

Postopek za poravnavo medicinskih slik z B-zlepki v grafičnem razvojnem okolju (Projektna naloga)

Matjaž Šuber

Univerza na Primorskem
Fakulteta za matematiko, naravoslovje in
informatične tehnologije

- Poravnava medicinskih slik
- Namen projektne naloge
- Postopek za poravnavo medicinskih slik z B-zlepki
 - Geometrijska transformacija
 - Globalna geometrijska poravnava
 - Lokalna geometrijska poravnava
 - Komponente in vmesniki
- Integracija v grafično razvojno okolje
 - REG podatkovna struktura
 - REG-API programski vmesnik
- Testiranje
- Rezultati
- Vprašanja

- Poravnava ali registracija medicinskih slik je **postopek iskanja optimalne geometrijske transformacije**, ki preslika prostor ene slike v prostor druge slike, tako da doseže optimalno prostorsko skladnost anatomskih stuktur.
- Geometrijske transformacije:
 - *Toge*: rotacije, premiki
 - *Netoge*: deformacije
- Uporablja se:
 - Odkrivanje in diagnozo bolezni,
 - načrtovanje terapij,
 - vodenje medicinskih posegov,
 - spremljanje zdravljenja bolnikov,
 - ...

- **Postopek za poravnavo medicinskih slik z B-zlepki.**
- Uporabiti *grafično razvojno okolje*, ki je bilo implementirano v raziskavi z naslovom "*A development environment for medical image registration procedures*".
- *Glavni problem* poravnave z B-zlepki je časovna kompleksnost, ki nastopi zaradi optimizacije velikega števila parametrov (mreže kontrolnih točk).
- **CILJ:** implementirati postopek, ki bo s pomočjo grafičnega razvojnega okolja omogočal netogo poravnavo medicinskih slik z B-zlepki v *doglednem času*.

Postopek za poravnavo medicinskih slik z B-zlepki

Osnovne komponente

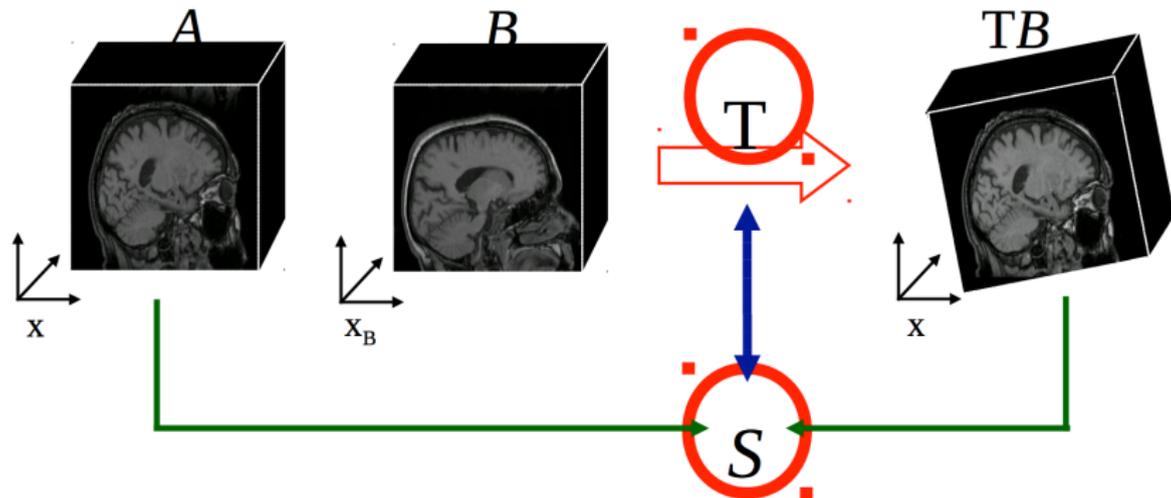


Figure: Referenčna slika A , poravnavana slika B , poravnana slika TB , geometrijska transformacija T , mera podobnosti S (<https://e.famnit.upr.si/course/view.php?id=1346>)

