEENK/58/2022.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Papp György
Doktori Iskola: Informatikai Tudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10058479

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

1. **Papp, G.**, Hoffmann, M., Papp, I.: Embedding QR Code onto Triangulated Meshes using Horizon Based Ambient Occlusion.
Comput. Graph. Forum. Epub, 1-17, 2021. ISSN: 0167-7055.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/cgf.14394>
IF: 2.078 (2020)
2. **Papp, G.**, Hoffmann, M., Papp, I.: Improved Embedding of QR Codes onto Surfaces to be 3D Printed.
Comput.-Aided Des. 131, 1-10, 2021. ISSN: 0010-4485.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cad.2020.102961>
IF: 3.027 (2020)

Idegen nyelvű konferencia közlemények (3)

3. **Papp, G.**, Hoffmann, M., Papp, I.: Embedding QR code onto triangulated meshes.
In: The 12th Conference of PhD Students in Computer Science : Volume of short papers, University of Szeged, Institute of Informatics, Szeged, 79-82, 2020.
4. **Papp, G.**, Kunkli, R.: TabularVis: An Interactive Relationship Visualization Tool Supported by Optimization and Search Algorithms.
In: Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications : 13th International Joint Conference, VISIGRAPP 2018 Funchal-Madeira, Portugal, January 27-29, 2018 : Revised Selected Papers / Dominique Bechmann, Manuela Chessa, Ana Paula Cláudio, Francisco Imai, Andreas Kerren, Paul Richard, Alexandru Telea, Alain Treméau, Springer, Cham, 167-192, 2019, (Communications in Computer and Information Science, ISSN 1865-0929 ; 997.) ISBN: 9783030267551
5. **Papp, G.**, Kunkli, R.: TabularVis - a Circus-inspired interactive web client based tool for improving the clarity of tabular data visualization.
In: Proceedings of the 13th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications, Volume 3: IVAPP. Ed.: Alexandru Telea, Andreas Kerren, Jose Braz, SCITEPRESS, Portugal, 120-131, 2018. ISBN: 9789897582899





Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (2)

6. **Papp, G.:** Körszerű elrendezésre épülő vizualizáció térbeli kiterjesztése hiperbolikus geometriai alapokon.

In: XXXIII. OTDK Informatika Tudományi Szekció : tartalmi kivonatok / Bálint Roland, Vassányi István, Pannon Egyetem Műszaki Informatikai Kar, Veszprém, 81, 2017. ISBN: 9789633960981

7. **Papp, G.:** Nagyméretű mátrixok vizualizációja a weben hiperbolikus geometriai alapokon.

In: XXXII. OTDK Informatika Tudományi Szekció : [A XXXII. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Informatika Tudományi Szekciójának kivonatkiötete] : Szeged, 2015. április 16-18.. Szerk.: Dombi József, Szegedi Tudományegyetem Informatikai Tanszékcsoport, Szeged, 157, 2015.

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (7)

8. **Papp, G., Hoffmann, M., Papp, I.:** Improved QR code embedding for meshes with 3D printing.

In: The 11th International Conference on Applied Informatics (ICAI 2020). Ed.: Fazekas István, Kovásznaiz Gergely, Eszterházy Károly Egyetem, Eger, 1-2, 2020.

9. **Papp, G., Papp, I., Kunkli, R.:** Construction and Properties of Orthogonally Intersecting Conics in Relationship Visualization.

In: Conference on Geometry : Theory and Applications : Program and Abstracts / Hans-Peter Schröcker, University of Innsbruck, Innsbruck, 27, 2019.

10. **Papp, G., Hoffmann, M., Papp, I.:** Improved projection for embedding QR code onto surfaces to be 3D printed.

In: Graphics and Application The 12th Asian Forum on Graphic Science (AFGS 2019). Ed.: Baoling Han, Xiao Luo, Hongliang Fan, China Graphics Society, Kunming, 116-117, 2019.

11. **Papp, G., Papp, I., Kunkli, R.:** Possibilities of Using Orthogonally Intersecting Conics In Circular Layout Based Relationship Visualization.

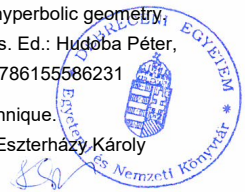
In: 6th Winter School of PhD Students in Informatics and Mathematics : Section of Mathematical and Information Sciences, Association of Hungarian PhD and DLA Students. Ed.: Péter Hudoba, Flóra Hajdu, Section of Mathematical and Information Sciences, Association of Hungarian PhD and DLA Students, Szeged, 28, 2019. ISBN: 9786155586378

12. **Papp, G., Kunkli, R.:** Relationship visualization of tabular data based on hyperbolic geometry.

In: 5th Winter School of PhD Students in Informatics and Mathematics. Ed.: Hudoba Péter, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 39, 2018. ISBN: 9786155586231

13. **Papp, G., Kunkli, R.:** Table visualization with improved circular layout technique.

In: ICAI 2017: 10th International Conference on Applied Informatics, Eszterházy Károly Egyetem, Eger, 1, 2017.





14. **Papp, G.**, Papp, I., Kunkli, R.: Three-dimensional connection visualization based on tabular data.
In: 8th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications: CogInfoCom 2017 :
Proceedings : September 11-14, 2017 Debrecen, Hungary, IEEE Computer Society,
Piscataway, 289-290, 2017. ISBN: 9781538612644

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 5,105

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
5,105**

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, 2022.01.25.



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

**Visualization methods for planar representation of
connections and display of information on a surface**

Papp György

Supervisor: Papp Ildikó



UNIVERSITY OF DEBRECEN
Doctoral School of Informatics
Debrecen, 2022.

3 Introduction

Nowadays, it is increasingly essential to visualize relationships that reveal new, previously hidden information, relationships, and patterns in the resulting diagram. We can show the connections and some of their properties by visualizing the relationships described by tables.

One of the most valuable techniques for visualizing relationships in this way is the circle-based layout [6], which is used not only in visualization applications, such as the popular Circos [12] software package but also for drawing graphs. However, Circos has several shortcomings and problems, which we solve in our proposed visualization by defining new tools to visualize the connections' value, direction, and pattern. Among these, the user can interactively choose the most suitable one for creating a particular diagram that meets the user's goals for the visualization.

Displaying a large number of relationships at once generates intersections, which can interfere with the clarity of the diagram. We propose two methods based on the various solutions [1, 8, 16] for this well-known problem to reduce the number of the appearing intersections in our visualization technique. In the first one, we use local search and optimization algorithms to find an arrangement of the links that generate the least intersections. In the second one, we present a method based on the hierarchical edge bundling [10] to exploit the potential of the hierarchical structure introduced in our visualization technique.

We propose the perpendicularly intersecting conic section for replacing the Bézier curves used by the Circos application because

the conics has an implicit equation besides the parametric one. First, we introduce methods for constructing the conics and their vertices. Then, we analyze how the proposed conics behave when are used for constructing stripes in a relationship visualization.

In addition to the planar visualization of the relationships, we also investigated how information can be represented in the form of machine-readable codes on items' surface. There are many paper, which discuss the topic of how to make the widely used QR code more attractive to users [5, 7, 9, 20, 21, 35, 37]. However, the placement of QR codes printed on labels is limited, because it can only be placed on developable surface patches of objects to ensure that the QR code remains decodable [13–15, 18, 19]. Several solutions are available [4, 17, 36, 38] that help in avoiding the mentioned limitation problem by embedding the QR codes onto surfaces. Our solution is inspired by the works of Kikuchi et al. [11] and Peng et al. [31, 32], which methods' basic idea is based on engraving the black modules of the QR code onto the surface. The resulting shadow in the embedded modules creates a sufficient contrast between the black and white modules, and ensures the scannability of the QR code. However, using these solutions' projection for determining the modules' position on the surface can cause problems when the selected surface for embedding the QR code is too curved. In addition, the algorithms proposed in [11, 31, 32] need several minutes to find the carving depth required for a successful scanning.

