

PORAVNAVA MEDICINSKIH SLIK

Peter Rogelj, Stanislav Kovačič

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
E-pošta: peter.rogelj@fe.uni-lj.si, stanek@fe.uni-lj.si
URL: <http://vision.fe.uni-lj.si>

POVZETEK: *Poravnava medicinskih slik je zaradi hitrega razvoja postopkov zajemanja slik in računalniške tehnologije ter porasta številnih obolenj predmet intenzivnih raziskav širom po svetu. Nova dognanja na tem področju prispevajo k napredku pri odkrivanju in razumevanju bolezenskih stanj, načrtovanju terapij in kirurških posegov, sledenju učinkovitosti zdravljenja ter splošnemu napredku preiskav na osnovi medicinskih slik. Raziskave in razvoj postopkov poravnave slik že vrsto let aktivno potekajo tudi v Sloveniji, čeprav sodelovanje z medicinsko stroko, ki bi omogočilo prenos v prakso, pri nas še ni zaživelo. V tem prispevku je predstavljena osovna ideja poravnave slik ter osnovni načini njene uporabe v medicini.*

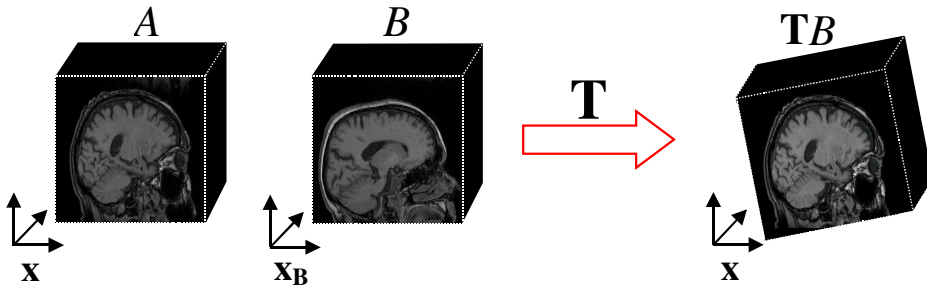
1. UVOD

Poravnava ali registracija slik je postopek, ki temelji na ugotavljanju medsebojne geometrijske odvisnosti dveh ali več slik, z namenom pridobiti medicinsko pomembne informacije o stanju in dogajanju v telesu. Dodatne informacije, pridobljene na ta način, lahko olajšajo in izboljšajo medicinsko diagnostiko in postopke zdravljenja ter prispevajo k boljšemu razumevanju poteka bolezni, delovanja organov in podobno.

Rezultat poravnave slik je geometrijska transformacija ene ali več slik, s katero želimo doseči, da se iste anatomske strukture na vseh slikah nahajajo na istem mestu, kljub morebitnim razlikam v legi pacienta, postopku zajemanja slik, delovanju organov, patologijam in podobno, glej sliko 1. Poravnane slike lahko zato enostavno primerjamo, združujemo njihovo informacijsko vsebino ter jih analiziramo, prav tako pa lahko analiziramo tudi geometrijsko soodvisnost med slikami. Vse to prispeva k natančnosti, podrobnosti in preglednosti raziskav ter omogoča vpogled v nove razsežnosti dogajanja v telesu.

2. UPORABA POSTOPKOV PORAVNAVE SLIK

Postopke poravnave slik lahko uporabljamo v različne namene. Poravnavamo lahko namreč različne vrste slik, ki so lahko zajete v različnem času, z različnim slikovnim



Slika 1: Ilustracija poravnave slik. Rezultat poravnave je geometrijska preslikava T , ki prostor ene slike (x_B) optimalno preslika v prostor referenčne slike (x). S tem se doseže istoležnost anatomskih struktur na obeh/vseh slikah.

postopkom, lahko pa celo pripadajo različnim osebam. Glede na to, ali so slike zajete z istim, ali različnimi slikovnimi postopki, govorimo o enomodalni ali o večmodalni poravnavi. Glede na potrebe lahko geometrijsko soodvisnost med slikami iščemo bolj ali manj detaljno, odvisno od dejanskih lastnosti slikane anatomije. V tem smislu sta skrajni vrsti toga in netoga (tudi elastična) poravnava. Pri togi poravnavi nas zanima le medsebojni premik in zasuk slik, pri netogi pa tudi vse lokalne razlike med slikami.

