

Fejlett eljárások a priori információ alapján diszkrét tomográfiához és alkalmazásai

Az OTKA PD100950 projekt szakmai záró beszámolója

A diszkrét tomográfia (DT) esetében a képalkotáshoz általában csak néhány (legfeljebb kb. 10) vetület használható fel, így a rekonstrukciót a képről rendelkezésre álló előzetes információkra támaszkodva kell elvégezni, mely minden alkalmazás esetén más-más módszer kidolgozását igényelheti. A PD100950 OTKA pályázatban azt tűztük ki célul, hogy ezen információ kinyerését próbáljuk meg az előzőeknél hatékonyabb módokon elvégezni és erre építve újfajta rekonstrukciós algoritmusokat kidolgozni.

Egyrészt fontos annak az elméleti kérdésnek a megválaszolása, hogy adott a priori információ segítségével létezik-e gyors egzakt vagy közelítő rekonstrukciós algoritmus. Kutatásunk során a hv-konvex bináris alakzatok osztályát vizsgáltuk, melyben a rekonstrukció két vetületből NP-teljes. Tapasztalati eredményekkel sikerült alátámasztanunk, hogy a probléma nehézsége több tényezőtől is függ (a kép mérete, komponenseinek száma és elhelyezkedése, a kapcsoló komponensek száma). Észrevételeinket egy folyóiratcikkben foglaltuk össze [1]. A tapasztalati eredmények mellett bizonyos részosztályokra vonatkozóan sikerült hatékony rekonstrukciós heurisztikákat és komplexitási eredményeket is megadnunk [9]. Fontos volt annak megválaszolása is, hogy az eredményeket hogyan befolyásolja, ha kettő helyett csak egy vetület áll rendelkezésre a képalkotás során. Ezzel kapcsolatban olyan eljárásokat dolgoztunk ki, melyek adott feltételek mellett az összes lehetséges megoldást megadják [10,16,21]. Tanulmányaink kiterjedtek a DT-ban eddig még nem vizsgált, úgy nevezett morfológiai vázra, mint prior információra is. Ezen rekonstrukciós priorra vonatkozóan egyértelműségi és bonyolultságelméleti eredményeink születtek [2,11,12,19].

Amennyiben a rekonstrukció a horizontális és vertikális vetületekből nem egyértelmű, akkor a bináris kép úgy nevezett kapcsoló komponenseket tartalmaz. Ezen kapcsoló komponensek kiiktatásával azonban már garantálható az egyértelműség. A kiiktatás egy módszere lehet, ha bizonyos pozíciókban a 0 értékeket 1-re változtatjuk. Annak meghatározása, hogy ez minimálisan hány átváltással tehető meg, NP-teljes probléma, melyre azonban sikerült hatékony heurisztikákat kidolgoznunk [20].

A korábban kidolgozott diszkrét tomográfiai eljárások esetében a megalkotandó képről rendelkezésre álló a priori információ mindig explicite adott volt. A kutatás egyik további célja annak vizsgálata volt, hogy kinyerhető-e az előzetes tudás a gépi tanulás módszereivel kizárólag

a vetületekből, mint a kép attribútumaiból. Döntési fák, neurális hálók, valamint legközelebbi szomszéd módszerek segítségével néhány egyszerűbb képosztály esetében elfogadható mértékű hibával sikerült megállapítani a vetületekből a kép konvexitási és összefüggőségi tulajdonságait, valamint a képen jelenlévő objektumok számát, továbbá az ábrázolt objektum területét. Mivel a vetületekből a tanulóalgoritmusokkal kinyert tudás bizonytalan, így kidolgoztunk egy olyan általános optimalizáláson alapuló rekonstrukciós keretrendszert is, mely képes kezelni ennek az információnak a bizonytalanságát [3,4]. Ezzel és a fenti eredménycsoporttal is kapcsolatos, hogy a gyakorlati alkalmazások során a hv-konvexitás nem mindig teljesen garantált. Ahhoz, hogy közel hv-konvex képeket rekonstruálhassunk, szükség van az optimalizálási eljárás során a bináris alakzat konvexitásának számszerű jellemzésére. Erre sikerült kidolgoznunk egy olyan módszert, melynek alkalmazásai nem csak a kutatott témakörben, de általánosan a diszkrét geometriában, és a digitális képelemzésben és szép reményekkel kecsegtetnek [13].