We describe two methods that automatically project QR codes onto surfaces and eliminate all the problems encountered with highly curved surface patches of parametric surfaces or triangulated mesh-

es. Besides, our method can find the largest size that can be used for embedding the QR code at the selected center using any orientation.

Furthermore, we defined patterns to increase the amount of shadow visible in the modules and reduce their carving depth. Our proposed patterns can be arranged into two groups. The first one contains those patterns that place surfaces at the bottom of the QR code's black modules to provide more shadow. The patterns in the second group change the shape of the black modules to achieve a smaller carving depth by reducing the connected black modules area. In addition, we introduce a depth optimization method that can provide good results in a fraction of the [11, 31, 32] methods' runtime. Our method uses the Horizon-Based Ambient Occlusion technique, which is one of the many screen space ambient occlusion shading techniques [2, 22, 34, 39] used in the field of computer graphics.

4 New scientific results and theses

4.1 Circular layout based connection visualization

Thesis 1

We created a visualization technique with new tools and interactive features that can be varied according to user needs. In addition, we created a sorting method using optimization and search algorithms and an edge bundling solution based on the hierarchical edge bundling technique to reduce the intersections between links and improve the clarity of the visualization.

Related publications: [29, 30]

In our proposed visualization technique, we defined new tools to solve the drawbacks and problems seen in Circos [12]. Besides, the proposed tools are designed in a way that their usage can be varied, allowing the user to design diagrams according to their goals for the visualization simply. We shortly introduce all of these tools in the following part of the section.

First, we present the bar-like shapes, which were introduced in the diagram to represent the connections' value both at its ends (see Figure 4.1). The usage of the new element makes it possible to design hierarchical structures in the diagram, and it helps in reading the value of the connection and improves the visibility of the pattern formed by the connections.

A new arrow-like shape is attached to the connections in our

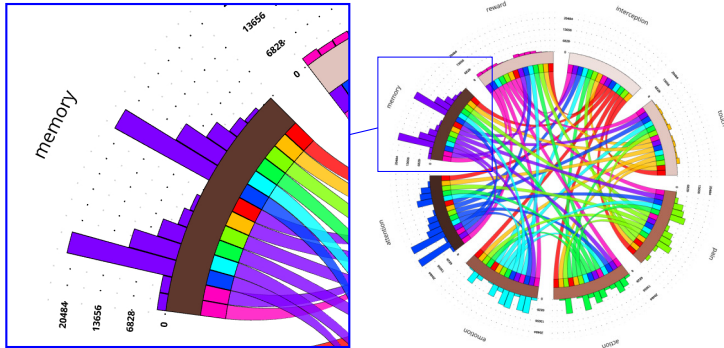


Figure 4.1: The new bar elements that represent the connections' value are shown in the diagram. A dataset describing the brain functionality was used for creating the visualization [3].

solution to improve how the connections are read. It clearly indicates the direction of the connections and both blocks linked with the connection (see Figure 2.2).

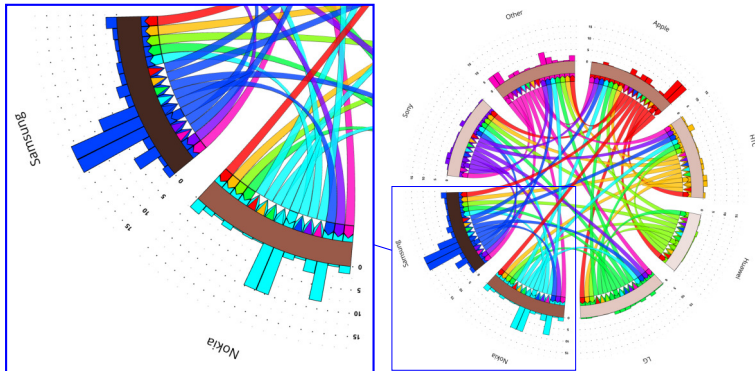


Figure 4.2: The arrow-like shapes that show a connection's direction are placed between the bars and connections. The used dataset for the diagram describes the user's phone change habit [33].

We can show more information about a block or its connections by placing rings with segments inside them between the blocks and the connections (see Figure 4.3).

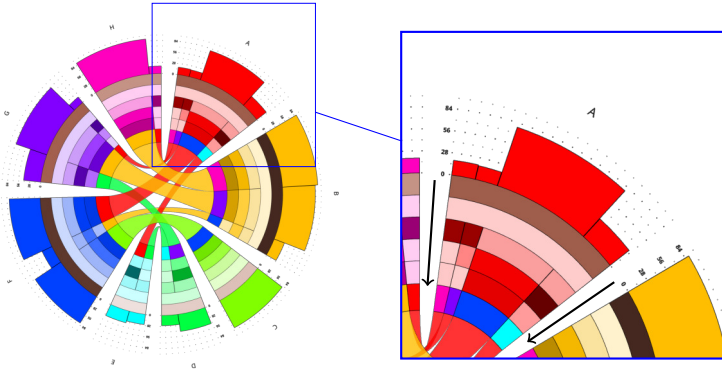


Figure 4.3: The following information can be shown from the block to the connection in the direction marked by the arrow: sum of block's bars, bars hidden in blocks, connections with min and max value, number of connections that a connection intersects, connection's value.

An interactive web application was created to use the new tools of our visualization technique and to improve the diagram's clarity with our sorting and edge bundling methods ¹.

Our solution uses local search (hill-climbing and minimum conflicts) and optimization algorithms (cross-entropy, simulated annealing, and bee's algorithm) to sort the connections in the diagram. The tests of our sorting method show that it can reduce the number of intersections in the diagram by $\approx 50\%$ on average.

We wanted to create an edge bundling solution for our visualization, which ensures that the endpoints and directions of the links

¹ https://papp_gyorgy.gitlab.io/BezierSimpleConnectViewer/

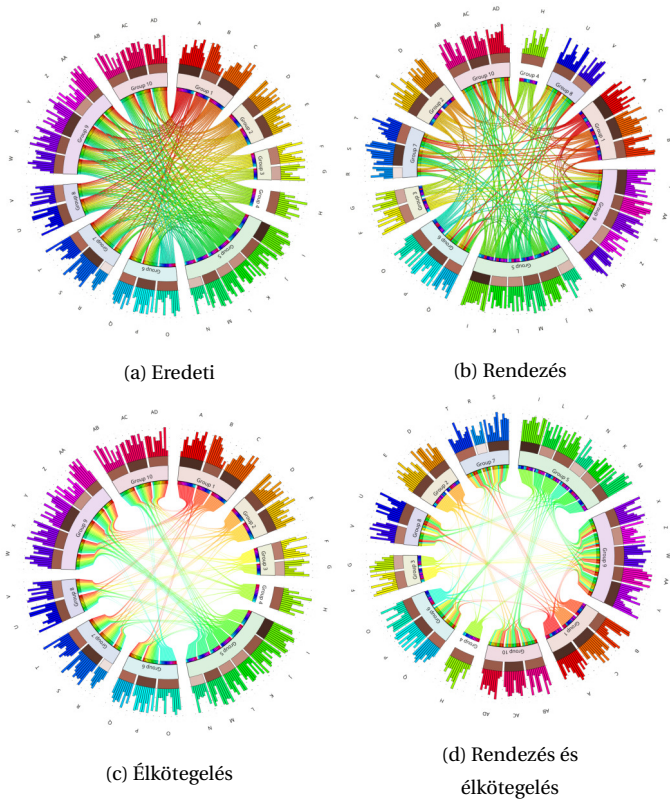


Figure 4.4: The figures compare of our methods and their combination proposed for reducing the clutter in the diagram.

remain clearly defined after the bundling was done. Therefore, we used the hierarchical edge bundling technique to bundle those links that connect the same groups. A comparison of our proposed methods and their combinations are shown in Figure 4.4.

