



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Ηλεκτρονικής και Υπολογιστών

Κατάτμηση MRI εικόνων γονάτου με χρήση τεχνικών αραιής αναπαράστασης

Κωστινούδης Ευάγγελος

Επιβλέποντες:

Καθηγητής: Θεοχάρης Ιωάννης

Υποψήφιος Διδάκτορας: Χαδουλός Χρήστος

Απρίλιος 2021



- 1 Εισαγωγή**
- 2 Μεθοδολογία**
- 3 Πειράματα και αποτελέσματα**
- 4 Σύγκριση μεθόδων**
- 5 Ερωτήσεις**



Κατάτμηση (Segmentation)

Η κατάτμηση είναι η διαδικασία διαμέρισης μίας εικόνας σε διάφορα ουσιαστικά τμήματα. Σκοπός της κατάτμησης είναι η απλοποίηση ή/και η αλλαγή της αναπαράστασης της εικόνας σε κάτι που είναι πιο σημασιολογικά σημαντικό και είναι πιο εύκολο να αναλυθεί.



Κατάτμηση (Segmentation)

Η κατάτμηση είναι η διαδικασία διαμέρισης μίας εικόνας σε διάφορα ουσιαστικά τμήματα. Σκοπός της κατάτμησης είναι η απλοποίηση ή/και η αλλαγή της αναπαράστασης της εικόνας σε κάτι που είναι πιο σημασιολογικά σημαντικό και είναι πιο εύκολο να αναλυθεί.

Κατάτμηση βάση ατλάντων

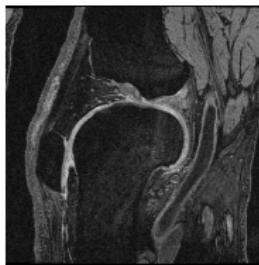
Η κατάτμηση απεικονίσεων βάση ατλάντων αποτελεί την διαδικασία κατά την οποία χρησιμοποιούνται απεικονίσεις που έχουν κατανεμηθεί από κάποιον ειδικό, ούτως ώστε να επιτευχθεί η κατάτμηση της νέας απεικόνισης.



Αντικείμενο της διπλωματικής

Αντικείμενο διπλωματικής

Στην διπλωματική εργασία εφαρμόστηκαν μέθοδοι κατάτμησης ιατρικών απεικονίσεων βάση ατλάντων με χρήση μηχανικής μάθησης. Οι απεικονίσεις αφορούν μαγνητικές τομογραφίες σε γόνατα και οι περιοχές κατάτμησης αποτελούνται από τους αρθρικούς χόνδρους και τα οστά. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από το Osteoarthritis Initiative Zuse Institute Berlin (OAI ZIB).



(I) Απεικόνιση



(II) Ετικέτες

Σχήμα: Απεικόνιση και οι αντίστοιχες ετικέτες.

Σύνοψη της διαδικασίας της κατάτμησης



- I Προεπεξεργασίας δεδομένων. Σκοπός της προεπεξεργασίας είναι να παραχθεί μία νέα απεικόνιση που θα έχει καλύτερα αποτελέσματα στην μάθηση από αυτά της αρχικής.



Σύνοψη της διαδικασίας της κατάτμησης

- 1** Προεπεξεργασίας δεδομένων. Σκοπός της προεπεξεργασίας είναι να παραχθεί μία νέα απεικόνιση που θα έχει καλύτερα αποτελέσματα στην μάθηση από αυτά της αρχικής.
- 2** Καταχώρηση (registration) ατλάντων. Η διαδικασία μετασχηματισμού διαφορετικών δεδομένων σε ένα σύστημα συντεταγμένων. Η διαδικασία αυτή επιδιώκει μέσω του μετασχηματισμού αυτού, την επικάλυψη των κοινών χαρακτηριστικών των δεδομένων.



Σύνοψη της διαδικασίας της κατάτμησης

- 1 Προεπεξεργασίας δεδομένων. Σκοπός της προεπεξεργασίας είναι να παραχθεί μία νέα απεικόνιση που θα έχει καλύτερα αποτελέσματα στην μάθηση από αυτά της αρχικής.
- 2 Καταχώρηση (registration) ατλάντων. Η διαδικασία μετασχηματισμού διαφορετικών δεδομένων σε ένα σύστημα συντεταγμένων. Η διαδικασία αυτή επιδιώκει μέσω του μετασχηματισμού αυτού, την επικάλυψη των κοινών χαρακτηριστικών των δεδομένων.
- 3 Επιλογή ατλάντων για την κατάτμηση.

Σύνοψη της διαδικασίας της κατάτμησης



- 1** Προεπεξεργασίας δεδομένων. Σκοπός της προεπεξεργασίας είναι να παραχθεί μία νέα απεικόνιση που θα έχει καλύτερα αποτελέσματα στην μάθηση από αυτά της αρχικής.
- 2** Καταχώρηση (registration) ατλάντων. Η διαδικασία μετασχηματισμού διαφορετικών δεδομένων σε ένα σύστημα συντεταγμένων. Η διαδικασία αυτή επιδιώκει μέσω του μετασχηματισμού αυτού, την επικάλυψη των κοινών χαρακτηριστικών των δεδομένων.
- 3** Επιλογή ατλάντων για την κατάτμηση.
- 4** Κατάτμηση.

Προεπεξεργασία δεδομένων

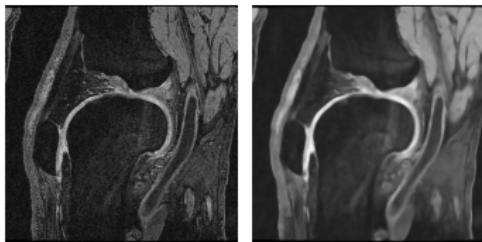
Απαλοιφή θορύβου απεικόνισης μέσω ροής της καμπυλότητας
(curvature flow)



Οι ισοστάθμισες καμπύλες (καμπύλες που σχηματίζονται από τα εικονοστοιχεία που έχουν την ίδια φωτεινότητα) εξελίσσονται μέσω της μερικής διαφορικής εξίσωσης:

$$I_t = \kappa |\nabla I| \text{ όπου } \kappa = \frac{\|\gamma' \times \gamma''\|}{\|\gamma'\|^3}$$

Χρησιμοποιείται η τιμή $t = 0.04$ και επαναλαμβάνεται 10 φορές.

