

Palágyi Kálmán
Topology Preservation and Thinning
(Topológia-megőrzés és vékonyítás)
című MTA doktori értekezésének bírálata

1. Tartalmi bemutatás, kérdések

Az értekezés a digitális topológia egy speciális területére, a vázkijelölésre fókuszál. A váz (vagy közép vonal) meghatározásának leggyakoribb célja az objektumok egy leegyszerűsített jellemzése, mely reprezentáció számos alkalmazásban igen hasznos. A szerző elméleti alapossággal építi fel a területen bevezetett új módszereit, ami kiemelten fontos az elvárt feltételek (például topológia megőrzése) teljesülésének ellenőrizhetőségéhez. Az elméleti eredményeken túl bepillantást kapunk a hatékony implementálhatóság feltételrendszerébe és a valós gyakorlati alkalmazásokba való beépíthetőségre is.

A dolgozat egy bevezető fejezettel indul, ami az alapos irodalmi áttekintés és jelölésrendszer bevezetése mellett tartalmazza az alapvető fogalmakat és szakirodalmi alaperedményeket a később tárgyalt területekhez. Nevezetesen, bemutatásra kerül a későbbi fejezetek topológia megőrzéséhez, vékonyításhoz/vázkijelöléshez kapcsolódó eredményeinek eszköztára. Az áttekintés igen alapos, a területen kevésbé jártas olvasó számára is alapvetően megismerhetővé válik a szakterület. Két kisebb kérdés fogalmazódott meg bennem az alapfogalmakkal kapcsolatban, mivel itt kis különbséggel sokszor hasonló definíciós megközelítések lehetségesek:

- meg lehetne-e fogalmazni a topológia megőrzést a homotópia-fa (megőrzésének) fogalmával? Mennyire lehetnek ekvivalensek ezek a definíciók?
- definíciós szempontból lehetne-e kizárólag duális operátorként megfogalmazni a törlő/hozzáadó operátorokat (értelemszerűen cserélve az előtér/háttér szerepét/szomszédsági viszonyait is)?

Az új eredmények az ezt követő három fejezetben kerülnek bemutatásra, a bevezető felépítésének megfelelően rendre a topológia megőrzéséhez, vékonyításhoz és vázkijelöléshez kapcsolódóan. A második és harmadik fejezet alapvetően elméleti eredményeket közöl, míg a negyedik egy vázkijelölést használó összetett klinikai alkalmazást mutat be.

A második fejezet változatos eredményeket tartalmaz a topológia-megőrző operátorokkal kapcsolatban. A fő cél a topológia megőrzésével, hogy az eredeti objektumok fő geometriai viszonyai ne változzanak például egy vékonyítás során. Először 2D, majd 3D topológia-megőrző eljárásokkal ismerkedünk meg, ezt követően a szekvenciális és párhuzamos redukció ekvivalenciájának szempontjából kerül a témakör tárgyalásra. Ismertetésre kerül még a kapcsolat az öt topológia-megőrzésre adott elégséges feltételrendszer között. Részletesebben, a 2D négyzetmozaikra megadott korábbi topológia-megőrző redukciók kerülnek egyszerűsítésre és kiterjesztésre mindhárom szabályos (háromszög, hatszög, négyzet) 2D mozaikra. Megfogalmazódnak továbbá olyan (szimmetrikus és aszimmetrikus) pont alapú elegendő feltételek, amelyek az egyedi pontok törölhetőségét vizsgálják biztosítva ezzel a képműveletek tervezhetőségét és generálhatóságát is. Hasonló eredményeket sikerült elérni párhuzamos 3D-s redukciókra is szimmetrikus és aszimmetrikus pont alapú elegendő feltételek megadásával a topológia megőrzésére nézve. A kapcsolódó eredmények két tézispontban kerültek megfogalmazásra. A fejezet következő szakasza az ekvivalens szekvenciális és párhuzamos képműveletekkel foglalkozik, ahol fő eredményként egy, az átírási szabályokra közvetlenül vonatkozó kritérium kerül bemutatásra, mint elégséges feltétel a topológia megőrzésére. A kapcsolódó eredmények önálló tézispontban kerültek összegzésre. A fejezet zárószakasza nagyon szerencsésen összegzi a különféle, topológia-megőrzésre vonatkozó elégséges feltételek viszonyát, azok ekvivalenciáját, illetve különbözőségeit levezetve. A kapcsolódó eredmények öt lehetséges megközelítésre nézve önálló tézispontban kerültek megfogalmazásra.