Thesis 2

We proposed construction methods for conic sections to replace the widely used Bézier curve in relationship visualization because the introduced second-order curves provide an implicit equation besides the parametric one. In addition, we analyzed the behaviour of these conics, and we show that the usage of the proposed perpendicularly intersecting circles to represent relations improves the visibility of the connections.

Related publications: [29, 30]

First, we present two methods to construct special ellipses with a major axis perpendicular to line f , and which perpendicularly intersect circle d in two arbitrary points A and B .

Theorem 4.1. *Let c be an ellipse, which perpendicularly intersects circle d at two arbitrary points A and B . Also, denote the major axes of c with q , which is perpendicular to line f . The F_1 and F_2 foci of ellipse c lie on a circle m defined by points A , O , and B .*

Figure 4.5a shows, that the center of ellipses (C) created using Theorem 4.1 are located in the NH' segment. However, we lock C on circle d , to guarantee a simple construction method for any arbitrary selected A and B points on d .

Theorem 4.2. *Let c an ellipse that perpendicularly intersect circle d in two arbitrary points A and B . Also, let points F_1 and F_2 denote the intersection points of the tangents drawn to incircle k of c from point O and the q major axis of c . If q is perpendicular to f and it touches d , then F_1 and F_2 are the foci of ellipse c .*

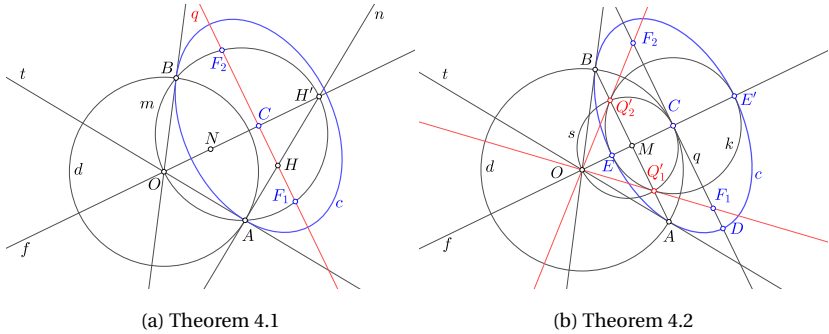


Figure 4.5: The images show examples for ellipses created with our proposed construction methods

Besides, we proposed two general methods to construct ellipses, which major axis is f , and perpendicularly intersect circle d in two arbitrary points A and B . The first step of our methods is to place one of the foci (F_1) or the center (C) of the conics on line f . For this, Table 4.1 lists, which of the shown placement to use from Figure 4.6 to get a conic with a given type. The construction of the conics is either performed based on their optical properties or based on the property used for Theorem 4.1.

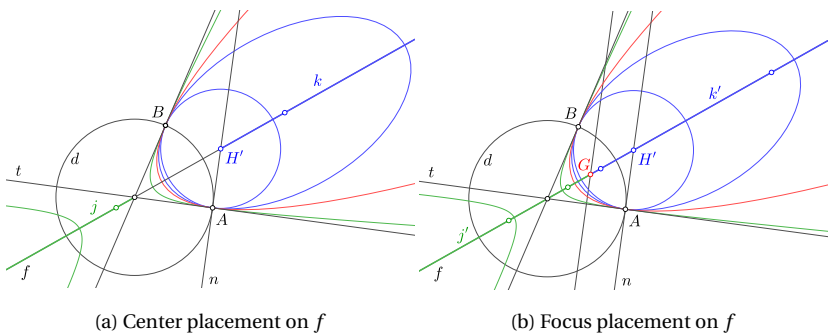


Figure 4.6: One example is shown for each type of conics constructed by placing the center or the focus on f .

	Center placement	Focus placement
Circle	H'	H'
Parabola	f 's ideal point	G
Ellipse	k	k'
Hyperbola	j	j'

Table 4.1: The table shows the type of our construction methods' resulting conic sections based on the placement of the C and F_1 points.

Our goal was to ensure that the arbitrary movements of our proposed conic's points A and B on the circle d do not change the conics' type obtained with the placement of F_1 or C on f . Therefore, the position of F_1 or C is defined as the intersection of line i and f , where i is perpendicular to line t at an arbitrary point I (see Figure 4.7).

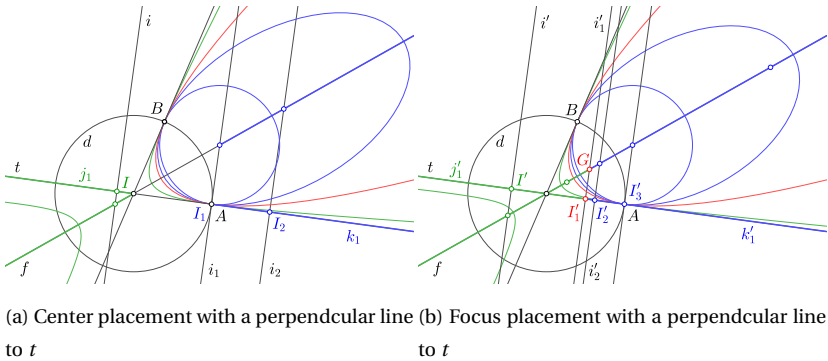


Figure 4.7: One example for each type of conics illustrates the placement of C or F_1 point on f using a perpendicular line to t .

We can choose the placement of point I to construct the desired conic section based on the perpendicular projection of f on line t .

The c_1 and c_2 conics form a parabolic or elliptic pencil of circles

as shown in Figure 4.8, if c_1 and c_2 are circles.

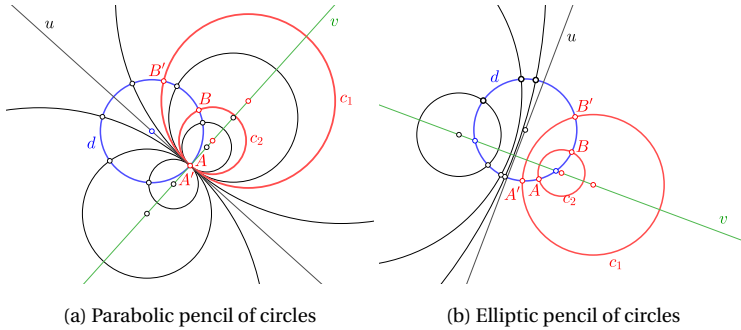


Figure 4.8: The images show how c_1 and c_2 form different pencil of circles where circle d is the element of their conjugate pencil of circles. Line u is the radial axis, while line v is the central line of the shown pencil of circles.

Theorem 4.3. *Let c_1 and c_2 circles that perpendicularly intersect circle d in points A, B and A', B' respectively. If one of the $\widehat{AA'}$ and $\widehat{BB'}$ arcs of circle d contains the other, then c_1 and c_2 circles do not intersect. If $A = A'$ or $B = B'$, then the only common point of c_1 and c_2 circles is on circle d .*

Based on Theorem 2.3, we can create stripes using perpendicularly intersecting circles, which sides do not intersect. Using the resulting stripes in a visualization improves the visibility of the connections.