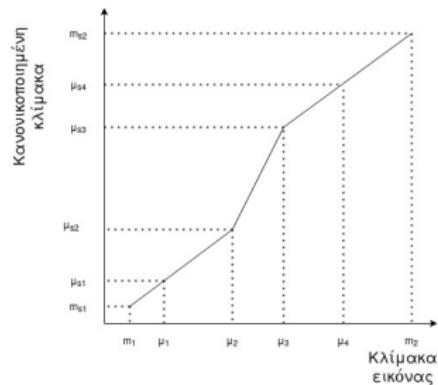


(I) Αρχική
απεικόνιση

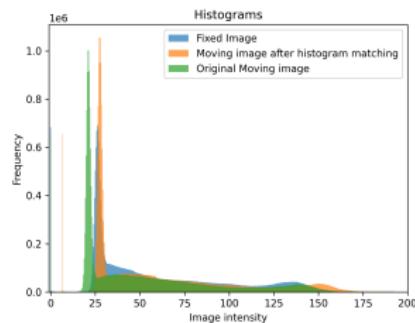
(II) Απεικόνιση με
απαλοιφή θορύβου



Αντιστοιχίζει το ιστόγραμμα της σταθερής απεικόνισης με το ιστόγραμμα της κινούμενης.



(I) Γραμμικός μετασχηματισμός αντιστοίχισης ιστογράμματος μίας εικόνας για τέσσερα άκρα.



(II) Ιστογράμματα σταθερής απεικόνισης και κινούμενης πριν και μετά την αντιστοίχιση

Καταχώρηση απεικονίσεων

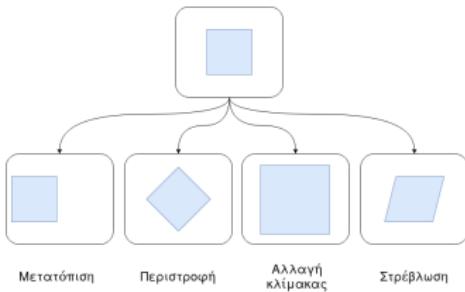
Αγχίγραμμος μετασχηματισμός (Affine transform)



Ο αγχίγραμμος μετασχηματισμός έχει 12 βαθμούς ελευθερίας στις 3 διαστάσεις.

$$T(x) = A(x - c) + t + c$$

t είναι το διάνυσμα μετατόπισης, c το κέντρο περιστροφής και A πίνακας που πραγματοποιεί την περιστροφή, αλλαγή κλίμακας και στρέβλωση.



Σχήμα: Μετατόπιση, περιστροφή, αλλαγή κλίμακας και στρέβλωση ενός τετραγώνου.



Η μέτρηση της ομοιότητας των δύο απεικονίσεων έγινε με την μέση διαφορά τετραγώνων, με την υπόθεση ότι όμοια βιολογικά σημεία στις απεικονίσεις έχουν την ίδια φωτεινότητα.

$$MSSD(I_F, I_M) = \frac{1}{|\Omega_F|} \sum_{x_i \in \Omega_F} (I_F(x_i) - I_M(T(x_i)))^2$$

I_F η σταθερή εικόνα, I_M η κινούμενη εικόνα, T ο μετασχηματισμός, $\Omega_F \subset \mathbb{R}^D \mapsto \mathbb{R}$ το πεδίο ορισμού της σταθερής εικόνα και $|\Omega_F|$ ο αριθμός την εικονοστοιχείων της σταθερής εικόνας.



Ιεραρχική διαδικασία κατά την οποία η πληροφορία των απεικονίσεων αυξάνεται από τα αρχικά προς τα τελικά στάδια της καταχώρησης, ώστε να υπάρχουν λιγότερες πιθανότητες να καταλήξει σε κάποιο τοπικό ελάχιστο. Χρησιμοποιεί τον πυρήνα του Gauss ώστε να μειώσει την πληροφορία.

Η τυπική απόκλισης του πυρήνα του Gauss όριζεται από τον τύπο:

$$\sigma = \frac{f}{2}s$$

'Όπου f αναπαριστά το επίπεδο μείωσης της πληροφορίας και έχει τιμές για κάθε στάδιο 8, 4, 2, 1 αντίστοιχα. s είναι η απόσταση των εικονοστοιχείων της απεικόνισης για κάθε διάσταση.'

Καταχώρηση απεικονίσεων

Χώρος κλίμακας Gauss (Gaussian scale-space) (2/2)



(I) $\sigma = 1$



(II) $\sigma = 2$



(III) $\sigma = 4$



(IV) $\sigma = 8$

Σχήμα: Χώρος κλίμακας Gauss για διάφορες τιμές της τυπικής απόκλισης.

Καταχώρηση απεικονίσεων Λοιπές επιλογές



- Ο Αλγόριθμος βελτιστοποίησης που χρησιμοποιήθηκαι είναι ο αλγόριθμος προσαρμοστικής στοχαστικής απότομης καθόδου (Adaptive Stochastic Gradient Descent, ASGD).

Καταχώρηση απεικονίσεων

Λοιπές επιλογές



- Ο Αλγόριθμος βελτιστοποίησης που χρησιμοποιήθηκαι είναι ο αλγόριθμος προσαρμοστικής στοχαστικής απότομης καθόδου (Adaptive Stochastic Gradient Descent, ASGD).
- Η παρεμβολή των σημείων των απεικονίσεων έγινε με γραμμική παρεμβολή.

Καταχώρηση απεικονίσεων

Λοιπές επιλογές



- Ο Αλγόριθμος βελτιστοποίησης που χρησιμοποιήθηκαι είναι ο αλγόριθμος προσαρμοστικής στοχαστικής απότομης καθόδου (Adaptive Stochastic Gradient Descent, ASGD).
- Η παρεμβολή των σημείων των απεικονίσεων έγινε με γραμμική παρεμβολή.
- Χρησιμοποιήθηκε δειγματοληψία 80% του συνολικού αριθμού των εικονοστοιχείων μίας απεικόνισης για να μειωθεί ο χρόνος υπολογισμού που απαιτείται για την καταχώρηση.

