

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM  
Természettudományi és Informatikai Kar  
Képfeldolgozás és Számítógépes Grafika Tanszék

Informatika Doktori Iskola

Topológia-megőrző vékonyító  
algoritmusok tervezése és  
vázközelítések kvantitatív  
összehasonlítása

Doktori értekezés tézisei

Németh Gábor

*Témavezető*

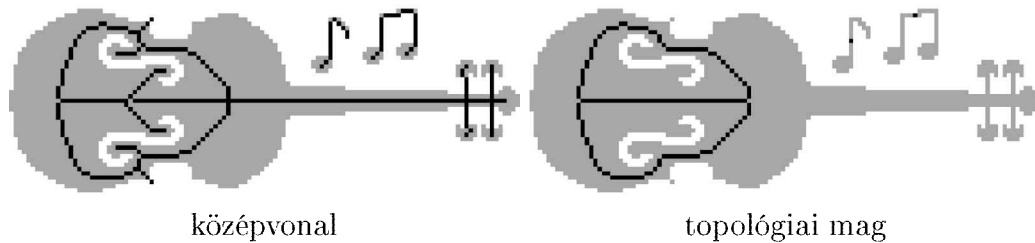
Dr. Palágyi Kálmán  
egyetemi docens

Szeged, 2012.

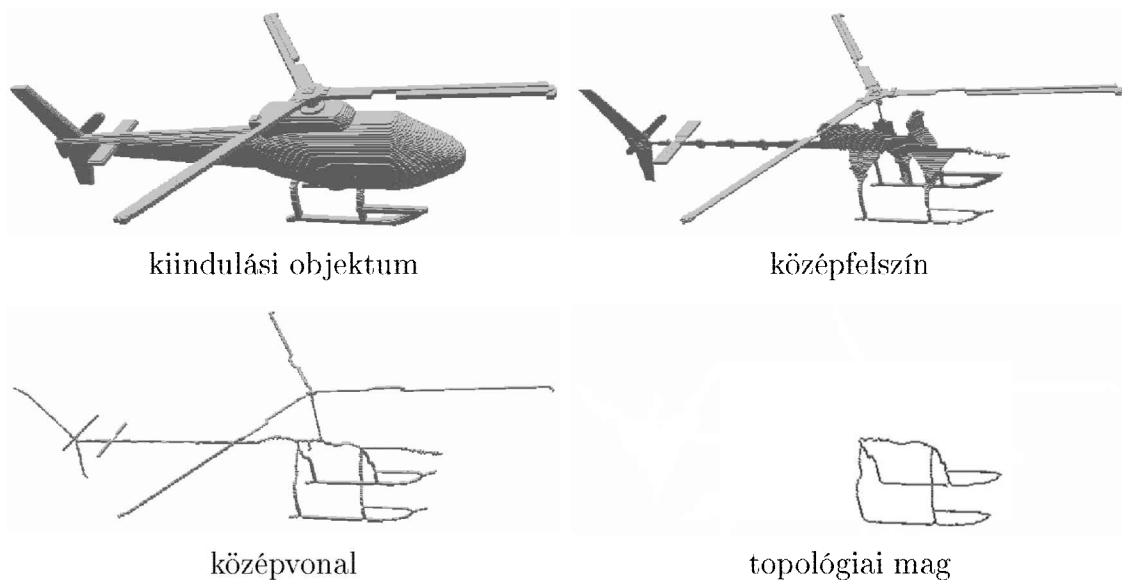


## 1. Bevezetés

A vázszerű alakjellemzők (2-dimenzióban a középvonal és a topológiai mag, 3-dimenziós esetben pedig még a középfelszín is, lásd az 1. és a 2. ábra) egyre fontosabb szerepet játszanak a számítógépes képfeldolgozás, a gépi látás és az alakfelismerés különböző területein [22].



1. ábra. Példák 2D vázszerű jellemzőkre. A középszürke kiindulási objektumra feketével vetítettem rá a vázszerű jellemzőket.



2. ábra. Példák 3D vázszerű jellemzőkre.

A vázszerű jellemzők meghatározására javasolt módszerek egyike a vékonyítás, vagyis az objektumok iteratív redukciója [2, 23]. A vékonyításnak számos előnye van a további két általános megközelítéssel (a távolság-információn és a Voronoi-diagramokon alapuló technikákkal) szemben:

- a leggyorsabb vázkijelölő technika,
- alkalmas valamennyi vázszerű alakjellemző meghatározására,
- hatékonyan párhuzamosítható és

- garantálható a topológia megőrzése.