4.2 Embedding QR codes onto surfaces to be 3D printed

Thesis 3

We proposed a method for embedding a decodable QR code in parametric surfaces without deformation, even on surfaces with high mean curvature. Besides, we defined patterns that increase the amount of shadow obtained in the engraved black modules by replacing the surface at their bottom.

Related publications: [27]

The projection direction defined for a QR code significantly affects the decodability of the resulting embedded code. To find the appropriate direction, we sample the normal vectors of the parametric surface as follows.

- An initial projection direction $-\vec{n}$ and center $C = O + g \cdot \vec{n}$ are defined for projecting the QR code onto the surface.
- Figure 4.9 shows how the result of the projection is modified to get the sampling area on the surface.
- The surface's normal vectors are selected using Halton sequence from the previously found sampling area.
- Using the results of the sampling (\vec{n}_i), we obtain the normal vector of the QR code plane, $\vec{n}' = \frac{\sum_0^m \vec{n}_i}{\|\sum_0^m \vec{n}_i\|}$
- Calculate the new projection center, $C' = O + g \cdot \vec{n}'$, and the direction associated with each point of the QR code, $d(k, l) =$

$Q_{kl} - C'$, where Q_{kl} represents the point of the QR code.

- We find the points of the QR code projected onto the surface in the form $P_{kl} = C' + t \cdot d(k, l)$ by using Newton's method.

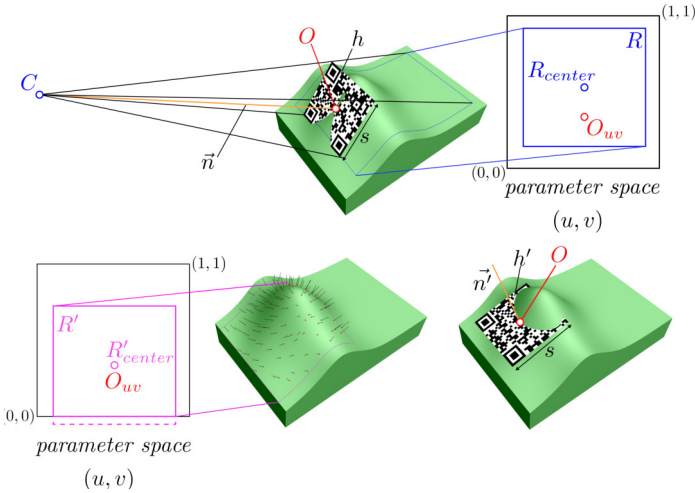


Figure 4.9: The QR code from the h plane is projected onto the surface with an initial projection direction $(-\vec{n})$, which defines rectangle R in the parameter space of the surface. Then rectangle R is shifted so that $R'_{center} = O_{uv}$, where O_{uv} is the center of the QR code in the parameter space. After offsetting the rectangle, the sampling is performed on the surface defined by the R' rectangle. Finally, the orientation of the QR code is defined by h' , which normal vector $(-\vec{n})$ is calculated from the sampled normals.

As shown in Figure 4.10, the QR code embedded with our solution results in a decodable QR code on the problematic surfaces and when used with other more general surfaces.

The black modules must be carved deep enough to achieve a sufficient contrast between the white and engraved black modules for scanning the QR code without problems. In our solution, we defined

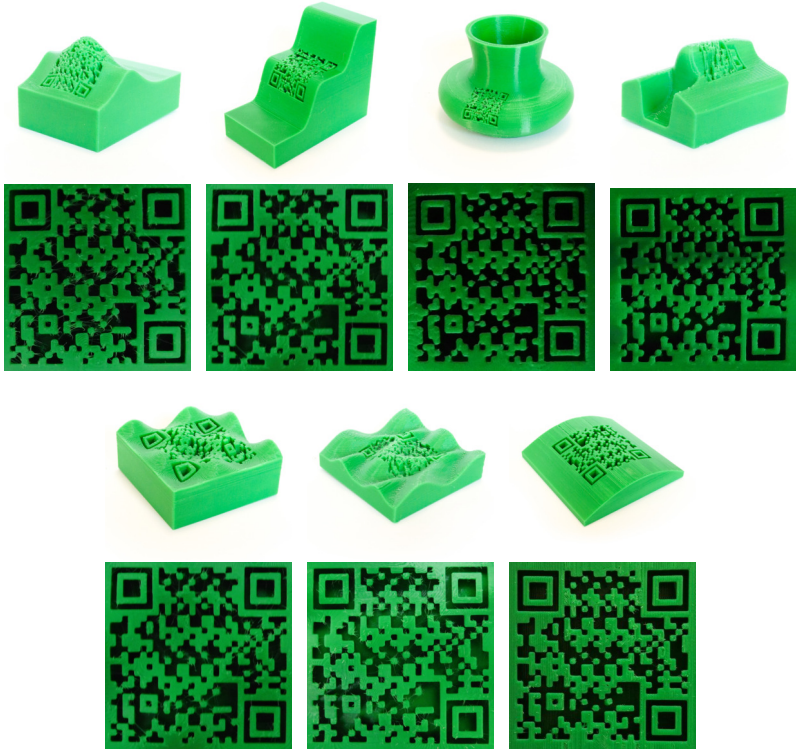


Figure 4.10: 3D printed examples of QR codes embedded with our method. The first four pairs of images are problematic, while the remaining images show our solution for other general cases.

patterns that allow us to achieve more shadow in the black modules without increasing their carving depth required for successful decoding. We show the new surfaces defined by our patterns at the bottom of the black modules in Figure 4.11. A uniform surface is defined for all modules with our square patterns shown in the first image. In contrast, the surfaces of the modules change line by line when using our wavy pattern, as can be seen in the second image of

Figure 4.11

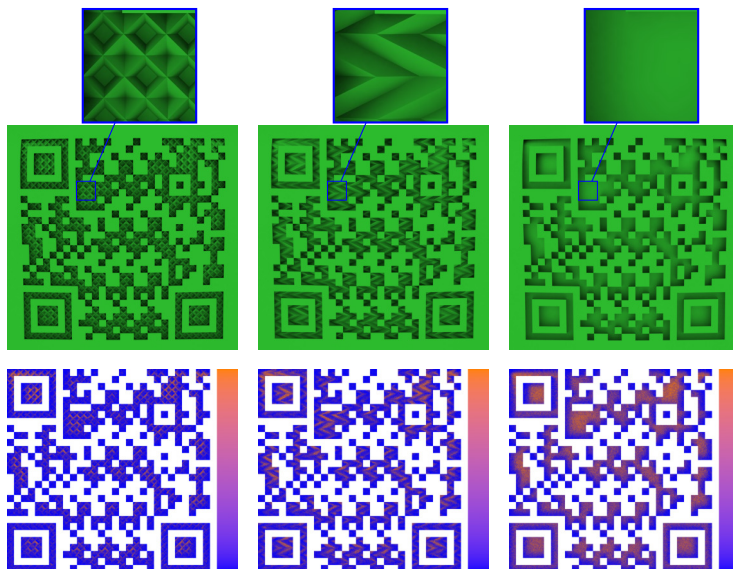


Figure 4.11: We use the luminance [11] calculated in the bottom row to show how our proposed patterns (first two figures) increase the self-shadow compared to the case where no patterns were used. The blue regions indicate dark areas, while the orange ones symbolize bright areas.

Thesis 4

We developed an iterative method that can embed a QR code on the surface of a triangulated mesh without deformation, even when a surface patch with high mean curvature is selected. Our solution uses the normal vectors and depth information extracted while rendering the selected surface part to find the right projection direction for the embedding. Also, our method can be used to determine the guaranteed embedding size of the QR code using any placement at the selected center.