Καταχώρηση απεικονίσεων

Λοιπές επιλογές



- Ο Αλγόριθμος βελτιστοποίησης που χρησιμοποιήθηκαι είναι ο αλγόριθμος προσαρμοστικής στοχαστικής απότομης καθόδου (Adaptive Stochastic Gradient Descent, ASGD).
- Η παρεμβολή των σημείων των απεικονίσεων έγινε με γραμμική παρεμβολή.
- Χρησιμοποιήθηκε δειγματοληψία 80% του συνολικού αριθμού των εικονοστοιχείων μίας απεικόνισης για να μειωθεί ο χρόνος υπολογισμού που απαιτείται για την καταχώρηση.
- Χρησιμοποιήθηκε μάσκα για την κινούμενη εικόνα. Η μάσκα αυτή αποτελείται από όλα τα εικονοστοιχεία της απεικόνισης που δεν ανήκουν στο παρασκήνιο. Με αυτόν τον τρόπο συνεισφέρουν μόνο τα εικονοστοιχεία των απεικονίσεων που ανήκουν σε βιολογικές ομάδες που πρόκειται να κατανεμηθούν.

Καταχώρηση απεικονίσεων

Αποτέλεσμα καταχώρησης



(I) Πριν



(II) Μετά



(III) Πριν



(IV) Μετά

Σχήμα: Τομή απεικονίσεων σταθερής και κινούμενης απεικόνισης πριν και μετά την καταχώρηση.

Επιλογή ατλάντων



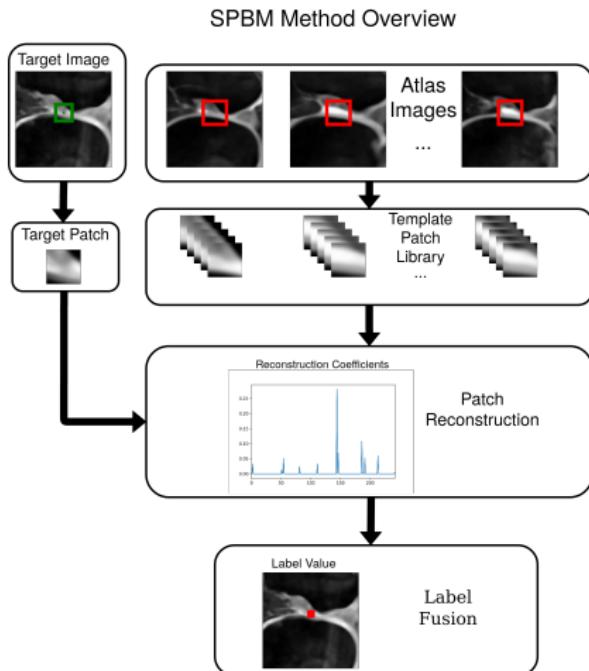
Μετρική για την επιλογή αυτή χρησιμοποιείται η μέση διαφορά τετραγώνων των εικονοστοιχείων των απεικονίσεων που δεν ανήκουν στο παρασκήνιο. Επιλέγονται οι N άτλαντες με τη μικρότερη τιμή.

$$mse_i = \frac{1}{|p_i|} \sum_{x \in p_i} (I(x) - I_i(x))^2, \text{όπου } p_i = \{x | x \in L_i, L_i > 0\}$$

I είναι η σταθερή απεικόνιση, I_i και L_i μία κινούμενη απεικόνιση και οι ετικέτες της αντίστοιχα για τον i -οστό άτλαντα. Επίσης, $|p_i|$ είναι ο αριθμός των στοιχείων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της μετρικής.



Μέθοδος 1: Αραιή μέθοδος βασισμένη σε τμήματα (Sparse Patch-Based Method, SPBM)



Σχήμα: Διάγραμμα ροής της αραιής μεθόδου βασισμένης σε τμήματα (SPBM).



Μέθοδος 1: Αραιή μέθοδος βασισμένη σε τμήματα (Sparse Patch-Based Method, SPBM)

Οι συντελεστές ανοικοδούμησης $w_i(x, y)$ υπολογίζονται από τη συνάρτηση:

$$\operatorname{argmin}_{\{w_i(x, y)\}} \frac{1}{2} \left\| \sum_{i=1}^n \sum_{y \in N_i(x)} A_y^i w_i(x, y) - b_x \right\|_2^2 + \lambda \sum_{i=1}^n \sum_{y \in N_i(x)} |w_i(x, y)|$$

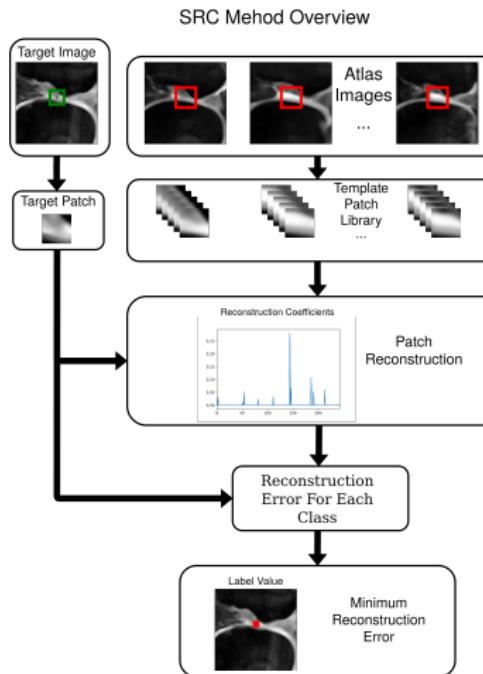
Για κάθε ετικέτα εκτός του παρασκηνίου υπολογίζεται η εξίσωση του πλαισίου συγχώνευσης κατηγοριών, για να παραχθεί η ετικέτα $L(x)$ για το εικονοστοιχείο x .

$$L(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{y \in \Omega} w_i(x, y) L_i(y)}{\sum_{i=1}^n \sum_{y \in \Omega} w_i(x, y)}, \forall x \in \Omega$$

Η τελική ετικέτα επιλέγεται για το $L(x) \geq 0.5$ αν υπάρχει αλλίως, επιλέγεται η ετικέτα του παρασκηνίου.



Μέθοδος 2: Ταξινόμηση αραιής αναπαράστασης (Sparse Representation Classification, SRC)



Σχήμα: Διάγραμμα ροής της μεθόδου ταξινόμησης αραιής αναπαράστασης (SRC).