Postopek za poravnavo medicinskih slik z B-zlepki

Geometrijska transformacija

- **Namen:** določiti relacijo med slikovnimi elementi referenčne in poravnane slike.
- Za par slik A in B je geometrijska transformacija določena z preslikavo T , ki vsako točko x slike A preslika v ustrezno anatomsko lokacijo $T(x)$ na sliki B .
- Predlagani postopek sestoji iz **toge-globalne** in **netoge-lokalne** (B-zlepki) geometrijske transformacije.
- $T(x, y, z) = T_{local}(T_{global}(x, y, z))$

Postopek za poravnavo medicinskih slik z B-zlepki

Globalna geometrijska transformacija

- Omogoča modeliranje toge transformacije slik (rotacije, premike).
- Določena je z 6 prostostnimi stopnjami, ki opisujejo premik, rotacijo in skaliranje objekta na sliki.
- $T_{global}(x, y, z) = t(t_x, t_y, t_z) * R(\alpha, \beta, \gamma) * (x, y, z)$
- *Optimizacija*:
 - NLOpt - prosto dostopna knjižnica za nelinearno optimizacijo (integrirana v grafičnem razvojnem okolju).
 - **COBYLA** - "*Direct search algorithms for optimization calculations*", avtorja M. J. D. Powell.

Postopek za poravnavo medicinskih slik z B-zlepki

Lokalna geometrijska transformacija 1/4

- Postopek temelji na raziskavi "*Nonrigid Registration Using Free-Form Deformations: Application to Breast MR Images*", avtorjev D. Rueckert, L. I. Sonoda, C. Hayes, D. L. G. Hill, M. O. Leach, D. J. Hawkes.
- Uporablja netogi matematični model in **B-zlepke**.
- Deformira objekte z manipulacijo pripadajoče **mreže kontrolnih točk**.
- Izvedba je bila realizirana s pomočjo *zbirke nizko nivojskih funkcij*, ki smo jo pridobili v okviru raziskave in je prosto dostopna na spletu pod nazivom "*B-spline Grid, Image and Point based Registration*", avtorja Dirk-Jan Kroon.

Postopek za poravnavo medicinskih slik z B-zlepki

Lokalna geometrijska transformacija 2/4

- Domena slike:

$$\Omega = \{(x, y, z) | 0 \leq x < X, 0 \leq y < Y, 0 \leq z < Z\}$$

- $T_{local}(x, y, z) = \sum_{l=0}^3 \sum_{m=0}^3 \sum_{n=0}^3 B_l(u) B_m(v) B_n(w) \phi_{i+l, j+m, k+n}$,

- kjer je $i = \lfloor x/n_x \rfloor - 1$, $j = \lfloor y/n_y \rfloor - 1$, $k = \lfloor z/n_z \rfloor - 1$,
 $u = x/n_x - \lfloor x/n_x \rfloor$, $v = y/n_y - \lfloor y/n_y \rfloor$, $w = z/n_z - \lfloor z/n_z \rfloor$

- B_l predstavlja l -to osnovno funkcijo B-zlepka:

$$B_0(u) = (1 - u)^3/6$$

$$B_1(u) = (3u^3 - 6u^2 + 4)/6$$

$$B_2(u) = (-3u^3 + 3u^2 + 3u + 1)/6$$

$$B_3(u) = u^3/6$$

- *Optimizacija:*

- NLOpt - prosto dostopna knjižnica za nelinearno optimizacijo (integrirana v grafičnem razvojnem okolju).
- Gradientni optimizacijski algoritem **Limited memory BFGS** - "*On the limited memory BFGS method for large scale optimization*", avtorjev D. C. Liu, J. Nocedal.
- Cilj: **minimizirati kriterijsko funkcijo**.

```
% NLOpt configuration files
path(path, '/Applications/MATLAB_R2014a.app/NLOpt');

% set NLOpt opt structure
opt.algorithm = NLOPT_LD_LBFGS; % Low-storage BFGS
opt.min_objective = @(x) bspline_registration_gradient(x, sizes, Spacing, I1, I2);
opt.vector_storage=15;
opt.xtol_rel = 1e-4;
opt.verbose = 1;

% execute NLOpt optimization
[O_grid] = nlopt_optimize(opt, O_grid);
```

