

Palágyi Kálmán „Topology Preservation and Thinning” című MTA doktori disszertációjának bírálata

A disszertáció két, illetve háromdimenziós szabályos rácson definiált diszkrét modellek vázának előállításával foglalkozik. Kétdimenziós rácsok tipikusan pixeleket, a háromdimenziósok voxeleket tartalmaznak. A vázgenerálás fontos szerepet kap számos képfeldolgozási, gépi látás, illetve orvosi képalkotási folyamatban, ezért a téma nem csupán elméleti jelentőségű, hanem sokféle gyakorlati alkalmazása van. A Jelöltről közismert, hogy a témát több évtized óta kutatja és e tárgyhoz tartozó eredményeit világszerte elismerik, hivatkozzák és használják.

A bevezetés az euklideszi sík és tér reguláris csempézésével kapható rácsokat mutatja be. Az irodalomnak megfelelően definiálja a szomszédossági kategóriákat és a dolgozatban használt alapvető diszkrét topológiai fogalmakat. Megjegyzem, hogy gyakorlatban valóban ennek van igazán jelentősége, de az elméletileg izgalmasabb topológiai viszonyok és geometriák is előkerülhetnének. Például érdekes volna tórusz, Möbiusz szalag, vagy akár projektív sík topológiájú képek vizsgálata, vagy annak felvetése, hogy nem euklideszi esetekben mi tartható meg és mi vethető el. Például hiperbolikus geometriában a rácsok szerkezete sokkal változatosabb lehet, mint euklideszi geometriában. Hasonlóképpen a topológia megőrzés kritériumai magától értetődők, de felmerül a kérdés, hogy ez milyen kapcsolatban van a nem diszkrét topológia Betti számainak vagy Euler karakterisztikájának a megőrzésével. Az első fejezet részletesen áttekinti, hogy mások mit értek el ezen a területen, hogy egyértelmű legyen a Jelölt eredményeinek az újdonság értéke. Az áttekintés nagyon részletes és kimerítő, amelyet a 370 tételt felsorakoztató, több mint 20 oldalas hivatkozott irodalomjegyzék is alátámaszt.

Az új eredmények bemutatása a második fejezettel kezdődik, amely a topológia megőrzéssel kapcsolatos tételeket foglalja össze. A Jelölt konfiguráció-alapú és pont-alapú feltételeket ad topológia megőrző módosításokra párhuzamos ponttörlést feltételezve. Itt a pont-alapú módszereknek van nagyobb jelentősége, ugyanis ezek alapján konstruálhatók egyszerűsítő algoritmusok, amelyek megőrzik a topológiát. A kimondott tételek egy része a Jelölt korábbi eredményei. A tételek bizonyítását a disszertáció nem tartalmazza, holott jó lett volna egy olyan keretet látni – már ha létezik ilyen – amellyel ezek a tételek egyszerűen bizonyíthatók. Ebből a fejezetből az ekvivalens párhuzamos és szekvenciális operátorok felvetését és tárgyalását emelném ki. Ez a fejezet azt vizsgálja, hogy két redukció mikor eredményez nem csupán topológiailag megegyező, hanem teljesen ugyanolyan eredményt. Az eredmények tetszőleges típusú és dimenziójú képen érvényesnek látszanak, de a példák kizárólag a legegyszerűbb négyzetrácsos esetet szemléltetik. A különféle elégséges feltételek közötti kapcsolatokat a 2.4.5. fejezet mutatja be, ami felveti azt a kérdést, hogy van-e mód az egyszerűsítések rendszerének újragondolására és egy egyszerűbb keretbe helyezésére. Másrészt, mondható-e a szükséges feltételekről több mint hogy a pontnak egyszerűnek kell lennie?

