



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

Τίτλος διπλωματικής

Κωστινούδης Ευάγγελος

Επιβλέποντες:

Καθηγητής:

Θεοχάρης Ιωάννης

Υποψήφιος Διδάκτορας: Χαδουλός Χρήστος

Απρίλιος 2021



1 Εισαγωγή

2 Μεθοδολογία

- Προεπεξεργασία δεδομένων
- Καταχώρηση απεικονίσεων
- Επιλογή ατλάντων
- Μέθοδος 1: Αραιή μέθοδος βασισμένη σε τμήματα (Sparse Patch-Based Method, SPBM)
- Μέθοδος 2: Ταξινόμηση αραιής αναπαράστασης (Sparse Representation Classification, SRC)
- Μέθοδος 3: Κατάτμηση βασισμένη σε τμήματα με τη χρήση πληροφορίας από ειδικούς (Patch-Based Segmentation using Expert Priors, PBSEP)

3 Πειράματα και αποτελέσματα

- Δεδομένα
- Τρόπος αξιολόγησης και σύγκρισης
- Επιλογή παραμέτρων



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 (Segmentaion)

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.

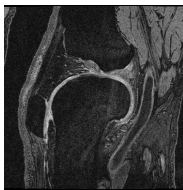
Κατάτμηση βάση ατλάντων

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 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.



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



- 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.



- 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.



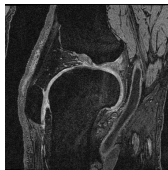
- 1 Προεπεξεργασίας δεδομένων. Σκοπός της προεπεξεργασίας είναι να παραχθεί μία νέα απεικόνιση που θα έχει καλύτερα αποτελέσματα στην μάθηση από αυτά της αρχικής.
- 2 Καταχώρηση (registration) ατλάντων. Η διαδικασία μετασχηματισμού διαφορετικών δεδομένων σε ένα σύστημα συντεταγμένων. Η διαδικασία αυτή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



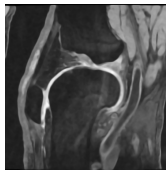
Οι ισοστάθμισες καμπύλες (καμπύλες που σχηματίζονται από τα εικονοστοιχεία που έχουν την ίδια φωτεινότητα) εξελίσσονται μέσω της μερικής διαφορικής εξίσωσης:

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

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



(I) Αρχική
απεικόνιση



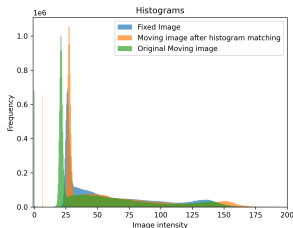
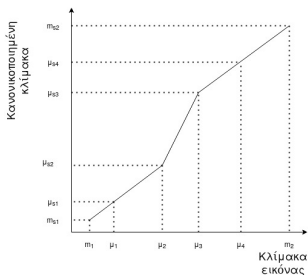
(II) Απεικόνιση
με απαλοιφή
θορύβου

Προεπεξεργασία δεδομένων

Αντιστοίχιση ιστογράμματος (histogram matching)



Αντιστοιχίζει το ιστογράμματα της σταθερής απεικόνισης με το ιστογράμματα 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

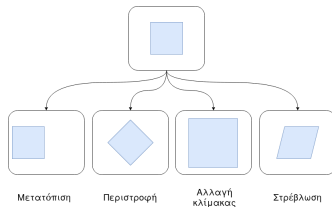
Αγχίγραμμος μετασχηματισμός (Affine transform)



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.

Καταχώρηση απεικονίσεων

Μέση διαφορά τετραγώνων



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.

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

I_F η σταθερή εικόνα, I_M η κινούμενη εικόνα, \mathbf{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 τομικό ελάχιστο. Χρησιμοποιεί τον πυρήνα του Gauss ώστε να μειώσει την πληροφορία.

Η τυπική απόκλιση του πυρήνα του Gauss ορίζεται 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.



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



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



- Ο Αλγόριθμος βελτιστοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν 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.



- Ο Αλγόριθμος βελτιστοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν 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 υπόβαθρο. 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.