Az értekezés harmadik fejezetében a szerző vékonyítóeljárásokra koncentrált, elsősorban a 3D képtérre nézve. A fejezet első eredménye egy általános gyorsító implementációs keretrendszert fogalmaz meg vékonyító eljárásokhoz. Ez a keret több, jól átgondolt természetes gyorsító lépést javasol, amelyek lényegében univerzálisan beépíthetők a vázkijelölő eljárásokba. A kapcsolódó eredmények önálló tézispontot kaptak. A fejezet következő szakasza 3D-s párhuzamos vékonyító eljárásokat mutat be, amelyek a második fejezet topológia-megőrző törlésekre vonatkozó pont alapú elégséges feltételeken alapulnak. Az eredmények érdekessége, hogy ezen a területen több, topológia-megőrzés szempontjából hibás eljárás került bevezetésre, amelyeket a szerző javítani tudott. Ezzel a technikával öt párhuzamos vékonyító stratégia és háromféle végpontkritériummal összesen 15 eljárás generálható, ami garantáltan topológia-megőrző. Az eljárások hatékony implementációja az előző szakaszban bemutatott keretrendszeren alapult. A topológia-megőrzés elegendő feltételeiből származtatott 3D vékonyító algoritmusokkal kapcsolatban megfogalmazott eredmények önálló tézispontot kaptak. A következő szakasz ekvivalens szekvenciális és párhuzamos vékonyító algoritmusokkal foglalkozik, amelyek ugyanazt az eredményt adják minden bemeneti képre. A szerző 2D-s és 3D-s ekvivalens, topológia-megőrző algoritmusokat készített és bizonyította, hogy bizonyos, mások által bevezetett párhuzamos eljárásokhoz konstruálható ekvivalens szekvenciális megoldás is. A szakaszban négy ekvivalens algoritmus-pár kerül bemutatásra; a kapcsolódó eredmények önálló tézispontot kaptak. A fejezet záró szakasza a maximális 3D középvonalra vékonyító eljárásokra koncentrált, amelyek célja az 1-voxeles vastagság elérése a vázra nézve. Ez a feltétel igen hasznos számos alkalmazásban, amire a szakaszban is látunk példát. A szerző két ilyen algoritmust mutat be hatékony implementációval együtt, amelyek topológia-megőrzők is; az eredmények önálló tézispontban szerepelnek. A dolgozat második és harmadik – elsősorban elméleti megfontolásokat tartalmazó – fejezetének eredményeivel kapcsolatban a következő kérdéseim vannak:

- Van-e olyan alkalmazási példa, ahol a teljes topológiamegőrzés kevésbé fontos, kisebb deformitások megengedettek? Ilyen esetekben mennyiben módosulhatnak a közölt eredmények?
- Mennyiben látja kiterjeszthetőnek a disszertációban látható eredményeket más képi reprezentációkra? Például a relatíve szabályosnak mondható 4-fa reprezentációra (2- vagy akár 3D-ben is), vagy az inkább gráf alapú leíráshoz vezető superpixel-reprezentációra? Utóbbi eset a bináris képekre talán kevésbé releváns, a felvetés inkább a közölt eredmények potenciális gráfelméleti eredményekhez való kapcsolhatóságára vonatkozik.
- A bináris és szürkeskálás morfológiai eljárások mintájára mennyiben tűnik lehetségesnek a bemutatott eredmények szürkeskálás képekre való kiterjesztése? (Például a vázkijelölésre vagy a topológiamegőrzésre vonatkozólag.)