Geometrijsko soodvisnost med slikami, ki je rezultat poravnave, lahko uporabimo za analizo slikovnih odvisnosti, analizo geometrijske odvisnosti ali za segmentacijo slik.

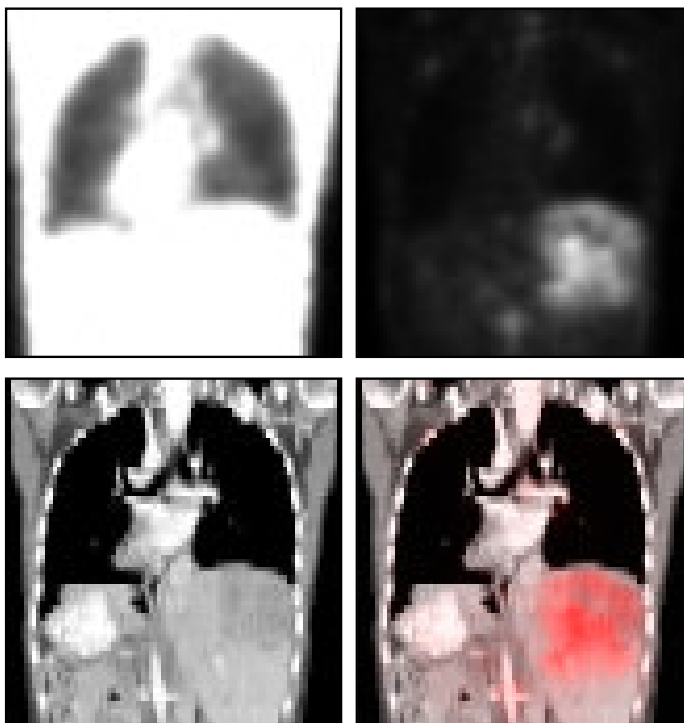
2.1 Analiza slikovne odvisnosti

Z analizo odvisnosti slikovne informacije lahko analiziramo razlike med slikami in združujemo informacijsko vsebino večih slik.

Razlike med slikami pogosto iščemo pri poravnavi slik iste modalnosti (slike zajete z enakim slikovnim postopkom), ko nas zanimajo časovne spremembe v anatomiji, kar je lahko povezano s spremljanjem poteka bolezni, zdravljenja ali z ugotavljanjem delovanja organov. Zaznati je mogoče že zelo majhne slikovne razlike, kakršne so posledica šibkih lokalnih pojavov in jih z običajnim primerjanjem slik ne moremo zaznati.

Združevanje informacijske vsebine slik na osnovi analize slikovne soodvisnosti je pomembno predvsem pri večmodalni poravnavi, to je takrat, ko so slike zajete z različnimi slikovnimi postopki in nudijo komplementarne informacije o slikani anatomiji. Na ta način lahko združujemo informacijo zelo različnih slik, na primer informacijo o anatomiji, pridobljeno z računalniško tomografijo (CT) ali magnetno resonančnim slikanjem (MRI), lahko združimo z informacijo o aktivnosti telesa, pridobljeno na primer s pozitronsko emisijsko tomografijo (PET). S tem omogočimo nove načine vpogleda v telo saj pridobimo dodatno informacijo o medsebojni odvisnosti slikovnih informacij. V omenjenem primeru združevanja anatomske in funkcionalne informacije pridobimo

informacijo o intenzivnosti dogajanja v anatomskih strukturah, s čimer lahko na primer natančno lociramo položaj rakastih tvorb, glej sliko 2.



Slika 2: Primer poravnave anatomskih in funkcionalnih slik prsnega koša. Funkcionalna slika PET-em (zgoraj desno) je s pomočjo PET-tr slike (zgoraj levo) poravnana z anatomsko CT sliko (spodaj levo). Rezultat omogoča vpogled v aktivnost anatomskih struktur (spodaj desno), kjer je stopnja aktivnosti prikazana z redečo barvo.