Figure: Primer uporave NLOpt programske knjižnice, za uporabo "Limited memory BFGS" optimizacijskega algoritma

- *Kriterijska funkcija:*
 - Vhodni parametri: A, B
 - Izhodni parametri: $O_error(A, TB), O_grad$
 - Parametri optimizacije: O_grid
- *Gradient:*
 - V vsaki iteraciji optimizacijskega postopka, vsako kontrolno točko ločeno premaknemo v x, y, z smeri za določen korak μ in izračunamo netogo transformacijo TB' .
 - Izračunamo: $O_error(A, TB')$.
 - $O_error(A, TB')$ odštejemo z $O_error(A, TB)$, ter delimo s korakom μ .
 - Izračunana vrednost nam določa smer gradienta obravnavane kontrolne točke.
 - Gradient O_grad je določen kot vektor smeri vseh kontrolnih točk.

Postopek za poravnavo medicinskih slik z B-zlepki

Komponente in vmesniki

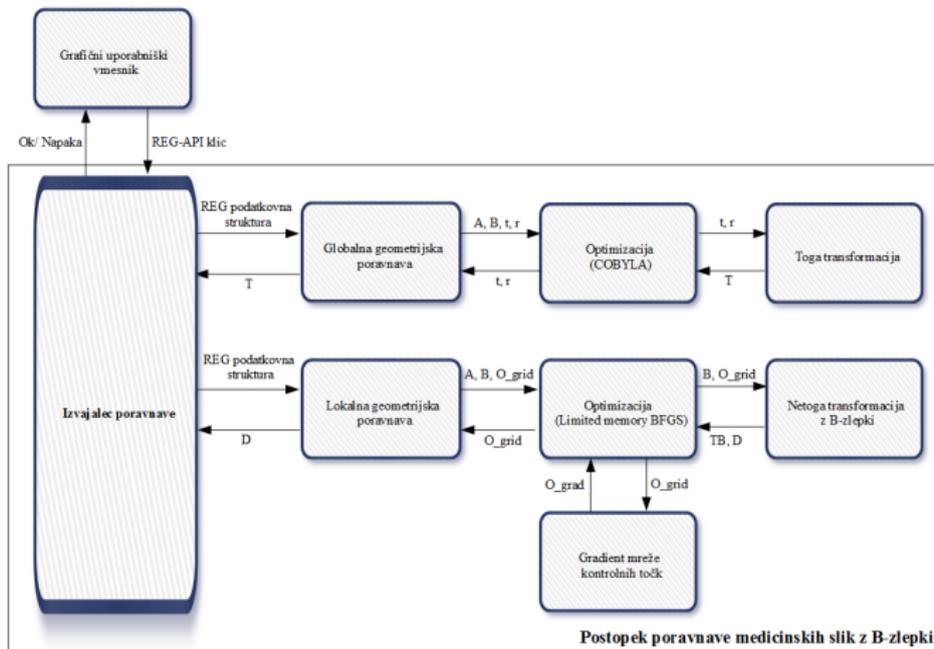


Figure: Komponente in vmesniki postopka poravnave medicinskih slik z B-zlepki

- Grafično razvojno okolje poenostavi in pospeši implementacijo različnih postopkov poravnave medicinskih slik.
- Omogoča uporabo dobro definirane podatkovne strukture, grafičnega uporabniškega vmesnika in programske orodjarne "REG Toolbox".
- V namen uporabe grafičnega razvojnega okolja za implementacijo postopka poravnave medicinskih slik z B-zlepki, smo izpolniti naslednje funkcionalne zahteve
 - REG podatkovna struktura
 - REG-API programski vmesnik