A vázkijelöléssel, vagyis a bináris objektumok vázszerű jellemzőinek meghatározásával szemben támasztott követelmények között a legfontosabb a topológia-megőrzés, vagyis az, hogy a vázkijelölő eljárásokkal kapott képek legyenek topológiailag ekvivalensek a kiindulási képekkel [4]. A vékonyító algoritmusok redukciókból épülnek fel, vagyis olyan képműveletekből, amelyek törlik (háttérponttá változtatják) az aktuális bináris kép objektumpontjainak a redukció törlési szabályait kielégítő részhalmazát. Egy vékonyító eljárás szekvenciális, ha egyszerre csak egy pontot törölhet és párhuzamos, ha egyidejűleg több objektumpont is háttérponttá változhat. Ha egy vékonyító algoritmus topológia-megőrző redukciókból épül fel, akkor biztosak lehetünk abban, hogy az algoritmus topológiailag korrekt.

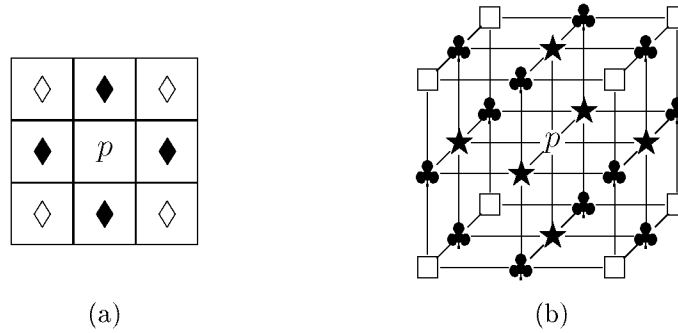
A topológiai korrektség garantálása különösen a 3-dimenziós párhuzamos vékonyítás esetén nehéz probléma. Régóta ismertek elegendő feltételek a redukciók topológia megőrzésére [3, 7, 17, 21], azonban azok teljesülésének igazolása általában terjedelmes bizonyítást igényel.

Vázkijelölő eljárásokat (köztük vékonyító algoritmusokat is) már közel fél évszázada közölnek [5, 6, 20], de azok kvantitatív kiértékelése és összehasonlítása megoldatlan probléma. Az eddig javasolt módszerek hátránya az, hogy egyrészt nem hoztak létre tesztképekből és azok ideális vázaiból álló kép-adatbázist, másrészt a vázközelítések jóságát olyan, a ponthalmazok távolságára adott mérőszámokkal írták le, amelyek nem veszik figyelembe a kiindulási objektumokat.

A disszertációm az alábbi három területen elért eredményeket mutatja be:

- Olyan új elegendő feltételeket adtunk topológia-megőrző redukciókra, amelyek egyrészt kevesebb eset vizsgálatát igénylik, mint a korábban közöltek (így rövidebb bizonyítást igényelhet az adott redukció topológiai korrektségének igazolása), másrészt nem törölt ponthalmazok konfigurációit, hanem egyedi pontok törölhetőségét vizsgálják.
- A topológia-megőrző redukciókra adott új elegendő feltételek és a geometriai kényszerfeltételek kombinációjával egy új tervezési sémát javasoltam, amellyel garantáltan topológia-megőrző algoritmusokat kapunk. Bemutatok egy módszert a párhuzamos vékonyító algoritmusok hatékony implementációjára hagyományos (szekvenciális) számítógépeken.
- Egy új módszert ismertetek a vázak kvantitatív kiértékelésére és összehasonlítására. A módszerünk kulcselemei: egy referencia képekből és azok ideális referencia vázait tartalmazó kép-adatbázis létrehozása és egy új váz-specifikus mérőszám bevezetése. A módszerünk validációját egy új vázcsalád, a szekvencia-vázak segítségével végeztük el. A javasolt módszerrel 92 darab 2D vékonyító algoritmus (köztük 80 saját eljárás) összehasonlítását mutatom be.

A disszertációban az eddigi eredmények mellett kitérek a kutatott területek nyitott kérdéseire és a távlati céljainkra is.



3. ábra. A figyelembe vett szomszédsági relációk 2D-ben (a) és 3D-ben (b). A  $p$  pont valódi 4-szomszédait (vagyis  $N_4^*(p)$  elemeit)  $\blacklozenge$  jelöli. A  $p$ -vel 8-szomszédos pontok  $N_8^*(p)$  halmaza  $N_4^*(p)$  elemeit és a  $\diamond$  szimbólummal jelölt pontokat tartalmazza. A  $p$  pont valódi 6-szomszédait (vagyis  $N_6^*(p)$  elemeit)  $\blackstar$  jelöli, a valódi 18-szomszédok (vagyis  $N_{18}^*(p)$ ) halmazát a 6-szomszédok és a  $\clubsuit$  szimbólummal jelölt pontok alkotják, míg a valódi 26-szomszédok (vagyis  $N_{26}^*(p)$ ) halmaza az  $N_{18}^*(p)$  elemein kívül a  $\square$  szimbólummal jelölt pontokat is tartalmazza.