Related publications: [24–26]

Our proposed method for projecting a QR code onto the surface of a triangulated mesh determines the sampling area by using an initial projection direction. For this, we render the resulting area's normal vectors and depth information into textures. In the first iteration, we use the initial projection direction for the rendering. Then we use the resulting projection direction of the previous iterations for creating the textures. The normal vectors in the texture are modified when the resulting QR-code (h plane) has an area outside of the mesh silhouette seen from the projection direction. The new normal vectors in these areas are calculated as $T_{n_{ij}} = h_{ij} - O - \vec{n}$, where O is the center of the QR code and \vec{n} is the normal vector of plane h .

Each step of our iterative method searches for a projection direction that yields depth information with the most negligible variance.

- Using Halton sequences, we sample the texture containing nor-

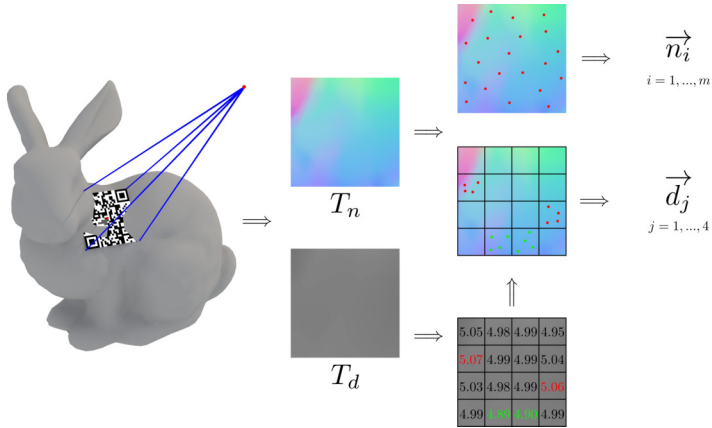


Figure 4.12: We show how the textures containing normal vectors and depth values are used to sample the model's surface.

mal vectors and then determine the average of the resulting vectors.

- The normal vectors are sampled again, but only in the areas where the two most distant and closest depth information are located (see Figure 4.12).
- A third optional step might be required if there is part of plane h that is outside of the model's silhouette. In this case, the normal vectors are sampled, and their average is calculated. It is only performed in those areas that are outside of the silhouette.
- The new direction of the iteration is calculated as the average of the previous steps' resulting vectors.
- The iteration stops if the variance of the depth values is low enough or the maximum number of iterations is reached.

Using the center and projection direction of the QR code, we defined a method to automatically find the largest size of the QR code, which guarantees to embed the QR code using any placement. First, we find the model's silhouette defined by our projection direction, and then we find the closest point S of the silhouette to the QR code's center C . The resulting distance \overline{SC} , which is half of the square's diagonal shown in Figure 4.13, is used as the guaranteed embedding size of the QR code.

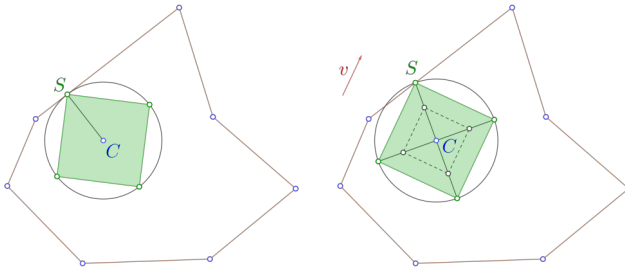


Figure 4.13: The circle around the QR code on the left touches the model's silhouette (from the viewpoint of its projection center), and the code can be embedded using any rotation. The QR code on the right is defined for a placement specified by the \vec{v} direction.

Also, our method can find this size of the QR code by using a given \vec{v} direction for defining the QR code placement (see Figure 4.13). A square with two parallel sides to \vec{v} is centered at point C . Our method step-by-step enlarges this square using centroid similarity until it reaches the previously found silhouette (see Figure 4.13).

Thesis 5

We propose modifications for the shape of the black modules and the localization pattern of the QR code to reduce the carving depth by using our defined patterns. Besides, our method uses the Horizon-Based Ambient Occlusion shading technique to find the QR code's embedding depth in a fraction of the existing solutions' running time.

Related publications: [26]

Our patterns for reducing the carving depth of the black modules are shown in Figure 4.14. We can divide our patterns into two groups according to whether they maintain the connectivity between modules.

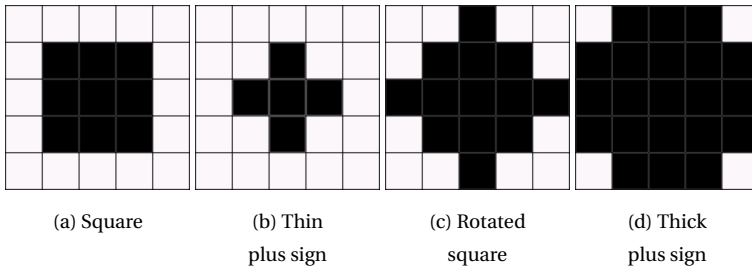


Figure 4.14: The black squares in our proposed patterns indicate which submodules are enabled to modify the shape of the module. The first two patterns eliminate the connections between the modules, while the last two limit the connections between them.

The localization pattern of the QR code plays an important role in the decoding process. Therefore, we propose new localization patterns to reduce the required carving depth and have a decodable embedded QR code. We describe these patterns in Figure 4.15,

which are created as a combination of the patterns shown in Figure 4.14.

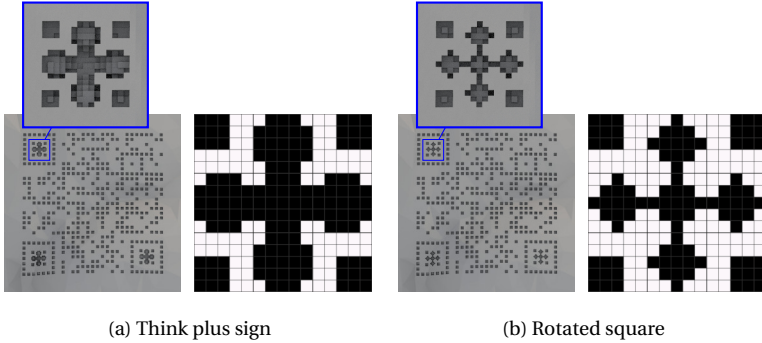


Figure 4.15: The figures show our proposed shapes for embedding localization patterns. The right side shows the pattern, while the left side shows an example for its use.

We shortly present how our proposed method finds the carving depth for embedding a QR code in a readable way.

- We gave an iterative method based on using the Horizon-Based Ambient Occlusion (HBAO) technique for rendering.
- The submodules' $AMV_{k,l,i,j}$ luminance is calculated based on the texture obtained as the rendering output using the

$$V(p_x, p_y) = \frac{\sum_{i=p_x}^{p_x+s} \sum_{j=p_y}^{p_y+s} T_{i,j}}{s^2}$$

function.

- The modules $MV_{i,j}$ luminance is determined as the average of its submodules' luminance value.

- The luminance value $KMV(k, l)$ of a module's surrounding neighbours (8-neighbourhood) is used to decide whether a submodule needs to be carved deeper or not.
- The goal function of the submodules is

$$f(k, l, i, j) = KMV(k, l) \cdot (-1 + c) + AMV_{k,l,i,j},$$

where we used 0.2 for the c parameter, which defines the threshold value to reach between the black and white modules.