- Določa standardiziran način manipulacije medicinskih slik v različnih postopkih poravnave.
- Organizirana je v obliki polja, kjer elementi določajo medicinsko sliko in pripadajoče metapodatke.
- Lastnosti REG podatkovne strukture:
 - **RefIdx**: indeks slike v polju, ki določa referenčno sliko;
 - **MovIdx**: indeks slike v polje, ki določa poravnavano sliko;
 - **Img**: polje slik;
 - **Img[i]**: struktura, ki določa sliko na i-tem mestu;
 - **Img[i].voxelSize**: velikost voksla i-te slike v polju;
 - **Img[i].data**: podatki slike na i-tem mestu, ki se uporabljajo v postopku poravnave slik in so pretvorjeni v uint8 format (pretvorba določa kompromis med zahtevano slikovno resolucijo in signifikanco rezultatov poravnave slik);
 - ...;

- Omogoča enostavno uporabo, testiranje in dodajanje novih postopkov poravnave slik v grafičnem razvojnem okolju.
- Implementiran je kot bralec datotek v imeniku "external", ki se nahaja znotraj grafičnega razvojnega okolja.
- REG-API razpozna datoteke v imeniku "external" na podlagi naslednjih lastnosti:
 - Datoteka mora imeti Matlab končnico (.m),
 - datoteka mora imeti enolično ime,
 - v imeniku "external" obstaja natanko ena datoteka za postopek poravnave (v kolikor implementacija postopka zahteva več datotek, morajo biti te shranjene v pod-imeniku).

- Postopek za poravnavo medicinskih slik smo testirali v **grafičnem razvojnem okolju**.
- Medicinske slike smo pridobili iz **BrainWeb** spletne baze.
- *Referenčna slika*:
 - MRI slika možganov, velikosti 181x217x6 in 1mm debeline.
- *Poravnavana slika*:
 - Pridobljena iz referenčne slike z apliciranjem toge in netoge transformacije.
 - *Toga*: rotacija za 20 stopinj po z osi.
 - *Netoga*: manipulacija mreže kontrolnih točk (točke na območju [2:7,2:7;1:5;:] smo premaknili za 2mm).

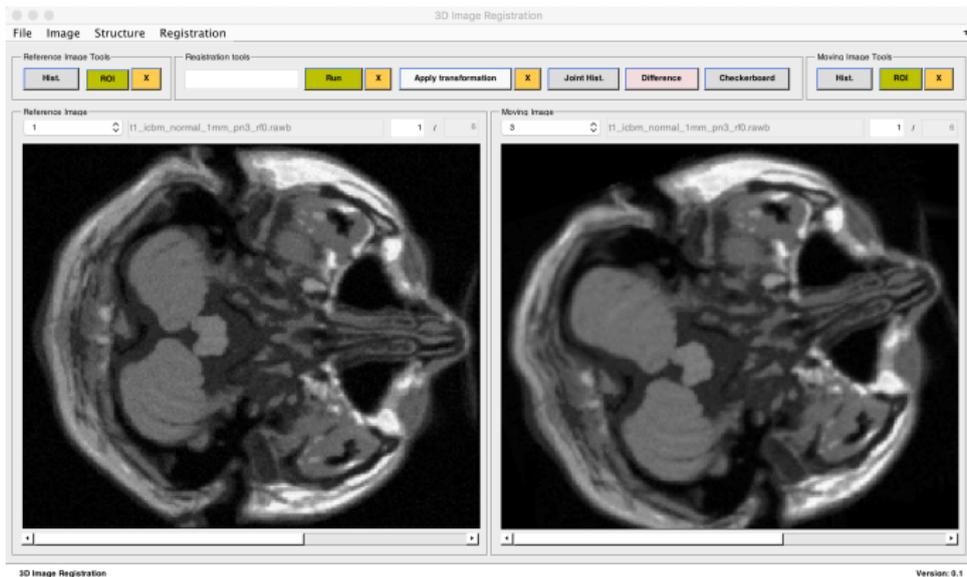


Figure: Prikaz MRI slik pred poravnavo (1 rezina)