Μέθοδος 2: Ταξινόμηση αραιής αναπαράστασης (Sparse Representation Classification, SRC)



Οι συντελεστές ανοικοδούμησης w_x υπολογίζονται από τη συνάρτηση:

$$\underset{w_x}{\operatorname{argmin}} \frac{1}{2} \|Aw_x - b_x\|_2^2 + \lambda \|w_x\|_1$$

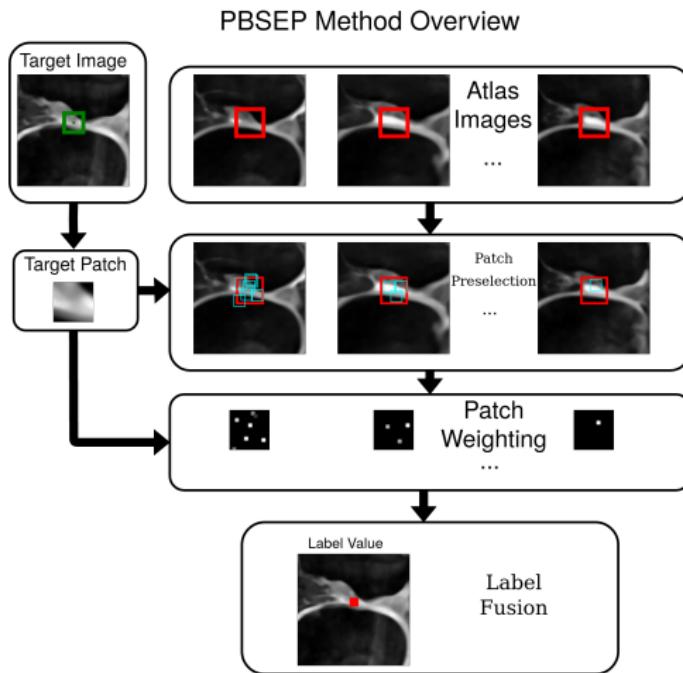
Το σφάλμα ανοικοδόμησης για κάθε ετικέτα $j = 0, \dots, C$ ορίζεται ως:

$$r_j(b_x) = \|b_x - A^j w_x^j\|$$

Τέλος, η τελική ετικέτα v του εικονοστοιχείου προς ταξινόμηση ορίζεται ως:

$$v = \underset{j}{\operatorname{argmin}} (r_j(b_x)) , j = 0, \dots, C$$

Μέθοδος 3: Κατάτμηση βασισμένη σε τμήματα με τη χρήση πληροφορίας από ειδικούς (Patch-Based Segmentation using Expert Priors, PBSEP)



Σχήμα: Διάγραμμα ροής της κατάτμησης βασισμένης σε τμήματα με τη χρήση πληροφορίας από ειδικούς (PBSEP).



Η επιλογή των patches και η μετρική ομοιότητας ορίζονται από την εξίσωση:

$$w(x_i, x_{s,j}) = \begin{cases} \exp\left(\frac{-\|P(x_i) - P(x_{s,j})\|_2^2}{h}\right) & \text{if } ss > th \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

'Οπου $P(x)$ είναι το patch γύρο από το εικονοστοιχείο x . Η σταθερά $th = 0.95$ και οι συναρτήσεις:

$$ss = \frac{2\mu_i\mu_{s,j}}{\mu_i^2 + \mu_{s,j}^2} \frac{2\sigma_i\sigma_{s,j}}{\sigma_i^2 + \sigma_{s,j}^2}$$

$$h = \underset{x_{s,j}}{\operatorname{argmin}} \|P(x_i) - P(x_{s,j})\|_2 + \epsilon$$



Για κάθε ετικέτα εκτός του παρασκηνίου υπολογίζεται η εξίσωση του πλαισίου συγχώνευσης κατηγοριών, για να παραχθεί η ετικέτα $L(x)$ για το εικονοστοιχείο x .

$$L(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{y \in \Omega} w_i(x, y) L_i(y)}{\sum_{i=1}^n \sum_{y \in \Omega} w_i(x, y)}, \forall x \in \Omega$$

Η τελική ετικέτα επιλέγεται για το $L(x) \geq 0.5$ αν υπάρχει αλλιώς, επιλέγεται η ετικέτα του παρασκηνίου.



Δεδομένα

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από το Osteoarthritis Initiative Zuse Institute Berlin (OAI ZIB). Οι κλάσεις της κατάτμησης που χρησιμοποιήθηκαν αποτελούνται από τα οστά, τους χόνδρους και το παρασκήνιο. Χρησιμοποιήθηκαν 46 από τα 507 δείγματα που διατίθενται και καλύπτουν όλο το φάσμα του βαθμού οστεοαρθρίτιδας.

MRI scanner	Siemens 3T Trio
MRI sequence	DESS
Acquisition plane	Sagittal
Image resolution in mm	0.36×0.36×0.7
Timepoints	Baseline

Πίνακας: Χαρακτηριστικά δεδομένων OAI ZIB.

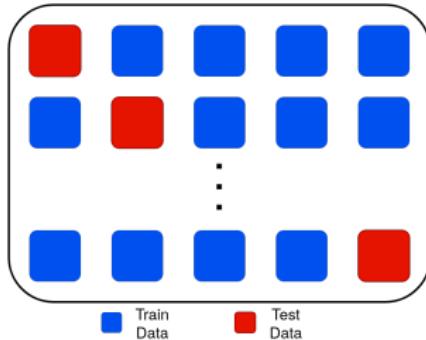


Τρόπος αξιολόγησης και σύγκρισης

Ως μετρική του αποτελέσματος χρησιμοποιείται ο συντελεστής ομοιότητας Dice:

$$DSC = \frac{2|X \cap Y|}{|X| + |Y|}$$

Επίσης, για κάθε πείραμα χρησιμοποιήθηκε η διασταυρωμένη επικύρωση αφήνω ένα έξω (leave-one-out cross-validation).



Σχήμα: Διαδικασία διασταυρωμένη επικύρωση αφήνω ένα έξω (leave-one-out cross-validation).