## 2. Fogalmak és előzmények

Egy  $n$ -dimenziós  $(k, \bar{k})$  digitális bináris képet a  $(\mathbb{Z}^n, k, \bar{k}, B)$  rendezett négyessel adunk meg [4], ahol:

- $\mathbb{Z}^n$  a képpontok halmaza,
- $B \subseteq \mathbb{Z}^n$  a kép fekete pontjainak a halmaza, míg  $\mathbb{Z}^n \setminus B$  a fehér pontok halmaza
- $k$  a fekete pontokhoz rendelt szomszédsági reláció,
- $\bar{k}$  a fehér pontokra érvényes szomszédsági reláció.

Dolgozatomban a 2D  $(8, 4)$  és a 3D  $(26, 6)$  képekkel foglalkozom, amelyek szomszédsági relációit a 3. ábra szemlélteti.

A  $k$  és a  $\bar{k}$  szomszédsági relációk reflexívek és szimmetrikusak, így a tranzitív lezárjuk, a  $k$ - és a  $\bar{k}$ -összefüggőségi relációk ekvivalencia-relációk, vagyis partícionálják a  $B$  valamint a  $\mathbb{Z}^n \setminus B$  halmazt fekete  $k$ - és fehér  $\bar{k}$  komponensekre. A  $B$  halmaz ekvivalencia-osztályai a fekete  $k$ -komponensek vagy *objektumok*. Egy bináris kép véges, ha  $B$  véges halmaz. Véges képen az egyetlen végtelen fehér  $\bar{k}$ -komponens a *háttér*, a véges  $\bar{k}$ -komponenseket pedig *üregeknek* nevezzük. 3D-ben a *lyuk* (vagy *alagút*) egy olyan topológiai fogalom, amelynek nincs megfelelője 2D-ben. Egy fekete pont *határpont*, ha létezik fehér  $\bar{k}$ -szomszédja.

Egy  $Q$  ponthalmaz *legkisebb eleme* a  $p$  pont, ha minden  $q \in Q \setminus \{p\}$  pontra  $p \prec q$ , ahol  $\prec$  a pontkoordináták lexikografikus rendezési relációját jelöli.

A *redukciók* olyan képműveletek, amelyek törölnek (fehérré változtatnak) bizonyos fekete pontokat, míg a fehéreket változatlanul hagyják. Egy redukció topológia-megőrző, ha

1. nem szakít szét (kettő vagy több darabra) objektumot.
2. nem töröl teljesen objektumot.
3. nem olvaszt össze üreget sem másik üreggel, sem pedig a háttérrel.
4. nem hoz létre új üreget.
5. nem olvaszt össze kettő vagy több lyukat (3D redukció esetén).
6. nem szüntet meg lyukat (3D redukció esetén).
7. nem hoz létre lyukat (3D redukció esetén).

Egy fekete pont *egyszerű*, ha törlése topológia-megőrző redukció [3, 8]. Az egyszerűség az általunk vizsgált  $(8, 4)$  és  $(26, 6)$  képeken lokális tulajdonság, amely eldönthető a kérdéses pont 8- illetve 26-szomszédai ismeretében.

A vázkijelölés hatékony módszere az objektumok iteratív redukciója a *vékonyítás* [2, 22, 23], amely alkalmas mindhárom alakjellemező (a topológiai mag, a középvonal és 3D-ben még a középfelszín) előállítására.

Egy vékonyító algoritmus topológia-megőrző, ha valamennyi lépése topológia-megőrző redukció. A vékonyító eljárások topológiai korrektségének igazolása a redukciókra adott elegendő feltételek segítségével történhet. A korábban kidolgozott elegendő feltételek [3, 7, 17, 21] pont-konfigurációkra vonatkoztak és teljesülésük ellenőrzése egy adott vékonyító algoritmus fázisaira terjedelmes, bonyolult (több esetben hibás [8, 9]) bizonyításhoz vezetett.

A vázközelítések jóságának jellemzésére korábban javasolt módszerek [5, 6, 20] még 2D-ben sem oldották meg megnyugtatóan a kvantitatív kiértékelés és összehasonlítás problémáját. Ennek oka, hogy az alkalmazott mérőszámok nem veszik figyelembe a kiindulási objektumokat és az objektumok „ideális” vázát.

### 3. A disszertáció új tudományos eredményei

Az alábbi három pontban rendre három tézispont-hoz tartozó eredményeket foglalom össze.