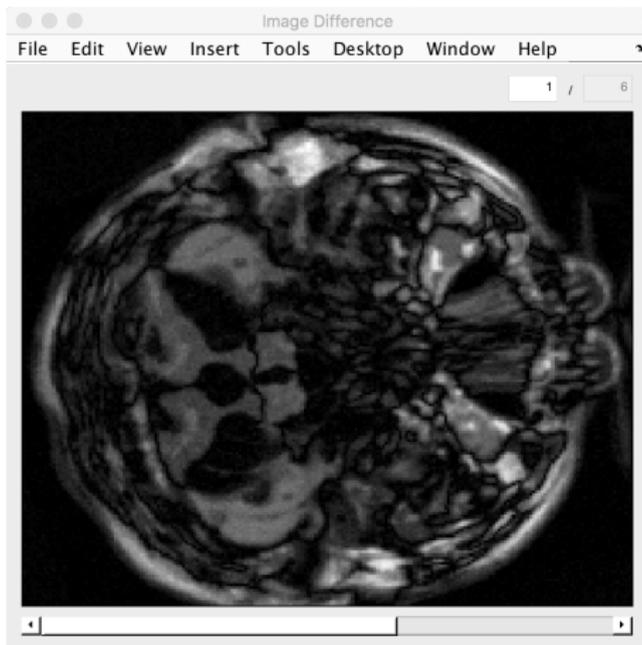


Figure: Prikaz absolutne razlike MRI slik pred poravnavo (1 rezina)

Testiranje 4/9

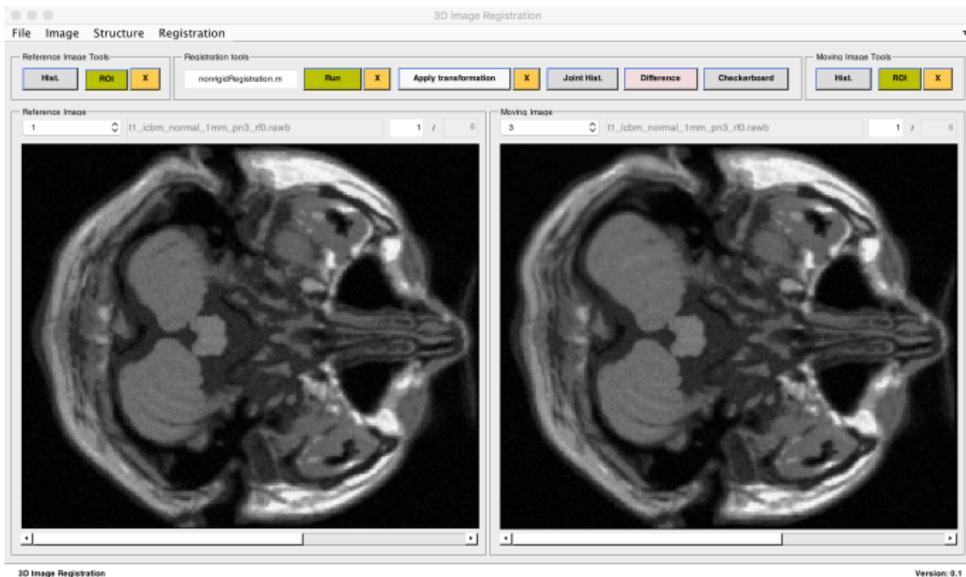


Figure: Prikaz MRI slik po togi-globalni poravnavi (1 rezina)