Οι παράμετροι που είναι κοινοί για όλες τις μεθόδους είναι:

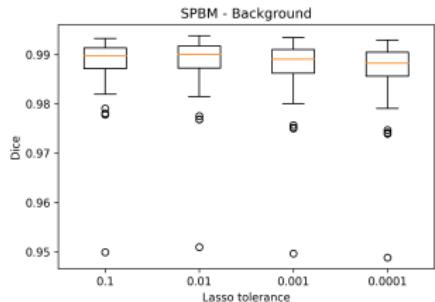
- 1 Το μέγεθος της περιοχής αναζήτησης.
- 2 Το μέγεθος του patch.
- 3 Ο αριθμός των ατλάντων που χρησιμοποιείται στην κατάτμηση.

Ακόμα, η αραιή μέθοδος βασισμένη σε τμήματα (SPBM) και η μέθοδος ταξινόμησης αραιής αναπαράστασης (SRC) έχουν την παράμετρο λ του ελάχιστα απόλυτου τελεστή συρρίκνωσης και επιλογής (Lasso).

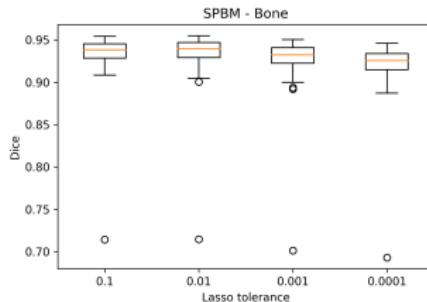
Διασταυρωμένη επικύρωση για την παράμετρο λ του τελεστή Lasso



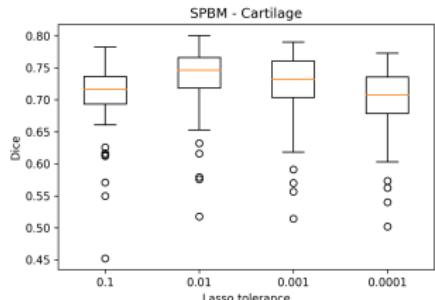
Μέθοδος 1: Αραιή μέθοδος βασισμένη σε τυόματα (SPBM)



(I) Παρασκήνιο



(II) Οστά



(III) Χόνδροι

Σταθερές παράμετροι

Αριθμός ατλάντων	4
Μέγεθος περιοχής αναζήτησης	[5,5,5]
Μέγεθος patch	[3,3,3]

Επιλογή παραμέτρου

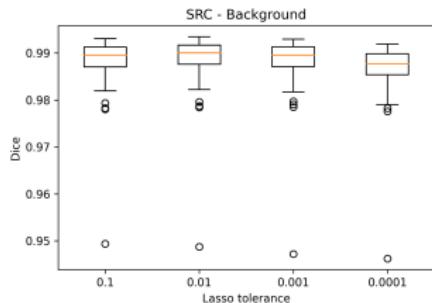
Παράμετρος λ	0.01
----------------------	------

(IV) Παράμετροι

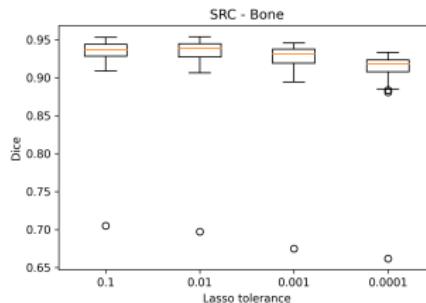
Διασταυρωμένη επικύρωση για την παράμετρο λ του τελεστή Lasso



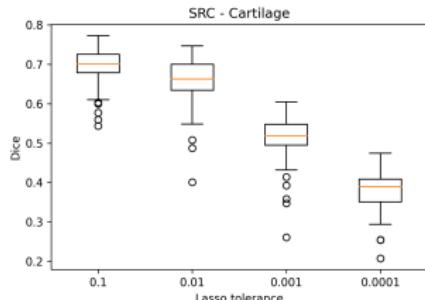
Μέθοδος 2: Ταξινόμηση αραιής αναπαράστασης (SRC)



(I) Παρασκήνιο



(II) Οστά



(III) Χόνδροι

Σταθερές παράμετροι

Αριθμός ατλάντων	4
Μέγεθος περιοχής αναζήτησης	[5,5,5]
Μέγεθος patch	[3,3,3]

Επιλογή παραμέτρου

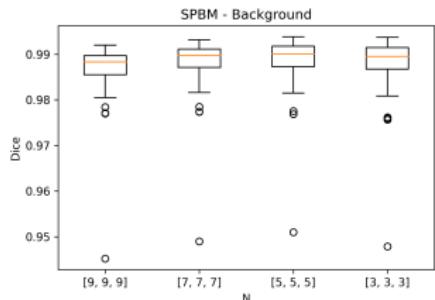
Παράμετρος λ	0.1
----------------------	-----

(IV) Παράμετροι

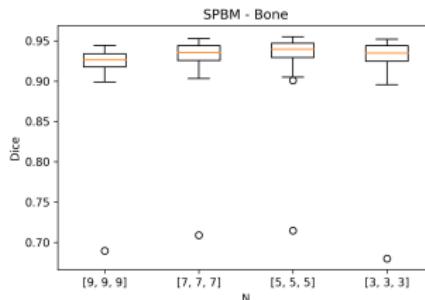
Διασταυρωμένη επικύρωση του μεγέθους της περιοχής αναζήτησης



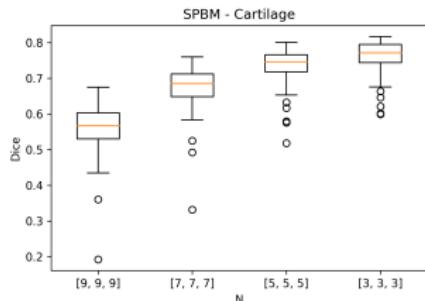
Μέθοδος 1: Αραιή μέθοδος βασισμένη σε τμήματα (SPBM)



(I) Παρασκήνιο



(II) Οστά



(III) Χόνδροι

Σταθερές παράμετροι

Παράμετρος λ	0.01
Μέγεθος patch	[3,3,3]
Αριθμός ατλάντων	4

Επιλογή παραμέτρου

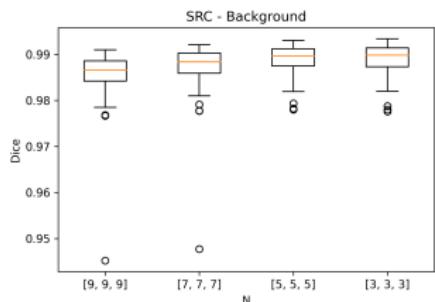
Μέγεθος περιοχής αναζήτησης	[3,3,3]
-----------------------------	---------