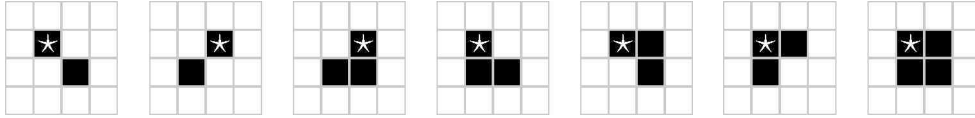
#### 3.1. Új elegendő feltételek topológia-megőrző redukciókra

A dolgozatomban 3. fejezetében olyan új elegendő feltételeket ismertetek a  $(8, 4)$  valamint a  $(26, 6)$  képek topológia-megőrző redukcióira, amelyek pont-konfigurációk helyett egyedi pontokra vonatkoznak. A dolgozatban ismertetett tételek közül itt csupán egy 2D és egy 3D aszimmetrikus (a pontkoordináták lexikografikus rendezését is figyelembe vevő) változatot idézek fel.

**1. tétel.** (a dolgozat 3.1.6. tétele)

A  $\mathcal{T}$  redukció topológia-megőrző, ha tetszőleges  $(\mathbb{Z}^2, 8, 4, B)$  képre és annak bármely  $\mathcal{T}$  által törölt  $p \in B$  pontjára teljesül az alábbi három feltétel:

1. A  $p$  pont egyszerű a  $(\mathbb{Z}^2, 8, 4, B)$  képen.
2. Bármely  $q \in N_4^*(p) \cap B$ ,  $p \prec q$  egyszerű pontra  $p$  egyszerű a  $(\mathbb{Z}^2, 8, 4, B \setminus \{q\})$  képen, vagy  $q$  egyszerű a  $(\mathbb{Z}^2, 8, 4, B \setminus \{p\})$  képen, vagy  $q \prec p$ .
3. A  $p$  pont nem a legkisebb eleme a 4. ábrán látható objektumoknak.



4. ábra. Az 1. tétel 3. feltételének kritikus objektumai. A  $\star$  szimbólummal jelölt fekete pontok az objektumok legkisebb elemei.

## 2. tétel. (a dolgozat 3.2.4. tétele)

A  $\mathcal{T}$  redukció topológia-megőrző, ha tetszőleges  $\mathcal{P} = (\mathbb{Z}^3, 26, 6, B)$  képre és annak bármely  $\mathcal{T}$  által törölt  $p \in B$  pontjára teljesülnek az alábbi feltételek:

1. Valamennyi olyan egyszerű pontokból álló  $Q \subseteq B$  halmazra, melynek  $p$  a legkisebb eleme és egymással kölcsönösen 18-szomszédos pontból áll,  $p$  egyszerű pont a  $(\mathbb{Z}^3, 26, 6, (B \setminus Q) \cup \{p\})$  képen.
2. A  $p$  pont nem a legkisebb eleme egyetlen kiterjedt kis objektumnak sem, amelyik egymással kölcsönösen 26-szomszédos pontokból áll és tartalmaz egymással nem 18-szomszédos pontpárt.

A dolgozatban 9 tétel (kimondása és bizonyítása) található a  $(8, 4)$  képek topológia-megőrző redukcióira, a  $(26, 6)$  képekre pedig további 15 tétel szerepel. Az új elegendő feltételekben közös és a korábbiakhoz képest jelentős előrelépés az, hogy (pont-konfigurációk vizsgálata helyett) egyedi pontok törölhetőségére vonatkoznak. Az új eredmények nemcsak a párhuzamos vékonyítás mindhárom stratégiáját (a teljesen párhuzamost, az irány-alapút és az almező-alapút [2]) követő algoritmusok validációjára (topológiai korrektségük bizonyítására) alkalmazhatók, hanem segítségével olyan új algoritmusok is konstruálhatók, amelyekre a topológia-megőrzés garantált.

## 3.2. Vékonyító algoritmusok tervezése

A korábban közölt párhuzamos vékonyító algoritmusok topológiai korrektségének bizonyítása (vagyis annak igazolása, hogy az adott algoritmus topológia-megőrző redukciót hajt végre minden lehetséges bemenő képre) lehetővé vált a topológia-megőrző redukciókra adott elegendő feltételek segítségével [3, 7, 17, 21].

A topológiailag korrekt vékonyító algoritmusok hagyományos tervezési sémája az 5(a) ábrán látható. A módszer hátrányai: először ki kell találni a vékonyító lépések

redukcióinak törlési szabályait, majd ezt követően igazolni azt, hogy azok kielégítik a topológia-megőrző redukcióra adott elegendő feltételeket. Mivel a korábbi elegendő feltételek pont-konfigurációkra adnak kritériumokat, így azok igazolása, hosszú és bonyolult (olykor hibás [8, 9]) bizonyításokhoz vezet.