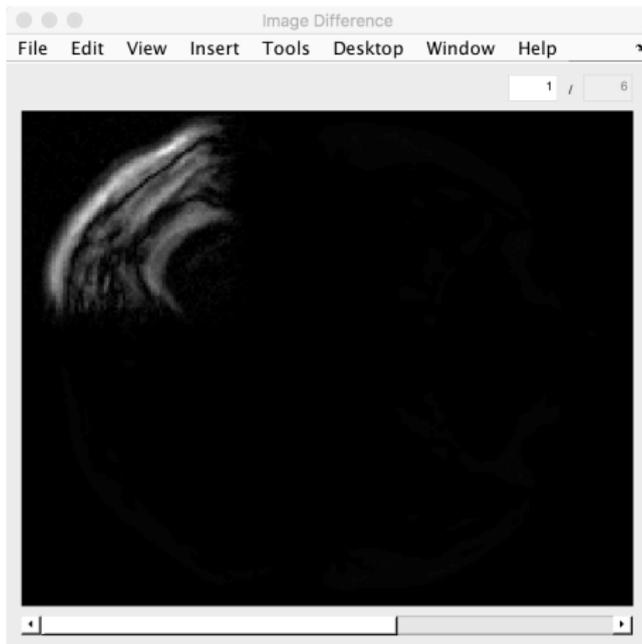


Figure: Prikaz absolutne razlike MRI slik po togi-globalni poravnavi (1 rezina)

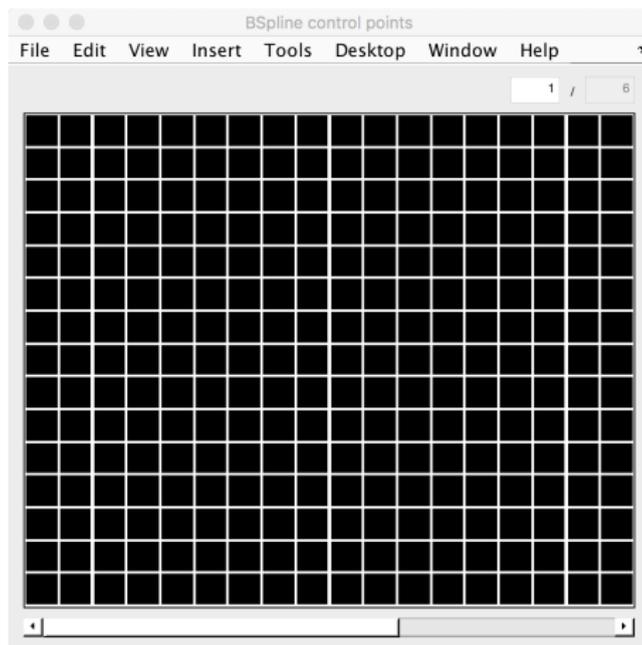


Figure: Prikaz mreže kontrolnih točk pred netogo-lokalno poravnavo (1 rezina)

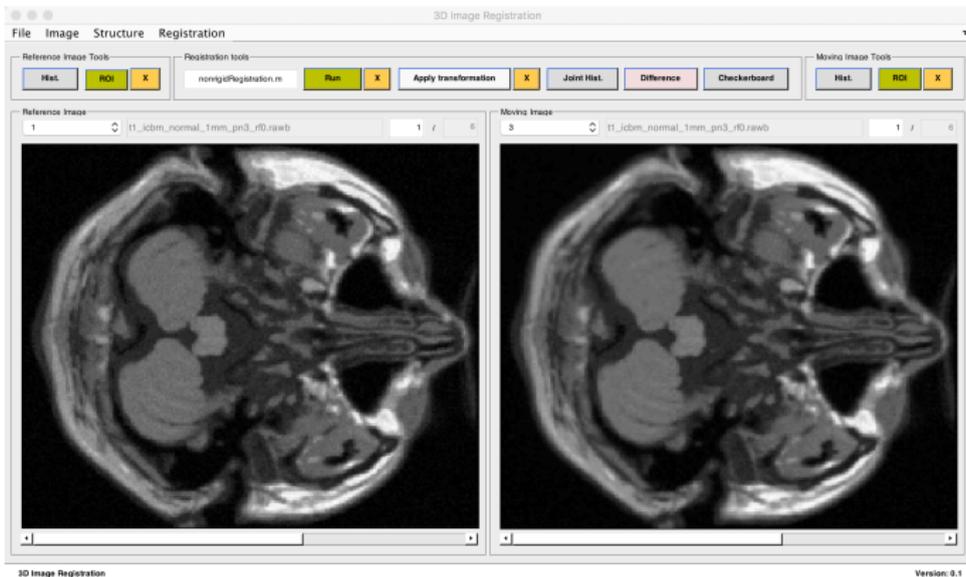


Figure: Prikaz MRI slik po togi-lokalni poravnavi (1 rezina)