(IV) Παράμετροι

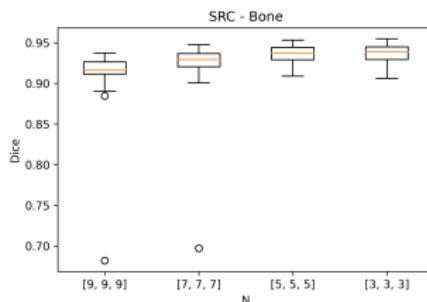
Διασταυρωμένη επικύρωση του μεγέθους της περιοχής αναζήτησης



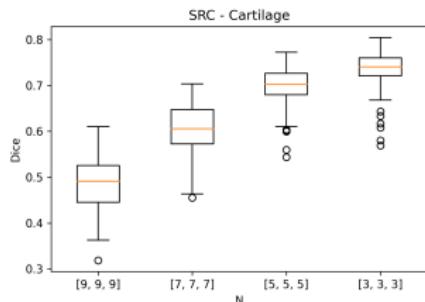
Μέθοδος 2: Ταξινόμηση αοαιίς αναπαράστασης (SRC)



(I) Παρασκήνιο



(II) Οστά



(III) Χόνδροι

Σταθερές παράμετροι

Παράμετρος λ	0.1
Μέγεθος patch	[3,3,3]
Αριθμός ατλάντων	4

Επιλογή παραμέτρου

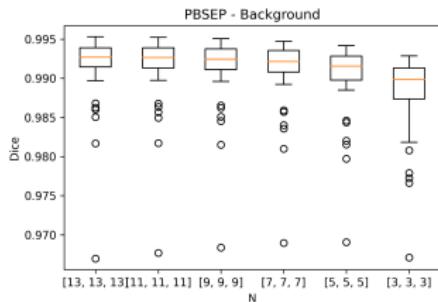
Μέγεθος περιοχής αναζήτησης	[3,3,3]
-----------------------------	---------

(IV) Παράμετροι

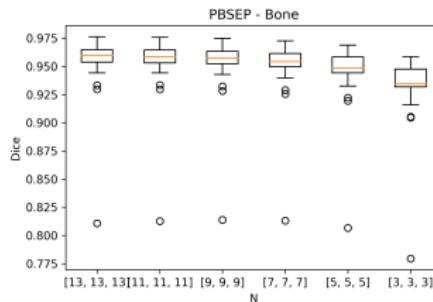
Διασταυρωμένη επικύρωση του μεγέθους της περιοχής αναζήτησης



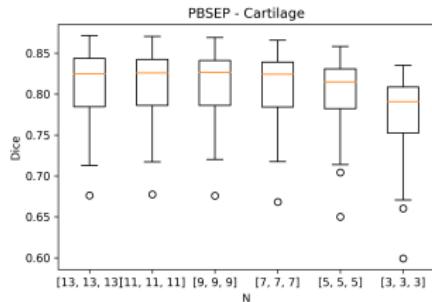
Μέθοδος 3: Κατάτυπο Βασισμένη σε τμήματα με τη χρήση



(I) Παρασκήνιο



(II) Οστά



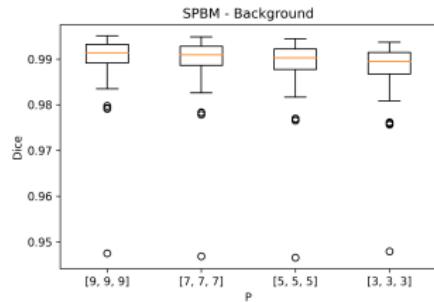
(III) Χόνδροι

Σταθερές παράμετροι

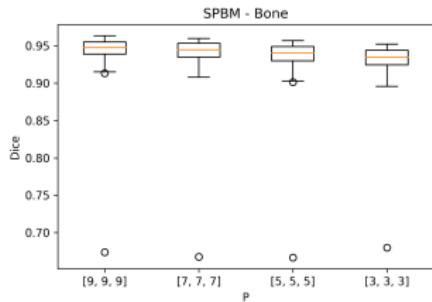
Μέγεθος patch	[3,3,3]
Αριθμός ατλάντων	4
Επιλογή παραμέτρου	
Μέγεθος περιοχής αναζήτησης	[7,7,7]

(IV) Παράμετροι

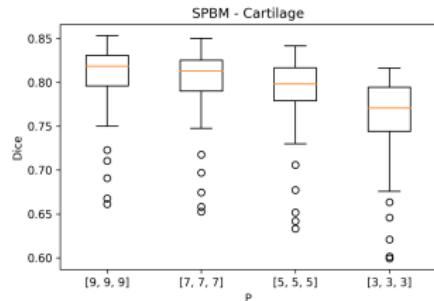
Διασταυρωμένη επικύρωση του μεγέθους του patch
Μέθοδος 1: Αραιή μέθοδος βασισμένη σε τμήματα (SPBM)



(I) Παρασκήνιο



(II) Οστά



(III) Χόνδροι

Μέγεθος patch

Επιλογή παραμέτρου

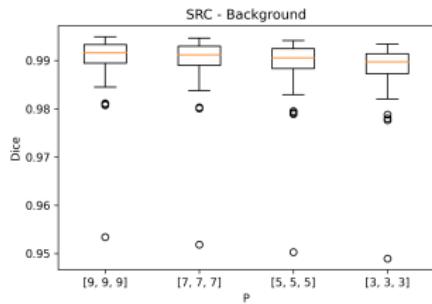
Σταθερές παράμετροι

Παράμετρος λ	0.01
Μέγεθος περιοχής αναζήτησης	[3,3,3]
Αριθμός ατλάντων	4

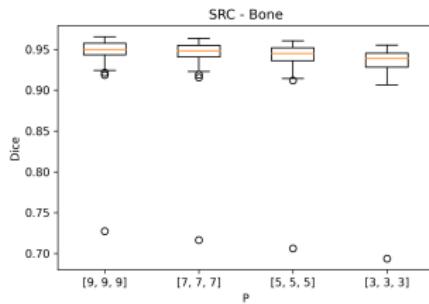
Μέγεθος patch

Διασταυρωμένη επικύρωση του μεγέθους του patch

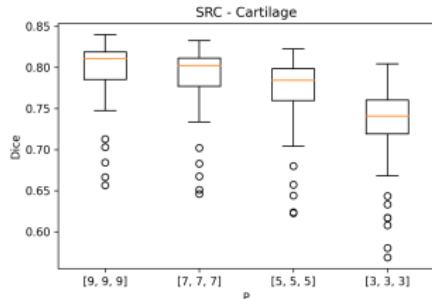
Μέθοδος 2: Ταξινόμηση αραιής αναπαράστασης (SRC)