A hagyományos (az 5(a) ábrát követő) séma nehézkes és kockázatos volta miatt a dolgozat 3. fejezetében bemutatott, a topológia-megőrző redukciókra adott új elegendő feltételeken alapuló módszert került bevezetésre, amit az 5(b) ábra szemléltet. Az új séma kihasználja azt a tényt, hogy az általunk javasolt (kilenc 2D-s és a tizenöt 3D-s tételben megfogalmazott) elegendő feltételekben közös az, hogy (pont-konfigurációk vizsgálata helyett) egyedi pontok törölhetőségére vonatkoznak, így azok nem csak redukciók validációjára alkalmazhatók, hanem közvetlenül megadnak törlési szabályokat is. Csupán annyit kell tennünk, hogy a figyelembe vett geometriai kényszerfeltételekkel (pl. végpontok törlésének tilalmával) egyszerűsítsük az elegendő feltételeket és máris olyan redukciókhoz jutunk, amelyekre a topológiai korrektséget már nem kell bizonyítani, a belőlük építkező vékonyító algoritmusok topológia-megőrzése garantált.

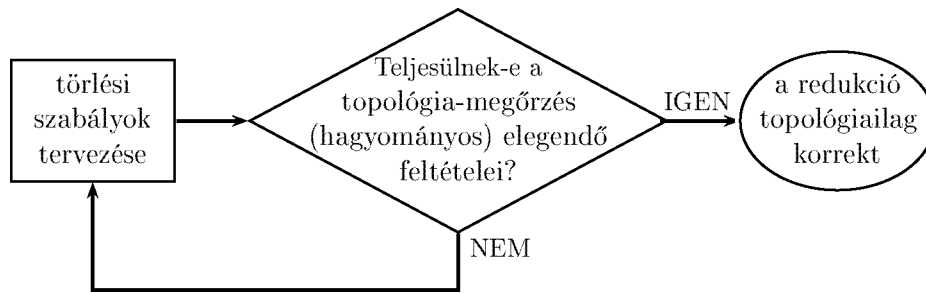
Az új tervezési séma további előnye az, hogy a geometriai kényszerfeltételek bővülésével (pl. egy újabb végpont-kritérium bevezetésével) automatikusan új vékonyító algoritmusokat kapunk.

Az elegendő feltételek két csoportba (szimmetrikusba és aszimmetrikusba) sorolhatók, így az új tervezési séma szerint szimmetrikus és aszimmetrikus vékonyító algoritmusokat is generálhatunk.

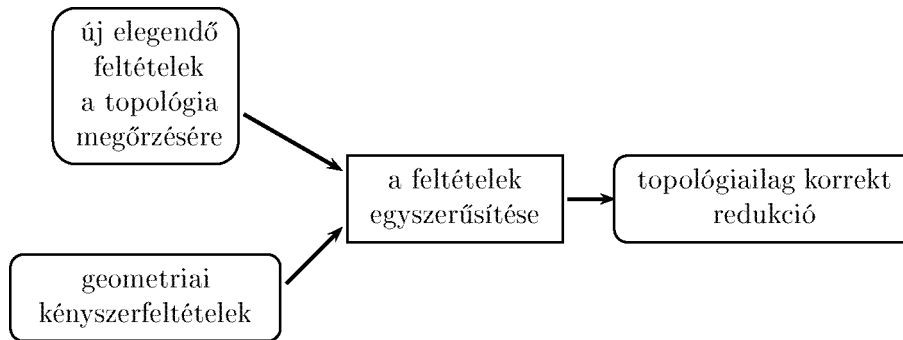
A dolgozat 4. fejezete az új tervezési sémán túl még négy lényeges eredményt tartalmaz:

- A 2D irány-alapú vékonyításra egy új, a 2·2-irányú irány alapú stratégiát javoltuk, ahol az azt követő algoritmusok a törlési irányok  $\langle NE, SW, NW, SE \rangle$  sorozatát alkalmazzák. A 2·2-irányú algoritmusok bizonyultak a legjobbaknak a 6. fejezetben kiértékelt és rangsorolt 92-féle 2D vékonyító algoritmus közül.
- Az almező-alapú párhuzamos vékonyításra bevezettük a kevesebb nemkívánatos vázelemet eredményező iterációnkénti határpont-ellenőrzés módszere (2D és 3D algoritmusokra egyaránt).
- Az elegendő feltételek szűkületi pontokkal (mint geometriai kényszerfeltételekkel) kombinált 2D és 3D algoritmus családjait is létrehozta (és implementálta is) a szerző.
- A dolgozat 4.3. alfejezete bemutat egy hatékony és általános módszert (a szekvenciális és valamennyi párhuzamos vékonyító stratégiát követő) vékonyító algoritmusok implementálására.