A kutatás másik fő iránya annak vizsgálata volt, hogy hogyan lehet a rekonstrukcióhoz használt vetületek számát csökkenteni a kép (jelentős) minőségromlása nélkül. Olyan algoritmusokat terveztünk, melyek segítségével kiválaszthatók a nagyobb információtartalommal bíró vetületek egy modellkép használatával [5], vagy akár anélkül is [6].

A DT során a képen megjelenő szürkeintenzitási értékeket (és azok számát) előzetesen ismertnek tételezzük fel. Ez a feltételezés azonban a gyakorlatban gyakran nem, vagy csak részben teljesül. Ennek hatását egy konkrét gyakorlati alkalmazáson, elmosódott képek optimális binarizálásán keresztül vizsgáltuk meg [14]. Általánosságban nem is ismert, hogy az intenzitások számát és értékét a gyakorlatban hogyan lehetne automatikusan meghatározni. Kísérletet tettünk arra, hogy tanulóalgoritmusokkal legalább a szürkeintenzitások számát meghatározzuk a vetületekből. A probléma nehézsége miatt egyelőre csak kezdeti eredményeink születtek [4]. Ugyanakkor magára a többértékű diszkrét rekonstrukciós feladatra, amely szintén sok kihívást jelentő problémakör, sikerült olyan optimalizáláson alapuló algoritmust kidolgoznunk, mely a korábbi módszerek alternatíváját jelentheti [7,18]. Ráadásul, ezen eljárás célfüggvényének ügyes lecserélésével sikerült egy olyan módszert is megadnunk, melynek segítségével a vetületek információtartalma nem csak globálisan mérhető, de megadható az is, hogy egy adott vetületelem melyik pixelt milyen mértékben határozza meg [8,17].

A kutatásba 1 graduális és 6 PhD hallgatót vontam be, egyikük időközben fokozatot is szerzett. Eredményeinkből 21 fontosabb publikációnk jelent meg, továbbá számos előadást tartottunk hazai és külföldi nemzetközi konferenciákon. A kutatási eredményeket felhasználtam a habilitációs tézisem összeállításához is [15], a fokozatot 2014-ben szereztem meg. A belga Vision Lab, University of Antwerp és a holland CWI Centrum Wiskunde & Informatica intézményekkel

sikerült a már meglévő kapcsolatainkat szorosabbra fűzni. 2013-tól vezetőbizottsági tagként csatlakoztam a "COST MP1207 - Fejlett röntgensugár alapú tomográfiás rekonstrukció: Kísérlet, modellezés és algoritmusok" című, jelenleg 21 európai ország részvételével zajló projekthez, melyben a rövid távú kutatócserék koordinálását is ellátom. Kutatási eredményeink egy része közvetlen gyakorlati felhasználásra került a "GOP-1.1.1-11-2012-0509 - Többirányú fáziskontraszt radioszkópia alapú 3D szkennelő berendezés fejlesztése gumiabroncs ipari alkalmazás céljára" projekt keretein belül, melyben egy gumiabroncsok tomográfiás vizsgálatára alkalmas berendezést terveztünk meg és a hozzá kapcsolódó szoftvermodulokat implementáltuk. A berendezés szabadalmi bejegyzése folyamatban van.