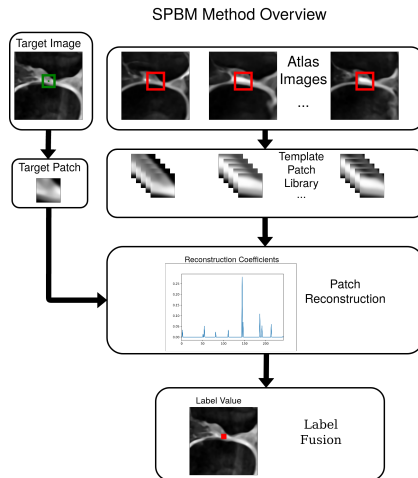


Μετρική για την επιλογή αυτή χρησιμοποιείται η μέση διαφορά τετραγώνων των εικονοστοιχείων των απεικονίσεων που δεν ανήκουν στο παρασκήνιο. Επιλέγονται οι N άτλαντες με τη μικρότερη τιμή.

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

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 ανοικοδομήσης $w_i(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ υπολογίζονται από τη συνάρτηση:

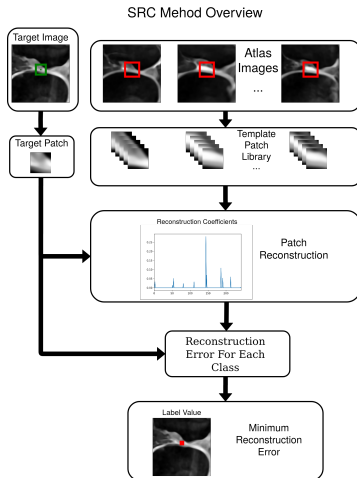
$$\operatorname{argmin}_{\{w_i(\mathbf{x}, \mathbf{y})\}} \frac{1}{2} \left\| \sum_{i=1}^n \sum_{\mathbf{y} \in N_i(\mathbf{x})} A_{\mathbf{y}}^i w_i(\mathbf{x}, \mathbf{y}) - b_{\mathbf{x}} \right\|_2^2 + \lambda \sum_{i=1}^n \sum_{\mathbf{y} \in N_i(\mathbf{x})} |w_i(\mathbf{x}, \mathbf{y})|$$

Για κάθε ετικέτα εκτός του υπόβραθρου υπολογίζεται η εξίσωση του πλαισίου συγχώνευσης κατηγοριών, για να παραχθεί η ετικέτα $L(\mathbf{x})$ για το εικονοστοιχείο \mathbf{x} .

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

Η τελική ετικέτα επιλέγεται για το $L(\mathbf{x}) \geq 0.5$ αν υπάρχει αλλιώς, 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 ανοικοδόμησης w_x υπολογίζονται από τη συνάρτηση:

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

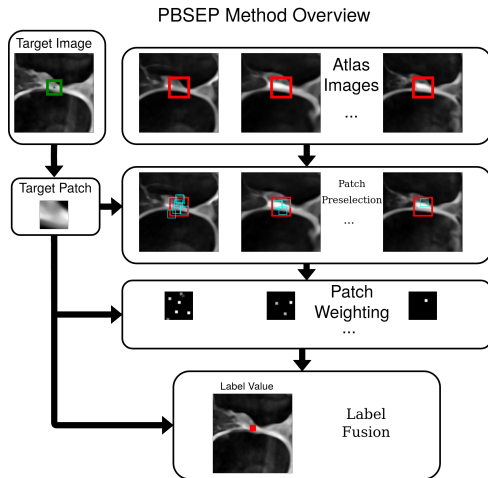
Το σφάλμα ανοικοδόμησης για κάθε ετικέτα $j = 0, \dots, C$ ορίζεται ως:

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

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

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

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).

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



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

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

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

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

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

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



Για κάθε ετικέτα εκτός του υπόβραθρου υπολογίζεται η εξίσωση του πλαισίου συγχώνευσης κατηγοριών, για να παραχθεί η ετικέτα $L(\mathbf{x})$ για το εικονοστοιχείο \mathbf{x} .

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

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



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 υπόβαθρο. 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.

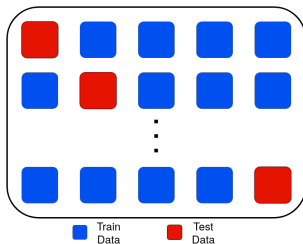


Τρόπος αξιολόγησης και σύγκρισης

Ως μετρική του αποτελέσματος χρησιμοποιείται ο συντελεστής ομοιότητας Dice:

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

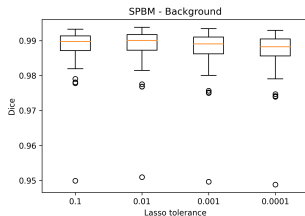
Επίσης, για κάθε πείραμα χρησιμοποιήθηκε η διασταυρωμένη επικύρωση αφήνω ένα έξω (leave-one-out cross-validation).