(a) A hagyományos tervezési módszer.



(b) A javasolt új módszer.

5. ábra. Vékonyító algoritmusok tervezési stratégiái.

### 3.3. Vázkijelölő algoritmusok kvantitatív kiértékelése és összehasonlítása

A dolgozat 5. fejezete egy új módszert javasol a 2D vázkijelölő algoritmusok kvantitatív kiértékelésére. A módszer két kulcseleme a kép-adatbázis és a validált váz-specifikus mérőszám. A létrehozott kép-adatbázis 55-elemből áll, ahol minden egyes elem egy képpár, mely egy referencia-kép és annak ideális vázát tartalmazó referencia-váz alkot. Bevezettük a normalizált távolságtérképeket, amelyek a kiindulási képek háttérpontjaiból és a vizsgált vázak pontjaiból (mint jellemző pontokból) számított euklideszi távolságtérképekből származnak. A normalizált távolságtérképekkel négy új váz-specifikus (vagyis tetszőleges ponthalmazok minősítésére nem javasolt) mérőszámot javasoltunk.

Az új mérőszámok validációjához az bevezettünk egy új vázat, a szekvencia-vázat az általánosított morfológiai váz és a szomszédsági szekvenciák kombinálásával. Ha két szomszédsági szekvencia közül az első jobb a másodiknál, akkor az elsővel kapott szekvencia-vázakat is jobbnak tekintjük a második szomszédsági szekvencia szekvencia-vázainál. Ily módon rendelkezésünkre állnak olyan vázközelítések, amelyek között ismerjük a jósági viszonyokat. A szekvencia-vázak segítségével megmutattuk, hogy az általunk javasolt  $AA$  mérőszám teljesíti az elfogadható mérőszámmal szemben felállított kritériumunkat.

A dolgozat 6. fejezetében a szerző háromféle technikával is rangsorolt 92 darab

2D vékonyító algoritmust a létrehozott adatbázison a javasolt  $AA$  mérőszám alkalmazásával. Az összehasonlítás eredményeként megállapítható, hogy a dolgozat 4. fejezetében ismertetett (topológia-megőrző redukciók új elegendő feltételeiből származtatott) vékonyító algoritmusok közül az új  $2 \cdot 2$ -irányúak mindhárom rangsor szerint megelőzik az összehasonlításba bevont 12 mások által közölt, gyakran hivatkozott és alkalmazott vékonyító algoritmust.

## 4. Tézispontok

### 4.1. Új elegendő feltételek topológia-megőrző redukciókra

Az 1. tézisponthoz tartozó eredmények: a  $(8, 4)$  képekre 9 tétel, a  $(26, 6)$  képekre pedig 15 tétel megadása, ahol az egyes tételek a redukciók topológia-megőrzésére adnak új elegendő feltételeket. Az eredmények lényeges elemei:

- 1.1 Az új elegendő feltételek (a korábbiakban szereplő pont-konfigurációk helyett) egyedi pontok törölhetőségére vonatkoznak.
- 1.2 Az egyedi pontok vizsgálatán alapuló elegendő feltételekkel nem csak a redukciók topológiai korrektségének igazolása válik egyszerűbbé, hanem közvetlenül származtathatunk belőlük garantáltan topológia-megőrző redukciókat.
- 1.3 Mindhárom párhuzamos vékonyító stratégia redukcióira születtek elegendő feltételek.
- 1.4 A pontkoordináták lexikografikus rendezése alapján bizonyos nem egyszerű halmazokból és objektumokból is törölhetünk elemeket. A pontok rendezettségét kihasználó elegendő feltételek (és a belőlük származtatott redukciók) az aszimmetrikus jelzöt kapták, tehát az 5(b) ábra sémáját követve szimmetrikus és aszimmetrikus algoritmus-családokhoz is juthatunk.
- 1.5 Az aszimmetrikus elegendő feltételekből származtatott redukciók törlési szabályai egyszerűbbek a szimmetrikusoknál és egyúttal kevesebb ponttól is függenek (kisebb elemszámú vizsgált környezetet igényelnek). Ennélfogva az aszimmetrikus vékonyító algoritmusok könnyebben implementálhatók és gyorsabbak lesznek a szimmetrikusoknál.

A tézispont eredményei közül a  $(8, 4)$  képekre vonatkozókat két folyóirat cikk tartalmazza [12, 15], míg a  $(26, 6)$  képek redukcióira az elegendő feltételek egy könyvfejezetben [19], továbbá négy nemzetközi konferencia kiadványában [10, 11, 13, 18] található.