Az értekezés új eredményeket bemutató utolsó, negyedik fejezete alapvetően a korábbi eredmények alkalmazására koncentrált egy összetett klinikai feladat megoldása során. A gyakorlati feladat a légzőrendszer kvantitatív jellemzése, ami itt egy szegmentációs lépést követő vázkijelöléssel, majd a vázból származtatott kvantitatív leírók származtatásával történik. A légutak középvonalának precíz meghatározásához számos képfeldolgozási eljárásról át vezetett az út, amelyek közül az értekezés teljes tartalmát tekintve kiemelhető egy saját maximálisan vékonyító topológia-megőrző algoritmus alkalmazása, illetve az így nyert váz tisztítása és simítása. A teljes rendszer megvalósítása is a szerző implementációs munkáját dicséri. A közölt eredmények önálló tézispontot kaptak. A fejezet következő szakasza az előállt légútfa kvantitatív jellemzésével foglalkozik. A számolási módszertan a teljes váz kereszteződési pontokkal való részekre bontásával kezdődik, ezt követi a kapott ágak geometriai jellemzése és a vázra merőleges képszeletek meghatározása. A szerző munkáját vendégkutatóként, egy interdiszciplináris nemzetközi kutatócsoport tagjaként végezte, ahol az eredmények piacra vitele is megtörtént. Az elért eredmények önálló tézispontban kerültek összegzésre. A dolgozat negyedik fejezetével kapcsolatban a következő kérdésem van:

- Sikerült-e más alkalmazásokban is felhasználni a dolgozat eredményeit? Amennyiben igen, milyen megfontolásokat kellett tenni a leghatékonyabb eljárások kiválasztásához?

A dolgozat ötödik fejezete összegzőként a tézispontokat tartalmazza.

2. Értékelés

Az értekezés nyelvezete, jelölésrendszere szakmailag precíz és egységes, ami az elméleti eredmények miatt kiemelten fontos. Az olvasmányosságot nagyban segíti, hogy a bizonyítások mellőzésre kerültek, anélkül, hogy ez zavarná a fogalmak vagy eredmények értelmezhetőségét. Ez a megoldás azért is indokolt, mert a bemutatottakon túl a szerző nagy számú további eredménnyel rendelkezik a területen – a dolgozat ennek a több évtizedes munkának egyfajta kivonataként is tekinthető. Bár ez az észrevételem a közölt eredmények értékét nem csökkenti, szeretném itt megjegyezni, hogy talán nem volt túl szerencsés, hogy a szerző viszonylag nagy hangsúlyt fektetett annak bemutatására is, hogy mely eredmények nem kerültek be az értekezésbe. Meglátásom szerint az olvasó számára érdekesebb lett volna azt jobban bemutatni, hogy miért éppen a közölt eredmények kerültek be, miért érezte a szerző ezeket a legfontosabbnak. Ezt különösen a magyar nyelvű téziszüzetnél éreztem, az értekezés esetében ez kevésbé zavaró.

A munka nagyon jól szerkesztett, ábrákkal kiválóan illusztrált, ami a témát tekintve indokolt is. Minimális számú gépelési/nyelvi hibát találtam.

A megfogalmazott tézispontokat a 2.1 tézispont kivételével önálló eredményként elfogadom. A 2.1 tézispont is hasznos eredményeket közöl, de véleményem szerint indokoltabb lett volna ezt az általános keretrendszer egy eljáráshoz kötve tárgyalni. Ez egyébként az értekezésben is lényegében így történik, mivel a 2.2 tézispontnál megfogalmazott algoritmus erre az implementációs keretrendszerre épül.

Minden tézispont esetében kijelenthető, hogy a Szerző eredményeit elismert szakmai fórumokon közzétette. Összességében a szerző 144 tudományos közleménnyel rendelkezik, amelyek közül 33 IF-ral rendelkező helyen került közzétételre. A közlemények közül 8 egy szerzős és zömük az utolsó fokozat megszerzése után született. A független hivatkozások száma 1168, amiből 1163 WoS/Scopus idéző. Az idézők közül sokan alkalmazásokba építették be a szerző eredményeit, így hasznosítva azokat.

Az értekezés meggyőzően demonstrálja, hogy a szerző kiváló ismerője a területnek és tudományos munkája mellett az eredményekhez kapcsolódó tudományos szervezői/oktatási tevékenysége is igen tiszteletreméltó.

A dolgozat eredményeit elegendőnek tartom az MTA doktori cím megszerzéséhez, a nyilvános védés kitűzését és a fokozat odaítélését támogatom.

Debrecen, 2021. május 16.



Prof. Dr. Hajdu András
tszv. egyetemi tanár