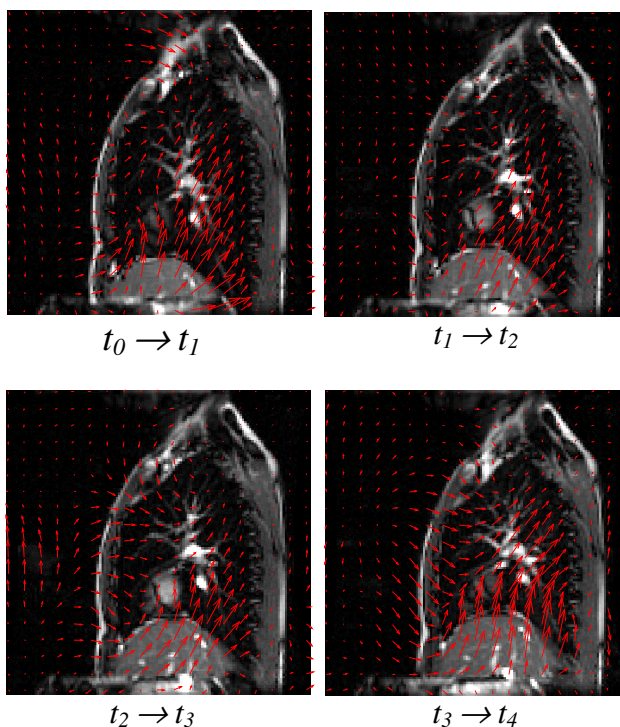
2.2 Analiza geometrijske odvisnosti

Z analizo transformacij, ki so rezultat poravnave slik, lahko ugotavljamo geometrijske razlike oziroma spremembe tkiv. Tipičen primer je ugotavljanje delovanja organov, kjer lahko sledimo in analiziramo gibanje organov. Primer na sliki 3 prikazuje analizo dihanja. Geometrijske spremembe so lahko tudi posledica patologij, medicinskih posegov, pa tudi elastičnosti tkiv ter lege pacienta med slikanjem.

2.2 Segmentacija slik

S postopki poravnave lahko slike tudi segmentiramo. To naredimo s poravnavo obravnavane slike in modela anatomije. Model anatomije je v tem primeru slika tipične

anatomije, ki ima slikovni informaciji dodane še podatke o njeni segmentaciji, naprimer značilne anatomske točke, področja pomembnih tkiv, robove pomembnih struktur in podobno. S poravnavo modela na sliko dosežemo, da se anatomske strukture modela prilegajo strukturam na obravnavani sliki, zaradi poznavanja podatkov o segmentaciji modala pa s tem segmentiramo tudi obravnavano sliko.



Slika 3: Aanaliza gibanja pri dihanju. Puščice prikazujejo premik točk, rekonstruiran s poravnavo zaporednih slik časovnega zaporedja.

3. PORAVNAVA SLIK V SLOVENIJI

V Sloveniji delujemo na področju poravnave medicinskih slik že vrsto let. Prva praktična aplikacija za netogo poravo CT slik je bila objavljena že leta 1989 [1]. Kasneje je bilo razvitih vrsta novih postopkov in izboljšav, z njihovimi objavami v vrhunskih znanstvenih revijah, s sodelovanjem na znanstvenih konferencah ter njihovo organizacijo [2] pa aktivno sodelujemo pri razvoja tega področja. Pri svojem delu sodelujemo z raziskovalnimi skupinami na tujih univerzah, ki so pogosto povezane z (univerzitetnimi) bolnišnicami. Na ta način pridobimo tudi večino realnih podatkov ter pomoč pri vrednotenju razvitih postopkov na realnih primerih.

3.1 Vizija nadaljnega razvoja

Poravnava slik v medicini je čedalje bolj aktualna in uporabljana za zelo različne aplikacije. V Skupini za strojni vid Laboratorija za slikovne tehnologije Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani se posvečamo predvsem temeljnim raziskavam perečih problemov poravnave slik, s poudarkom na večmodalni netogi poravnavi slik. Večmodalna netoga poravnava je ena najzahtevnejših poravnav, ki omogoča rekonstrukcijo detajlnih geometrijskih razlik med slikami tudi v primeru, če so te zajete z različnimi postopki. Slike različnih modalnosti namreč predstavljajo komplementarno informacijo o anatomiji in imajo zato neizrazito ter pogosto vnaprej nepoznano medsebojno odvisnost. Naš prispevek na tem področju obsega vrsto novih postopkov, med katerimi bi posebej izpostavili točkovne mere podobnosti [3], ki omogočajo detajlno lokalno vrednotenje poravnivosti večmodalnih slik, ter postopek simetrične poravnave [4], s katerim smo izboljšali pravilnost in konsistenco netoge poravnave. Delo nadaljujemo predvsem v smeri razvoja netogih poravnav, ki bi samodejno zaznale različne tipe slikanih tkiv in upoštevale njihove dejanske deformabilne lastnosti.