### 4.2. Párhuzamos vékonyító algoritmusok tervezése

A 2. tézisponthoz tartozó jelentős eredmények:

- 2.1. A párhuzamos vékonyító algoritmusok hagyományos (bonyolult és kockázatos) tervezési stratégiája mellé egy új módszer született, amely az 1. tézispont elegendő feltételeit kombinálja geometriai kényszerfeltételekkel.
- 2.2. Az új tervezési stratégia olyan vékonyító algoritmusokat eredményez, amelyek garantáltan topológia-megőrzők. Nincs szükség tehát bonyolult és hosszadalmas bizonyításokra.
- 2.3. Az elegendő feltételeket újabb geometriai kényszerfeltételekkel kombinálva további algoritmus-családokat kapunk.
- 2.4. A 2D irány-alapú vékonyításra (a hagyományos 2, 4 és 8 törlési irány mellé) bevezetésre került a 2·2-irányú stratégia is a törlési irányok  $\langle NE, SW, NW, SE \rangle$  sorozatával.
- 2.5. Az almező-alapú párhuzamos vékonyításra új megközelítést, az iterációnkénti határpont-ellenőrzést javasoltuk.
- 2.6. A szűkületi (mint a vékonyítás folyamán biztosan a vázszerű jellemzőhöz tartozó) pontokat összegyűjtő algoritmusok is születtek. Ráadásul a 3D középfelszín eredményező algoritmusok olyan szűkületi pontokat vesznek figyelembe, amelyek a csőszerű objektumrészletekre vonalszegmenseket eredményeznek.
- 2.7. A dolgozat bemutat egy hatékony és általános módszert (a szekvenciális és valamennyi párhuzamos vékonyító stratégiát követő) vékonyító algoritmus implementálására.

A tézispont eredményeit egy könyvfejezet [19], két folyóirat cikk [12,15], valamint hat konferencia kiadvány [10, 11, 13, 14, 16, 18] tartalmazza.

### **4.3. Vázkijelölő algoritmusok kvantitatív kiértékelése és összehasonlítása**

A 3. tézispont eredményei:

- 3.1. A dolgozat egy új módszert javasol a 2D vázkijelölő algoritmusok kvantitatív kiértékelésére. A módszer kulcselemei a 55 képpárból álló adatbázis és az új vázspecifikus mérőszámok. A létrehozott kép-adatbázisban az egyes képpárokat egy referencia-kép és annak ideális váza alkotja.
- 3.2. Bevezettük a normalizált távolságtérképet, amely egy képpár referencia-képének határpontjaiból (mint jellemző pontokból) és a referencia-vázból számított euklideszi távolságtérképet kombinálja. A normalizált távolságtérkép alapján négy különböző mérőszámot vezetett be a dolgozat szerzője és a kutatási témában résztvevő partnerei.

- 3.3. Az új mérőszámok validációjához bevezettük a szekvencia-váz (ami az általánosított morfológiai vázat kombinálja szomszédsági szekvenciákkal) és a „megfelelő” mérőszám kritériumát is, amit teljesít a javasolt *AA* mérőszám.
- 3.4. Három különböző rangsorolási módszerrel a szerző kiértékelte és rangsorolt 92 darab 2D vékonyító algoritmust. A dolgozat 4. fejezetében ismertetett vékonyító algoritmusok közül az új 2·2-irányúak mindhárom rangsor szerint megelőzik az összehasonlításba bevont 12, mások által közölt, gyakran hivatkozott és alkalmazott vékonyító algoritmust.

A tézispontokhoz tartozó kezdeti eredményeinket egy nemzetközi konferencia kiadványában [1] közzétettük.

## 5. A tézispontokhoz kapcsolódó közlemények

A szerző közleményeinek és az értekezés tézispontjainak kapcsolatát az alábbi táblázat adja meg, amelyben csak a Doktori Iskola által elfogadott publikációk szerepelnek.

Publikációk	Tézispontok			Jelleg	Szerzők száma	Pont
	1.	2.	3.			
[19]	•	•		Könyvfejezet	3	0,60
[12]	•	•		Folyóirat cikk	3	0,60
[15]	•	•		Folyóirat cikk <sup>1</sup>	2	0,75
[16]		•		Konferencia cikk	2	0,75
[14]		•		Konferencia cikk	2	0,75
[13]	•	•		Konferencia cikk	3	0,60
[11]	•	•		Konferencia cikk	3	0,60
[10]	•	•		Konferencia cikk	3	0,60
[18]	•	•		Konferencia cikk	2	0,75
[1]			•	Konferencia cikk	4	0,48
Összpontszám:						6,48

---

<sup>1</sup>Impact Factor: 0,684 (2010)