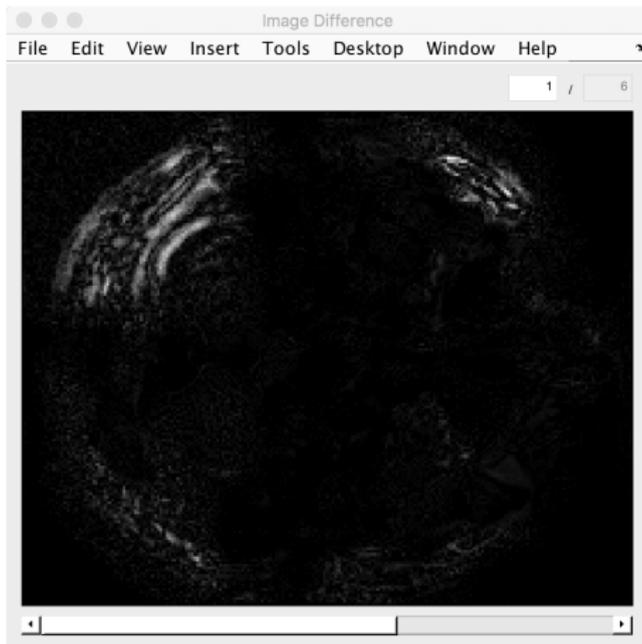


Figure: Prikaz absolutne razlike MRI slik po togi-lokalni poravnavi (1 rezina)

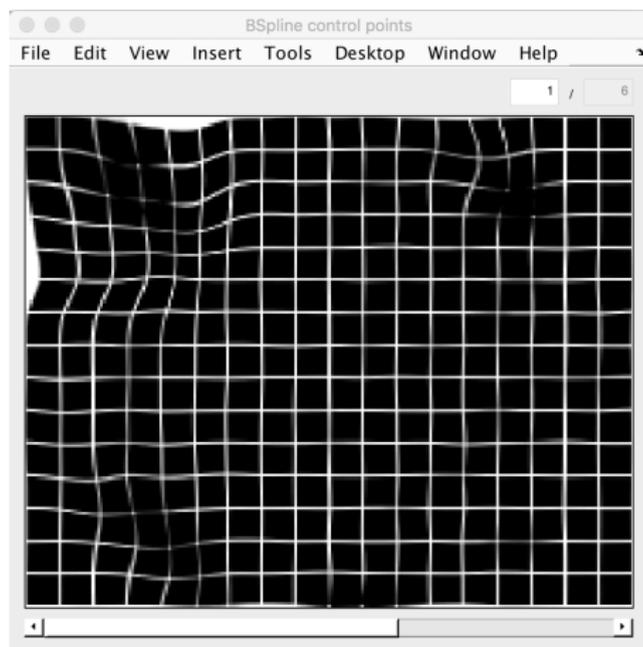


Figure: Prikaz mreže kontrolnih točk po togi-lokalni poravnavi (1 rezina)

- Za *togo-globalno* poravnavo je postopek potreboval **35 sekund** in opravil **300** iteracij optimizacije.

	MAD mera podobnosti
Pred poravnavo	222,769
Po poravnavi	33,7837

Table: MAD mera podobnosti pred in po poravnavi

- Za *netogo-lokalno* poravnavo je postopek potreboval **15 min** in opravil **204** iteracij optimizacije.

	MAD mera podobnosti
Pred poravnavo	34,3886
Po poravnavi	12,9723

Table: MAD mera podobnosti pred in po poravnavi

- Rezultati kažejo na povečanje podobnosti anatomskih struktur slik po poravnavi in dokazujejo pravilnost delovanja postopka poravnave medicinskih slik z B-zlepki.
- *Možne izboljšave:*
 - Izboljšati algoritem kriterijske funkcije, za bolj učinkovito zaznavanje/odpravljanje lokalnih minimumov/maksimumov.
 - Pohitriti računanje gradienta mreže kontrolnih točk z vpeljavo točkovnih mer podobnosti.

Vprašanja?