Fontosabb publikációk jegyzéke

1. Ozsvár Z; Balázs P: An empirical study of reconstructing hv-convex binary matrices from horizontal and vertical projections, ACTA CYBERNETICA 21 149-163 (2013)
2. Hantos N; Balázs P; Palágyi K: Binary image reconstruction from two projections and skeletal information, pp. 263-273 in R.P. Barneva et al. (Eds.): IWCIA 2012, LNCS 7655, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012
3. Tasi TS; Hegedűs M; Balázs P: Perimeter estimation of some discrete sets from horizontal and vertical projections, pp. 174-181 in Proceedings of the IASTED International Conference Signal Processing, Pattern Recognition and Applications, Crete, Jun 18-20, Acta Press, Calgary, 2012
4. Gara M; Tasi TS; Balázs P: Machine learning as a preprocessing phase in discrete tomography, pp 109-124 in U. Köthe, A. Montanvert, and P. Soille (Eds.): WADGMM 2010, LNCS 7346, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2012
5. Balázs P; Batenburg KJ: A central reconstruction based strategy for selecting projection angles in binary tomography, pp. 382-391 in A. Campilho and M. Kamel (Eds.): ICIAR 2012, Part I, LNCS 7324, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2012
6. Batenburg KJ; Palenstijn WJ; Balázs P; Sijbers J: Dynamic angle selection in binary tomography, COMPUTER VISION AND IMAGE UNDERSTANDING, 117(4) 306-318 (2013)
7. Varga L; Balázs P; Nagy A: An energy minimization reconstruction algorithm for multivalued discrete tomography, pp. 179-185 in Proceedings of the International Symposium CompIMAGE 2012, Rome, Sept 5-7, CRC Press, 2012
8. Varga L; Nyúl LG; Nagy A; Balázs P: Local uncertainty in binary tomographic reconstruction, In Proceedings of the 10th IASTED International Conference on Signal Processing, Pattern Recognition and Applications, Innsbruck, Feb 12-14, Acta Press, Calgary, 490-496, 2013
9. Balázs P: Complexity results for reconstructing binary images with disjoint components from horizontal and vertical projections, DISCRETE APPLIED MATHEMATICS (Elsevier) 161 2224-2235 (2013)
10. Hantos N; Balázs P: Reconstruction and enumeration of hv-convex polyominoes with given horizontal projection, pp. 100-107 in Sanniti di Baja G, Ruiz-Shulcloper J (Eds.): CIARP 2013, Part I, LNCS 8258, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2013

11. Hantos N; Balázs P: The reconstruction of polyominoes from horizontal and vertical projections and morphological skeleton is NP-complete, *FUNDAMENTA INFORMATICA* 125(3-4) 343-359, 2013
12. Hantos N; Balázs P: A uniqueness result for reconstructing hv-convex polyominoes from horizontal and vertical projections and morphological skeleton, pp. 788-793 in Ramponi G, Loncaric S, Carini A, Egiazarian K (Eds.): *ISPA 2013, Proceedings IEEE, EURASIP*, 2013
13. Tasi TS; Nyúl LG; Balázs P: Directional convexity measure for binary tomography, pp. 9-16 in Sanniti di Baja G, Ruiz-Shulcloper J (Eds.): *CIARP 2013, Part II, LNCS 8259*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2013
14. Németh J; Balázs P: Restoration of blurred binary images using discrete tomography, pp. 80-90 in Blanc-Talon J, Kasinski A, Philips W, Popescu D, Scheunders P (Eds.): *ACIVS 2013, LNCS 8192*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2013
15. Balázs P: Prior information, machine learning, and direction dependency in binary tomography, Szegedi Tudományegyetem, habilitációs tézis, 2013
16. Hantos N; Balázs P: Random generation of hv-convex polyominoes with given horizontal projection, *FUNDAMENTA INFORMATICA* (IOS Press) 135(1-2) 103-115 (2014)
17. Varga LG; Nyúl LG; Nagy A; Balázs P: Local and global uncertainty in binary tomographic reconstruction, *Computer Vision and Image Understanding* (Elsevier) 129 52-62 (2014)
18. Varga L; Balázs P; Nagy A: Discrete tomographic reconstruction via adaptive weighting of gradient descents, *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization* (Taylor & Francis), to appear (2014)
19. Hantos N; Iván Sz; Balázs P; Palágyi K: Binary image reconstruction from a small number of projections and the morphological skeleton, *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence* (Springer), to appear (2014), IF: 0.488*
20. Hantos N; Balázs P: Fast heuristics for eliminating switching components in binary matrices by 0-1 flips, 19th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition, Puerto Vallarta, Mexico, November 2014, *Proceedings, Lecture Notes in Computer Science* (Springer) 8827 62-69 (2014)
21. Hantos N; Balázs P: A fast algorithm for reconstructing hv-convex binary images from their horizontal projection, 10th International Symposium on Visual Computing, Las Vegas, USA, December 2014, *Proceedings, Lecture Notes in Computer Science* (Springer) 8888 789-798 (2014)