Nove metode, ki smo jih razvili za večmodalno netogo poravnavo slik, lahko s pridom uporabimo tudi za enostavnejše, to je toge in enomodalne poravnave. Tudi v teh primerih lahko prispevajo k končni kvaliteti poravnav, to je pravilnosti poravnav in njihovi konsistenci. To smo pokazali tudi v okviru mednarodnega projekta »The retrospective image registration evaluation project« [5,6], kjer smo rezultate naših postopkov primerjali z rezultati drugih raziskovalnih skupin.

V našem nadaljnjem delu se želimo v večji meri posvetiti tudi raziskavam, ki zadevajo praktično uporabo razvitih metod. Raziskati želimo področja eventualne uporabe, raziskati in razviti potrebne prilagoditve eventualnim končnim aplikacijam, se posvetiti vrednotenju postopkov na realnih problemih ter raziskati probleme uvajanja tehnologije v praktično uporabo. Ker je to možno le s sodelovanjem s strokovnjaki z medicinskega področja, si prizadevamo vzpostaviti tudi sodelovanje s slovenskimi zdravstvenimi institucijami.

V Sloveniji sodelovanje med področjem obdelave medicinskih slik in medicinskim področjem še ni zaživelo. V prihodnje ga želimo vzpostaviti, kajti po naših dosedanjih opažanjih se tudi v Sloveniji soočamo z najrazličnimi medicinskimi problemi, kjer bi prednosti poravnave slik lahko koristno izrabili. Področje slikovnih poravnav želimo predstaviti širšim krogom na področju medicine, predstavitve pa podkrepiti z demonstracijami postopkov na preprostejših primerih, ki izhajajo iz praktičnih problemov.

4. ZAKLJUČEK

Področje obdelave medicinskih slik je v svetu zaradi velikih potreb in razvoja medicine v hitrem porastu. V Sloveniji smo na tem področju dobro zastopani, kar dokazujemo tudi z objavami v vodilnih znanstvenih revijah. Intenzivne raziskave novih postopkov nameravamo nadaljevati tudi v prihodnje, s tem pa še okrepiti našo razpoznavnost v

svetovnih znanstvenih krogih ter uspešno izpolnjevanju univerzitetno poslanstvo. Poleg tega želimo rezultate našega dela približati potrebam praktičnih aplikacij.

Ker poravnava slik ni vezana le na medicinske slike, naj za konec omenimo še druga področja uporabe. Poravnava slik se namreč lahko uporablja povsod, kjer je pomembna medsebojna slikovna ali geometrijska odvisnost več slikovnih meritev. Različne modalnosti v teh primerih lahko predstavljajo slike vidnega spektra v različnih valovnih dolžinah, slike infrardečega spektra, termovizijske slike in podobno.

LITERATURA

1. R. Bajcsy, S. Kovačič. "Multiresolution Elastic Matching". *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 46: 1-21, April 1989.
2. F. Pernus. "Biomedical Image Registration : proceedings". *International Workshop on Biomedical Image Registration - WBIR 1999, Aug, Bled, Slovenia*, 24-45, 1999.
3. P. Rogelj, S. Kovačič, J.C. Gee. "Point similarity measures for non-rigid registration of multi-modal data". *Computer Vision and Image Understanding*, 92(1): 112-140, October 2003.
4. P. Rogelj, S. Kovačič. "Symmetric Image Registration". *Medical Image Analysis, (Article in Press)*, 2006.
5. "The Retrospective Image Registration Evaluation Project", Vanderbilt university. <http://www.vuse.vanderbilt.edu/~image/registration/>, [Accessed: Jan.12, 2006].
6. P. Rogelj, S. Kovačič. "Rigid multi-modality registration of medical images using point similarity measures". In: O. Drbohlav (ed.), *Proceedings of the 8th Computer Vision Winter Workshop CVWW'03*, pp.159-163. February 2003.