# Irodalomjegyzék

- [1] A. Fazekas, K. Palágyi, Gy. Kovács, and G. Németh. Skeletonization based on metrical neighborhood sequences. In *Proceedings of the International Conference on Computer Vision Systems (ICVS 2008)*, Lecture Notes in Computer Science, volume 5008, pages 333–342, Springer, 2008.
- [2] R.W. Hall. Parallel connectivity-preserving thinning algorithms. In T.Y. Kong and A. Rosenfeld, editors, *Topological Algorithms for Digital Image Processing*, pages 145–179, Elsevier, 1996.
- [3] T.Y. Kong. On topology preservation in 2-D and 3-D thinning. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 9(5):813–844, 1995.
- [4] T.Y. Kong and A. Rosenfeld. Digital topology: Introduction and survey. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 48:357–393, 1989.
- [5] L. Lam and C.Y. Suen. Automatic comparison of skeletons by shape matching methods. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 7(5):1271–1286, 1993.
- [6] S.-W. Lee, L. Lam, and C.Y. Suen. A systematic evaluation of skeletonization algorithms. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 7(5):1203–1225, 1993.
- [7] C.-M. Ma. On topology preservation in 3d thinning. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing: Image Understanding*, 59(3):328–339, 1994.
- [8] C.-M. Ma. A 3D fully parallel thinning algorithm for generating medial faces. *Pattern Recognition Letters*, 16:83–87, 1995.
- [9] C.-M. Ma and M. Sonka. A fully parallel 3D thinning algorithm and its applications. *Computer Vision and Image Understanding*, 64:420–433, 1996.
- [10] G. Németh, P. Kardos, and K. Palágyi. Topology preserving 2-subfield 3D thinning algorithms. In *Proceedings of the IASTED International Conference on Signal Processing, Pattern Recognition and Applications (SPPRA 2010)*, pages 310–316, IASTED, 2010.

- [11] G. Németh, P. Kardos, and K. Palágyi. Topology preserving 3D thinning algorithms using four and eight subfields. In *Proceedings of International Conference on Image Analysis and Recognition (ICIAR 2010)*, Lecture Notes in Computer Science, volume 6111, pages 316–325, Springer, 2010.
- [12] G. Németh, P. Kardos, and K. Palágyi. 2D parallel thinning and shrinking based on sufficient conditions for topology preservation. *Acta Cybernetica*, 20(1):125–144, 2011.
- [13] G. Németh, P. Kardos, and K. Palágyi. A family of topology-preserving 3d parallel 6-subiteration thinning algorithms. In *Proceedings of the International Workshop on Combinatorial Image Analysis (IWCIA 2011)*, Lecture Notes in Computer Science, volume 6636, pages 17–30, Springer, 2011.
- [14] G. Németh and K. Palágyi. 2d parallel thinning algorithms based on isthmus-preservation. In *Image and Signal Processing and Analysis (ISPA 2011)*, pages 585–590, 2011.
- [15] G. Németh and K. Palágyi. Topology preserving parallel thinning algorithms. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 21:37–44, 2011.
- [16] G. Németh and K. Palágyi. 3D parallel thinning algorithms based on isthmuses. In *Proceedings of the International Conference on Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems (ACIVS 2012)*, to appear.
- [17] K. Palágyi and A. Kuba. A parallel 3D 12-subiteration thinning algorithm. *Graphical Models and Image Processing*, 61:199–221, 1999.
- [18] K. Palágyi and G. Németh. Fully parallel 3D thinning algorithms based on sufficient conditions for topology preservation. In *Proceedings of the International Conference on Discrete Geometry for Computer Imagery (DGCI 2009)*, Lecture Notes in Computer Science, volume 5810, pages 481–492, Springer, 2009.
- [19] K. Palágyi, G. Németh, and P. Kardos. Topology preserving parallel 3D thinning algorithms. In R. Barneva and V. Brinkov, editors, *Digital Geometry Algorithms. Theoretical Foundations and Applications to Computational Imaging*, pages 165–188, Springer, 2012.
- [20] R. Plamondon, Y.S. Ching, M. Bourdeau, and C. Barrière. Methodologies for evaluating thinning algorithms for character recognition. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 7:1247–1270, 1993.
- [21] C. Ronse. Minimal test patterns for connectivity preservation in parallel thinning algorithms for binary digital images. *Discrete Applied Mathematics*, 21(1):67–79, 1988.
- [22] K. Siddiqi and S. Pizer. *Medial Representations: Mathematics, Algorithms and Applications*. Springer, 2008.

- [23] C.Y. Suen and P.S.P. Wang. *Thinning Methodologies for Pattern Recognition*. World Scientific Publishing, 1994.