(I) Παρασκήνιο



(II) Οστά



(III) Χόνδροι

Σταθερές παράμετροι

Παράμετρος λ	0.1
Μέγεθος περιοχής αναζήτησης	[3,3,3]
Αριθμός ατλάντων	4

Επιλογή παραμέτρου

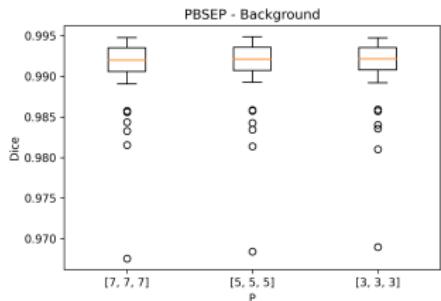
Μέγεθος patch	[9,9,9]
---------------	---------

(IV) Παράμετροι

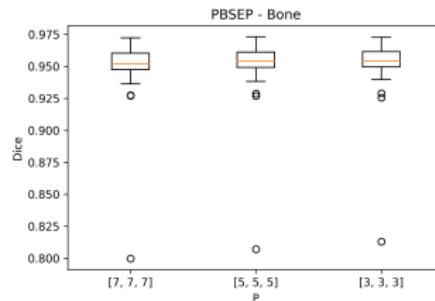


Διασταυρωμένη επικύρωση του μεγέθους του patch

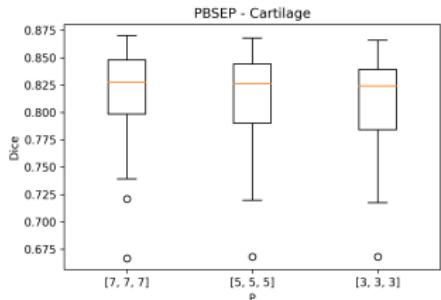
Μέθοδος 3: Κατάτμηση βασισμένη σε τμήματα με τη χρήση πληροφορίας από ειδικούς (PBSEP)



(I) Παρασκήνιο



(II) Οστά



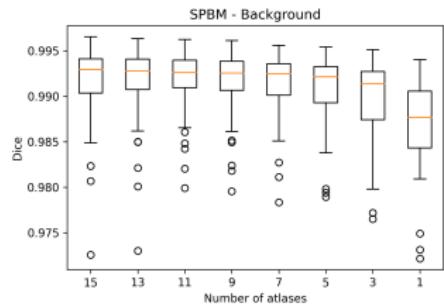
(III) Χόνδροι

Σταθερές παράμετροι

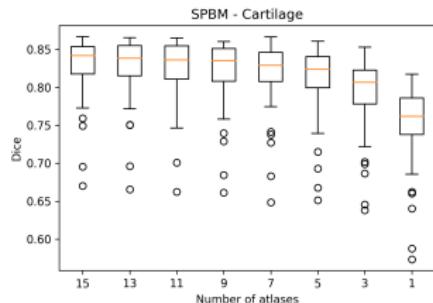
Μέγεθος patch	[7,7,7]
Αριθμός ατλάντων	4
Επιλογή παραμέτρου	
Μέγεθος περιοχής αναζήτησης	[3,3,3]

(IV) Παράμετροι

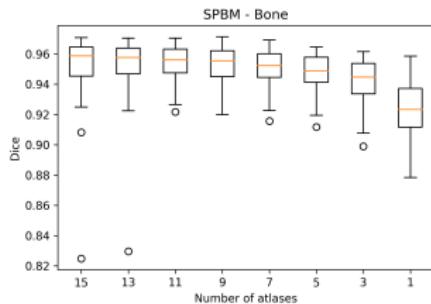
Διασταυρωμένη επικύρωση του αριθμού των ατλάντων
Μέθοδος 1: Αραιή μέθοδος βασισμένη σε τμήματα (SPBM)



(I) Παρασκήνιο



(III) Χόνδροι



(II) Οστά

Σταθερές παράμετροι

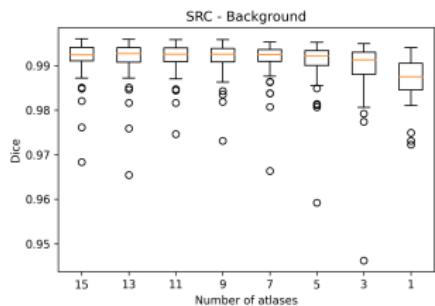
Παράμετρος λ	0.01
Μέγεθος περιοχής αναζήτησης	[3,3,3]
Μέγεθος patch	[9,9,9]

Επιλογή παραμέτρου

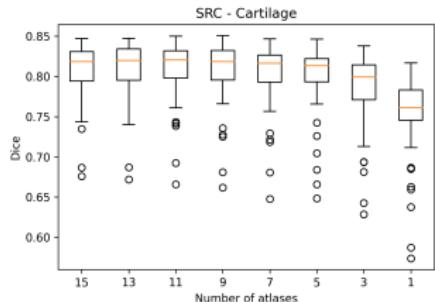
Αριθμός ατλάντων 9

(IV) Παράμετροι

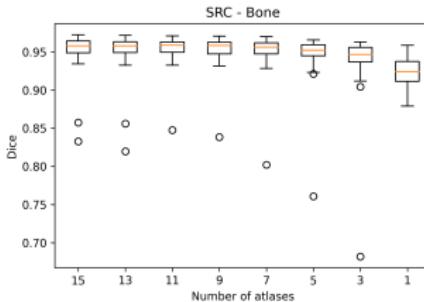
Διασταυρωμένη επικύρωση του αριθμού των ατλάντων
Μέθοδος 2: Ταξινόμηση αραιής αναπαράστασης (SRC)