- The depth of the $M_{k,l}$ module's $AM_{k,l,i,j}$ submodule is increased if $f(k, l, i, j) > 0$.
- The iteration stops if

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n H(G(k, l, i, j)) \leq 0.$$

- The depth of the submodules is increased by varying amounts,

$$O(x) = a - a \cdot b \left(\tanh\left(\frac{1}{d} - e\right) + \tanh\left(e - \frac{x}{d}\right) \right),$$

where the variable x gives the number of iterations since the last significant change happened in the illumination of a submodule. The a parameter is the default increase value, while d , b , and e are constants for the transformation of the $\tanh()$ function. Our parameters $a = 0.1$, $d = 2$, $d = 3$ and $e = 2.5$

Our methods can produce embedded QR codes with similar depth as in the [32] work. However, we get QR codes with even less carving depth as a result of our embedding process if we apply our proposed patterns (see Figures 4.16 and 4.17).

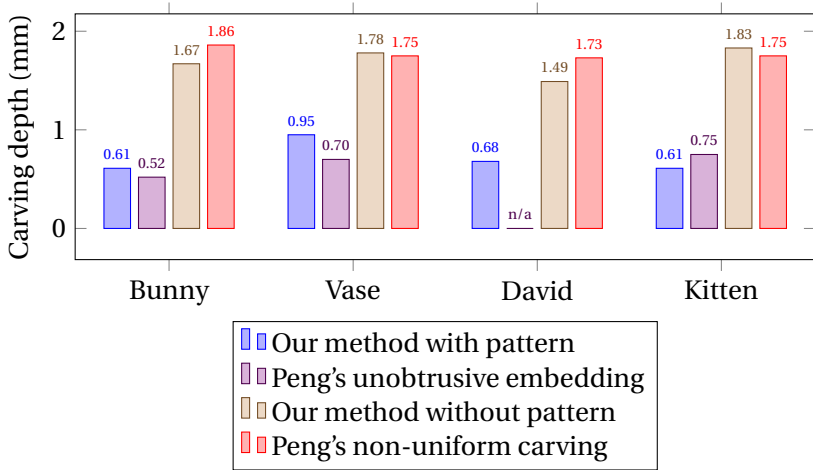


Figure 4.16: Comparison of our own method with the [31, 32] methods.

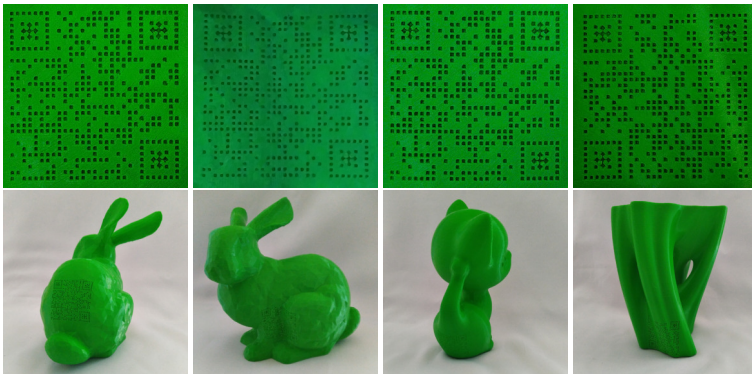


Figure 4.17: The square (module) and rotated square (localization) patterns are used to 3D print the QR codes.

Also, our method provides the possibility to use directional light sources when embedding the QR code. With their help, we can obtain more robust QR codes that remain decodable under light from a given direction.

5. Irodalomjegyzék / References

- [1] Michael Baur–Ulrik Brandes: *Crossing Reduction in Circular Layouts*. Berlin, Heidelberg, 2005, Springer Berlin Heidelberg, 332–343. p. ISBN 978-3-540-30559-0.
- [2] Louis Bavoil–Miguel Sainz–Rouслан Dimitrov: Image-Space Horizon-Based Ambient Occlusion. In *ACM SIGGRAPH 2008 Talks*, SIGGRAPH '08 konferenciasorozat. New York, NY, USA, 2008, Association for Computing Machinery. ISBN 9781605583433. 1 p.
- [3] Franco Cauda–Diana M-E. Torta–Katuscia Sacco–Elisabetta Geda–Federico D'Agata–Tommaso Costa–Sergio Duca–Giuliano Geminiani–Martina Amanzio: Shared “Core” Areas between the Pain and Other Task-Related Networks. *PLOS ONE*, 7. évf. (2012. 08) 8. sz., 1–10. p.
- [4] Fei Chen–Yuxi Luo–Nektarios Georgios Tsoutsos–Michail Maniatakos–Khaled Shahin–Nikhil Gupta: Embedding Tracking Codes in Additive Manufactured Parts for Product Authentication. *Advanced Engineering Materials*, 21. évf. (2019) 4. sz., 1800495. p.
- [5] Hung-Kuo Chu–Chia-Sheng Chang–Ruen-Rone Lee–Niloy J. Mitra: Halftone QR Codes. *ACM Trans.Graph.*, 32. évf. (2013) 6. sz., 217:1–217:8. p. 09.
- [6] Mei C. Chuah–Stephen G. Eick: Information rich glyphs for software management data. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 18. évf. (1998) 4. sz., 24–29. p.

- [7] Akshara M. Gaikwad–Kavita R. Singh: Embedding QR code in color images using halftoning technique. In *2015 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS)* (konferenciaanyag). 2015, IEEE, 1–6. p.
- [8] Emden R. Gansner–Yehuda Koren: Improved Circular Layouts. In Michael Kaufmann–Dorothea Wagner (szerk.): *Graph Drawing* (konferenciaanyag). Berlin, Heidelberg, 2007, Springer Berlin Heidelberg, 386–398. p. ISBN 978-3-540-70904-6.
- [9] Gonzalo J. Garateguy–Gonzalo R. Arce–Daniel L. Lau–Ofelia P. Villarreal: QR Images: Optimized Image Embedding in QR Codes. *IEEE Transactions on Image Processing*, 23. évf. (2014) 7. sz., 2842–2853. p.
- [10] Danny Holten: Hierarchical Edge Bundles: Visualization of Adjacency Relations in Hierarchical Data. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 12. évf. (2006. Sept) 5. sz., 741–748. p.
- [11] Ryosuke Kikuchi–Sora Yoshikawa–Pradeep Kumar Jayaraman–Jianmin Zheng–Takashi Maekawa: Embedding QR codes onto B-spline surfaces for 3D printing. *Computer-Aided Design*, 102. évf. (2018), 215–223. p. ID: 271502.
- [12] Martin Krzywinski–Jacqueline Schein–Ilatenanc̃ Birol–Joseph Connors–Randy Gascoyne–Doug Horsman–Steven J. Jones–Marco A. Marra: Circos: An information

- aesthetic for comparative genomics. *Genome Research*, 19. évf. (2009) 9. sz., 1639–1645. p.
- [13] Kuen-Tsair Lay–Lee-Jyi Wang–Pei-Lun Han: Decoding of QR codes printed on spheres. In *2016 5th International Symposium on Next-Generation Electronics (ISNE)* (konferenciaanyag). 2016, IEEE, 1–3. p.
- [14] Kuen-Tsair Lay–Lee-Jyi Wang–Pei-Lun Han–Yi-Sheen Lin: Rectification of images of QR codes posted on cylinders by conic segmentation. In *2015 IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications (ICSIPA)* (konferenciaanyag). 2015, IEEE, 389–393. p.
- [15] Kuen-Tsair Lay–Ming-Hao Zhou: Perspective projection for decoding of QR codes posted on cylinders. In *2017 IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications (ICSIPA)* (konferenciaanyag). 2017, IEEE, 39–42. p.
- [16] A. Lhuillier–C. Hurter–A. Telea: State of the Art in Edge and Trail Bundling Techniques. *Computer Graphics Forum*, 36. évf. (2017) 3. sz., 619–645. p. 27 p.
- [17] Dingzeyu Li–Avinash S. Nair–Shree K. Nayar–Changxi Zheng: AirCode: Unobtrusive Physical Tags for Digital Fabrication. In *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '17 konferenciasorozat. New York, NY, USA, 2017, ACM, 449–460. p. ISBN 978-1-4503-4981-9. 12 p.