A harmadik fejezet a vékonyító módszereket taglalja, elsősorban azokat, amelyek a Jelölt eredeti ötletéből nőttek ki, miszerint a topológiai egyszerűsítés elégséges feltételrendszerei automatikusan elvezetnek nem-triviális egyszerűsítő módszerekhez. Az algoritmusnak a topológiai kényszerekén kívül a geometriai feltételeket, mint a görbe és felület végpont megőrzés, és a hatékonyságot is figyelembe kell venni, tehát a biztosan nem törölhető pontokat nem szabad minden iterációban újrazivizsgálni. A disszertáció először egy generikus implementációt mutat be, amely bármely vékonyító algoritmust befogathatja és a hatékonyság szempontjait is érvényesíti. Különösen 3D-ben a topológia megőrzés utólagos ellenőrzése egyáltalán nem kézenfekvő, ezért nagy jelentősége van az ilyen megközelítésnek, amelyek ezt a feltételt automatikusan teljesítik. A lookup táblás megoldás generikus és elegáns, kérdésem, hogy más típusú rácsoknál nem vezet-e ez

túlságosan nagy memóriaigényhez. A keretet felhasználva a Jelölt számos egyedi algoritmust mutat be. A valódi teljesítményről röviden esik szó. Hogyan lehetne rangsorolni ezeket a módszereket futási idő szempontjából, valamint hogyan teljesítenének valódi masszívan párhuzamos környezetben (pl. GPU)? Külön fejezet szól a maximális vékonyító algoritmusokról, amelyek a topológia megőrzéshez szükséges nem-egyszerű pontokon kívül csak görbe végpontokat tartalmazhatnak. Véleményem szerint ennek nagyobb gyakorlati jelentősége van, mint a felületre vékonyításnak, illetve érdekelne, hogy a Jelölt a felületre vékonyítást milyen alkalmazásokban javasolja. A maximális vékonyító algoritmusokból is több megoldást találunk. A fejezet számos algoritmusáról elmondható, hogy azok konstrukciójából következőleg bizonyítottan helyesnek tekinthetők.

A negyedik fejezet a Jelölt módszereinek a tüdő légjáratok elemzését célzó alkalmazását mutatja be. Egyetértek azzal a kijelentéssel, hogy ezek a módszerek jól alkalmazhatók számos orvosi képfeldolgozási feladatban, mi például a 3D kolonoszkópiában hasznosítottuk a Jelölt módszerét. A negyedik fejezet a korábbi fejezetek erősen matematikai tárgyalásmódjával szakít és inkább mérnöki megközelítést alkalmaz, minek következtében a fejezet sokkal olvashatóbb. Az első lépés a mérési eredmények hibáinak a kiküszöbölése klasszikus morfológiai módszerek alkalmazásával, hiszen a topológia megőrzésnek a továbbiakban csak akkor van értelme, ha a kiindulási modell topológiai érvényes. A belépési pont interaktív azonosítása után egy maximális egyszerűsítő eljárás állítja elő a középvonalat, majd a zajból és diszkretizációból következő nem-valós középvonalakat kell eltüntetni egy heurisztikus eljárással, és a megmaradt diszkrét vonalat simítani. Végül, a topológiai egyszerűsítéssel rokonítható elágazás detektálást hajtja végre az algoritmus, amely a tüdő gráfjának csúcsait határozza meg. Kérdésem, a topológián túl a geometriai tulajdonságok mennyire lényegesek a felhasználás szempontjából, és lehetne-e ettől a ponttól folytonos görbereprezentációkat alkalmazni, pl. spline-t? A további műveletek geometriai számításokkal, trifurkációk kezelésével és gráf csúcs párosítással foglalkoznak. Ez utóbbiban mennyire támaszkodhatunk a gráfelmélet óriási algoritmusgyűjteményére?

Az 5. fejezet összefoglalja az eredményeket és kimondja a téziseket, amelyek a három érdemi fejezet kiemelt állításai.

A disszertáció gondosan elkészített, figyelmes átolvasással is csak egyetlen nyelvi vitatható mondat találok. A matematikai fejezetek rendkívül precízek, a számos definíció és fogalom követése komoly koncentrációt igényel. A tézisek által kijelölt tételek és algoritmusok a Jelölt eredményei, amelyek meghatározóak a topológia megőrző vékonyítás területén. A téziseket elfogadom, az MTA doktori cím odaítélését támogatom.

Budapest, 2021. március 11.



Szirmay-Kalos László

MTA doktora