(I) Παρασκήνιο



(III) Χόνδροι



(II) Οστά

Σταθερές παράμετροι

Παράμετρος λ	0.1
Μέγεθος περιοχής αναζήτησης	[3,3,3]
Μέγεθος patch	[9,9,9]

Επιλογή παραμέτρου

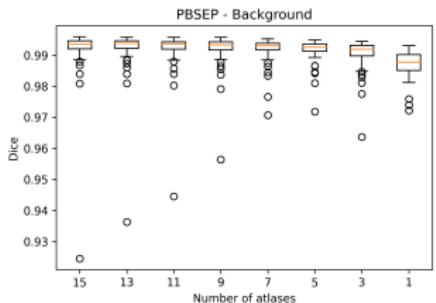
Αριθμός ατλάντων 9

(IV) Παράμετροι

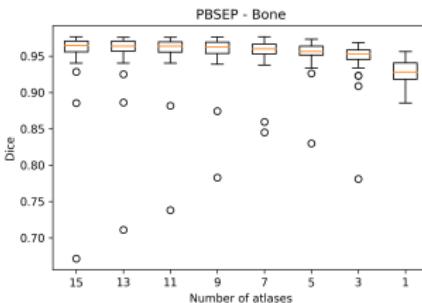
Διασταυρωμένη επικύρωση του αριθμού των ατλάντων



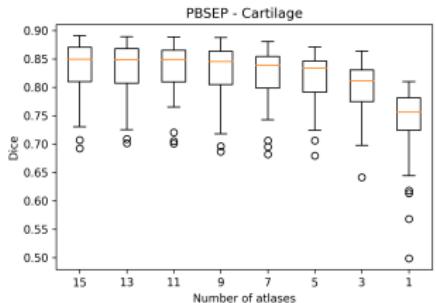
Μέθοδος 3: Κατάτμηση βασισμένη σε τμήματα με τη χρήση πληροφορίας από ειδικούς (PBSEP)



(I) Παρασκήνιο



(II) Οστά



(III) Χόνδροι

Σταθερές παράμετροι

Μέγεθος περιοχής αναζήτησης	[7,7,7]
Μέγεθος patch	[3,3,3]

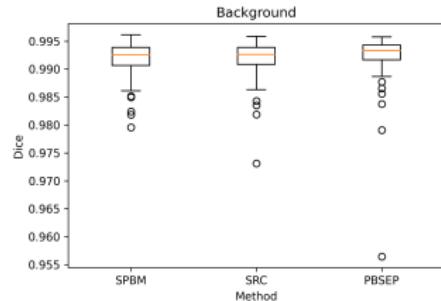
Επιλογή παραμέτρου

Αριθμός ατλάντων 9

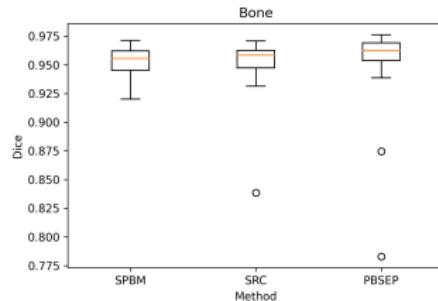
Αριθμός ατλάντων

(IV) Παράμετροι

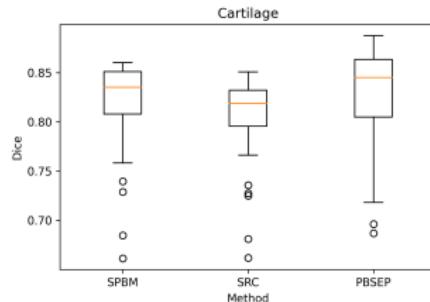
Σύγκριση απόδοσης μεθόδων Διαγράμματα



(I) Παρασκήνιο



(II) Οστά



(III) Χόνδροι

Σύγκριση απόδοσης μεθόδων

Στατιστικά

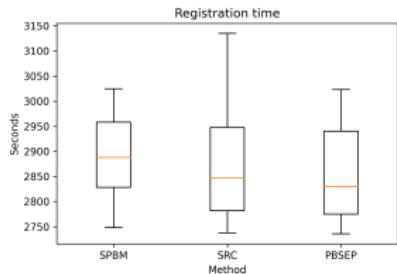


Μέθοδος	Ετικέτα	Μέσος όρος	Διάμεσος
SPBM	Παρασκήνιο	0.9914	0.9926
	Οστά	0.9521	0.9556
	Χόνδροι	0.8209	0.8352
SRC	Παρασκήνιο	0.9914	0.9926
	Οστά	0.9528	0.9585
	Χόνδροι	0.8056	0.8187
PBSEP	Παρασκήνιο	0.9916	0.9933
	Οστά	0.956	0.9624
	Χόνδροι	0.8281	0.8451

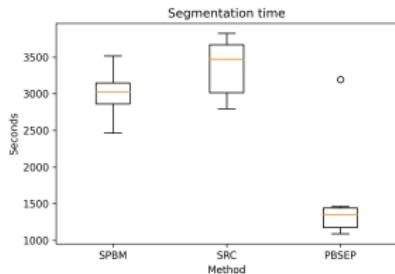
Πίνακας: Μέσος όρος και διάμεσος του συντελεστή ομοιότητας Dice για όλες τις μεθόδους και ετικέτες.



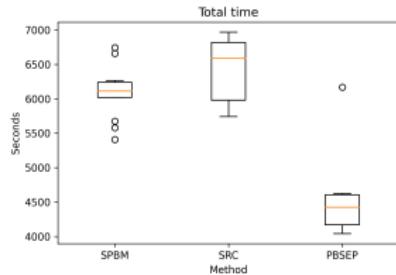
Σύγκριση χρόνου εκτέλεσης



(I) Χρόνος καταχώρησης



(II) Χρόνος κατάτμησης



(III) Συνολικός χρόνος

* Τα πειράματα έτρεχαν σε υπολογιστή με επεξεργαστή τον Intel(R) Core(TM) i9-7940X CPU @ 3.10GHz και 126GB μνήμη. Κάθε πείραμα έτρεχε σε ένα νήμα (thread) και για τον υπολογισμό των χρόνων έτρεχαν παράλληλα 14 νήματα (ένα για κάθε πείραμα).

Ερωτήσεις