- [18] Kejing Li–Fanwu Meng–Zhipeng Huang–Qi Wang: A Correction Algorithm of QR Code on Cylindrical Surface. *Journal of Physics: Conference Series*, 1237. évf. (2019. jun), 022006. p.
- [19] Xiaochao Li–Zhifeng Shi–Donghui Guo–Shan He: Reconstruct algorithm of 2D barcode for reading the QR code on cylindrical surface. In *2013 International Conference on Anti-Counterfeiting, Security and Identification (ASID)* (konferencia-nyag). 2013, IEEE, 1–5. p. ISBN 2163-5048.
- [20] Lijian Lin–Song Wu–Sijiang Liu–Bo Jiang: Interactive QR code beautification with full background image embedding. In Xudong Jiang–Masayuki Arai–Guojian Chen (szerk.): *Second International Workshop on Pattern Recognition* (konferencia-nyag), 10443. köt. 2017, International Society for Optics and Photonics, SPIE, 211 – 215. p.
- [21] Yi-Shan Lin–Sheng-Jie Luo–Bing-Yu Chen: Artistic QR Code Embellishment. *Computer Graphics Forum*, 32. évf. (2013) 7. sz., 137–146. p.
- [22] O. Nalbach–E. Arabadzhiyska–D. Mehta–H. P Seidel–T. Ritschel: Deep Shading: Convolutional Neural Networks for Screen Space Shading. *Computer Graphics Forum*, 36. évf. (2017) 4. sz., 65–78. p.
- [23] György Papp–Roland Kunkli: TabularVis: An Interactive Relationship Visualization Tool Supported by Optimization and Search Algorithms. In *International Joint Conference on Compu-*

ter Vision, Imaging and Computer Graphics (konferenciaanyag). 2018, Springer, 167–192. p.

- [24] György Papp – Miklós Hoffmann – Ildikó Papp: Embedding QR code onto triangulated meshes. In *The 12th Conference of PhD Students in Computer Science - Volume of short papers* (konferenciaanyag). 2020, 79–82. p.
- [25] György Papp – Miklós Hoffmann – Ildikó Papp: Improved QR code embedding for meshes with 3D printing. In *ICAI 2020* (konferenciaanyag). 2020.
- [26] György Papp – Miklós Hoffmann – Ildikó Papp: Embedding QR Code onto Triangulated Meshes using Horizon Based Ambient Occlusion. *Computer Graphics Forum*, 2021.
- [27] György Papp – Miklós Hoffmann – Ildikó Papp: Improved Embedding of QR Codes onto Surfaces to be 3D Printed. *Computer-Aided Design*, 131. évf. (2021), 102961. p.
- [28] György Papp – Roland Kunkli: TabularVis – a Circos-inspired interactive web client based tool for improving the clarity of tabular data visualization. In *Proceedings of the 13th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications - Volume 3: IVAPP*, (konferenciaanyag). 2018, INSTICC, SciTePress, 120–131. p. ISBN 978-989-758-289-9.
- [29] György Papp – Ildikó Papp – Roland Kunkli: Construction and properties of conics in relationship visualization. 2021. Kézirat.

- [30] György Papp–Ildikó Papp–Roland Imre Kunkli: Construction and Properties of Orthogonally Intersecting Conics in Relationship Visualization. In *Conference on Geometry: Theory and Applications; University of Innsbruck, June 3–7, 2019* (konferenciaanyag). 2019, 27–28. p.
- [31] Hao Peng–Peiqing Liu–Lin Lu–Andrei Sharf–Lin Liu–Dani Lischinski–Baoquan Chen: Fabricable Unobtrusive 3D-QR-Codes with Directional Light. *Computer Graphics Forum*, 39. évf. (2020) 5. sz., 15–27. p.
- [32] Hao Peng–Lin Lu–Lin Liu–Andrei Sharf–Baoquan Chen: Fabricating QR codes on 3D objects using self-shadows. *Computer-Aided Design*, 114. évf. (2019), 91–100. p.
- [33] Noah Salvaterra: DIY Chord Diagrams in Tableau - by Noah Salvaterra — DataBlick. <https://www.datablick.com/blog/2015/08/27/diy-chord-diagrams-in-tableau-by-noah-salvaterra>. Elérés időpontja: 2022. január 10., 2015.
- [34] Ville Timonen: Line-Sweep Ambient Obscurance. *Computer Graphics Forum*, 32. évf. (2013) 4. sz., 97–105. p.
- [35] Sibing Wang–Tao Yang–Jing Li–Bowe Yao–Yanning Zhang: Does a QR code must be black and white? In *2015 International Conference on Orange Technologies (ICOT)* (konferenciaanyag). 2015, IEEE, 161–164. p.
- [36] Chao Wei–Zhe Sun–Yihe Huang–Lin Li: Embedding anti-counterfeiting features in metallic components via multiple ma-

terial additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, 24. évf. (2018), 1–12. p. ID: 306190.

[37] Mingliang Xu–Hao Su–Yafei Li–Xi Li–Jing Liao–Jianwei Niu–Pei Lv–Bing Zhou: Stylized Aesthetic QR Code. *IEEE Transactions on Multimedia*, 21. évf. (2019) 8. sz., 1960–1970. p.

[38] Jingru Yang–Hao Peng–Lin Liu–Lin Lu: 3D printed perforated QR codes. *Computers & Graphics*, 81. évf. (2019), 117–124. p. ID: 271576.

[39] Dongjiu Zhang–Chuhua Xian–Guoliang Luo–Yunhui Xiong–Chu Han: DeepAO: Efficient Screen Space Ambient Occlusion Generation via Deep Network. *IEEE Access*, 8. évf. (2020), 64434–64441. p.

A. Publikációs lista / List of publications

Referált folyóiratcikkek / Referred journal papers

- [J1] György Papp – Miklós Hoffmann – Ildikó Papp: Embedding QR Code onto Triangulated Meshes using Horizon Based Ambient Occlusion. *Computer Graphics Forum*, 2021.
- [J2] György Papp – Miklós Hoffmann – Ildikó Papp: Improved Embedding of QR Codes onto Surfaces to be 3D Printed. *Computer-Aided Design*, 131. évf. (2021), 102961. p.

Kéziratok / Manuscripts

- [M1] György Papp – Ildikó Papp – Roland Kunkli: Construction and properties of conics in relationship visualization. 2022. Kézirat.

Konferenciakötetben megjelent cikkek / Conference papers

- [I1] György Papp – Roland Kunkli: TabularVis: An Interactive Relationship Visualization Tool Supported by Optimization and Search Algorithms. In *International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics* (konferenciaanyag). 2018, Springer, 167–192. p.
- [I2] György Papp – Miklós Hoffmann – Ildikó Papp: Embedding QR code onto triangulated meshes. In *The 12th Conference of PhD Students in Computer Science - Volume of short papers* (konferenciaanyag). 2020, 79–82. p.

- [I3] György Papp – Roland Kunkli: TabularVis – a Circos-inspired interactive web client based tool for improving the clarity of tabular data visualization. In *Proceedings of the 13th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications - Volume 3: IVAPP*, (konferenciaanyag). 2018, INSTICC, SciTePress, 120–131. p. ISBN 978-989-758-289-9.

További konferencia-előadások / Other conference talks

- [C1] György Papp – Miklós Hoffmann – Ildikó Papp: Embedding QR code onto triangulated meshes. In *The 12th Conference of PhD Students in Computer Science - Volume of short papers* (konferenciaanyag). 2020, 79–82. p.
- [C2] György Papp – Miklós Hoffmann – Ildikó Papp: Improved QR code embedding for meshes with 3D printing. In *ICAI 2020* (konferenciaanyag). 2020.
- [C3] György Papp – Roland Imre Kunkli: Table visualization with improved circular layout technique. In *ICAI 2017* (konferenciaanyag). 2017.
- [C4] György Papp – Ildikó Papp – Roland Imre Kunkli: Construction and Properties of Orthogonally Intersecting Conics in Relationship Visualization. In *Conference on Geometry: Theory and Applications; University of Innsbruck, June 3–7, 2019* (konferenciaanyag). 2019, 27–28. p.

Demo absztrakt / Demo abstract

- [D1] György Papp–Ildikó Papp–Roland Imre Kunkli: Three-dimensional connection visualization based on tabular data. In *2017 8th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)* (konferenciaanyag). 2017, 289–290. p.

Poszterprezentációk / Poster presentations

- [P1] György Papp–Miklós Hoffmann–Ildikó Papp: Improved projection for embedding QR code onto surfaces to be 3D printed. Graphics and Application The 12th Asian Forum on Graphic Science (AFGS 2019), 2019.
- [P2] György Papp–Roland Imre Kunkli: Connecting genomic regions with circular arcs. VIZBI 2018 - Visualizing Biological Data, Posters | VIZBI (<https://vizbi.org/Posters/2018/>), 2018.
- [P3] György Papp–Roland Imre Kunkli: Relationship visualization of tabular data based on hyperbolic geometry. 5th Winter School of PhD Students in Informatics and Mathematics, 2018.
- [P4] György Papp–Ildikó Papp–Roland Imre Kunkli: Possibilities of Using Orthogonally Intersecting Conics in Circular Layout Based Relationship Visualization. 6th Winter School of PhD Students in Informatics and Mathematics, 2019.



Registry number: DEENK/58/2022.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: György Papp
Doctoral School: Doctoral School of Informatics
MTMT ID: 10058479

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (2)

1. **Papp, G., Hoffmann, M., Papp, I.:** Embedding QR Code onto Triangulated Meshes using Horizon Based Ambient Occlusion.
Comput. Graph. Forum. Epub, 1-17, 2021. ISSN: 0167-7055.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/cgf.14394>
IF: 2.078 (2020)
2. **Papp, G., Hoffmann, M., Papp, I.:** Improved Embedding of QR Codes onto Surfaces to be 3D Printed.
Comput.-Aided Des. 131, 1-10, 2021. ISSN: 0010-4485.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cad.2020.102961>
IF: 3.027 (2020)

Foreign language conference proceedings (3)

3. **Papp, G., Hoffmann, M., Papp, I.:** Embedding QR code onto triangulated meshes.
In: The 12th Conference of PhD Students in Computer Science : Volume of short papers, University of Szeged, Institute of Informatics, Szeged, 79-82, 2020.
4. **Papp, G., Kunkli, R.:** TabularVis: An Interactive Relationship Visualization Tool Supported by Optimization and Search Algorithms.
In: Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications : 13th International Joint Conference, VISIGRAPP 2018 Funchal-Madeira, Portugal, January 27-29, 2018 : Revised Selected Papers / Dominique Bechmann, Manuela Chessa, Ana Paula Cláudio, Francisco Imai, Andreas Kerren, Paul Richard, Alexandru Telea, Alain Treméau, Springer, Cham, 167-192, 2019, (Communications in Computer and Information Science, ISSN 1865-0929 ; 997.) ISBN: 9783030267551
5. **Papp, G., Kunkli, R.:** TabularVis - a Circos-inspired interactive web client based tool for improving the clarity of tabular data visualization.
In: Proceedings of the 13th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications, Volume 3: IVAPP. Ed.: Alexandru Telea, Andreas Kerren, Jose Braz, SCITEPRESS, Portugal, 120-131, 2018. ISBN: 9789897582899



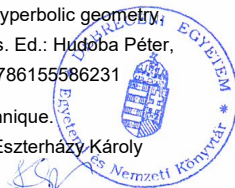


Hungarian abstracts (2)

6. **Papp, G.**: Körszerű elrendezésre épülő vizualizáció térbeli kiterjesztése hiperbolikus geometriai alapokon.
In: XXXIII. OTDK Informatika Tudományi Szekció : tartalmi kivonatok / Bálint Roland, Vassányi István, Pannon Egyetem Műszaki Informatikai Kar, Veszprém, 81, 2017. ISBN: 9789633960981
7. **Papp, G.**: Nagyméretű mátrixok vizualizációja a weben hiperbolikus geometriai alapokon.
In: XXXII. OTDK Informatika Tudományi Szekció : [A XXXII. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Informatika Tudományi Szekciójának kivonatátöete] : Szeged, 2015. április 16-18.. Szerk.: Dombi József, Szegedi Tudományegyetem Informatikai Tanszékcsoport, Szeged, 157, 2015.

Foreign language abstracts (7)

8. **Papp, G., Hoffmann, M., Papp, I.**: Improved QR code embedding for meshes with 3D printing.
In: The 11th International Conference on Applied Informatics (ICAI 2020). Ed.: Fazekas István, Kovásznaiz Gergely, Eszterházy Károly Egyetem, Eger, 1-2, 2020.
9. **Papp, G., Papp, I., Kunkli, R.**: Construction and Properties of Orthogonally Intersecting Conics in Relationship Visualization.
In: Conference on Geometry : Theory and Applications : Program and Abstracts / Hans-Peter Schröcker, University of Innsbruck, Innsbruck, 27, 2019.
10. **Papp, G., Hoffmann, M., Papp, I.**: Improved projection for embedding QR code onto surfaces to be 3D printed.
In: Graphics and Application The 12th Asian Forum on Graphic Science (AFGS 2019). Ed.: Baoling Han, Xiao Luo, Hongliang Fan, China Graphics Society, Kunming, 116-117, 2019.
11. **Papp, G., Papp, I., Kunkli, R.**: Possibilities of Using Orthogonally Intersecting Conics In Circular Layout Based Relationship Visualization.
In: 6th Winter School of PhD Students in Informatics and Mathematics : Section of Mathematical and Information Sciences, Association of Hungarian PhD and DLA Students. Ed.: Péter Hudoba, Flóra Hajdu, Section of Mathematical and Information Sciences, Association of Hungarian PhD and DLA Students, Szeged, 28, 2019. ISBN: 9786155586378
12. **Papp, G., Kunkli, R.**: Relationship visualization of tabular data based on hyperbolic geometry.
In: 5th Winter School of PhD Students in Informatics and Mathematics. Ed.: Hudoba Péter, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 39, 2018. ISBN: 9786155586231
13. **Papp, G., Kunkli, R.**: Table visualization with improved circular layout technique.
In: ICAI 2017: 10th International Conference on Applied Informatics, Eszterházy Károly Egyetem, Eger, 1, 2017.





14. **Papp, G.**, Papp, I., Kunkli, R.: Three-dimensional connection visualization based on tabular data.
In: 8th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications: CogInfoCom 2017 :
Proceedings : September 11-14, 2017 Debrecen, Hungary, IEEE Computer Society,
Piscataway, 289-290, 2017. ISBN: 9781538612644

Total IF of journals (all publications): 5,105

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 5,105

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.

25 January, 2022