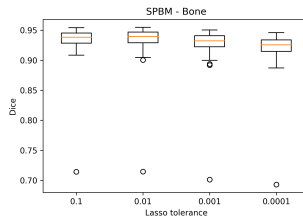
Σχήμα: Διαδικασία διασταυρωμένη επικύρωση αφήνω ένα έξω (leave-one-out cross-validation).

Διασταυρωμένη επικύρωση για την παράμετρο λ του τελεστή Lasso

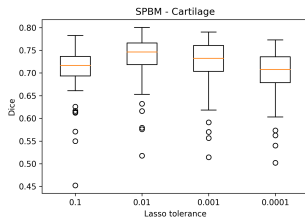
Μέθοδος I: Αραιή μέθοδος βασισμένη σε τμήματα (SPBM)



(I) Παρασκήνιο



(II) Οστά



(III) Χόνδροι

Σταθερές παράμετροι

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

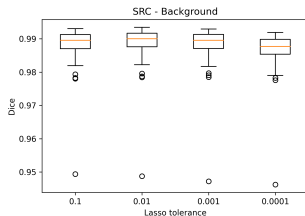
Επιλογή παραμέτρου

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

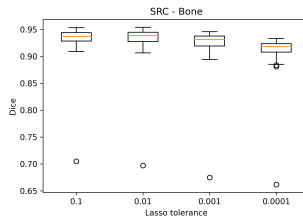
(IV) Παράμετροι

Διασταυρωμένη επικύρωση για την παράμετρο λ του τελεστή Lasso

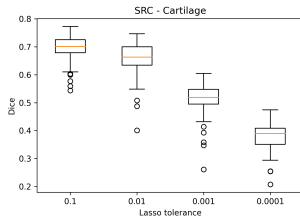
Μέθοδος 2: Ταξινόμηση αραιής αναπαράστασης (SRC)



(I) Παρασκήνιο



(II) Οστά



(III) Χόνδροι

Σταθερές παράμετροι

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

Επιλογή παραμέτρου

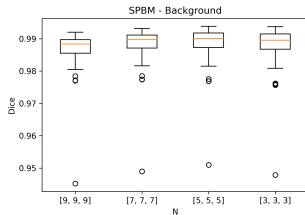
Παράμετρος λ	0.1
----------------------	-----

(IV) Παράμετροι

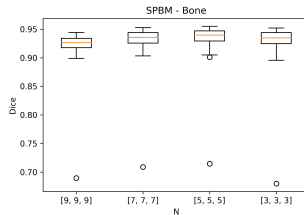
Διασταυρωμένη επικύρωση του μεγέθους της περιοχής αναζήτησης



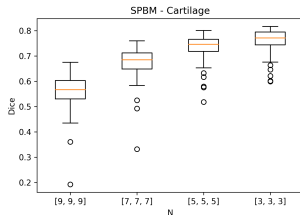
Μέθοδος I: Αραιή μέθοδος βασισμένη σε τμήματα (SPBM)



(I) Παρασκήνιο



(II) Οστά



(III) Χόνδριοι

Σταθερές παράμετροι

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

Επιλογή παραμέτρου

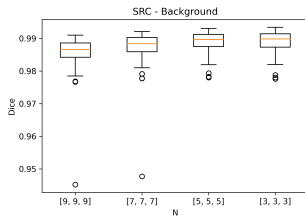
Μέγεθος περιοχής αναζήτησης	[3,3,3]
-----------------------------	---------

(IV) Παράμετροι

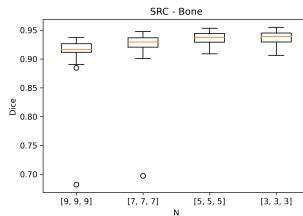
Διασταυρωμένη επικύρωση του μεγέθους της περιοχής αναζήτησης



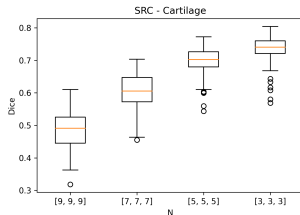
Μέθοδος 2: Ταξινόμηση αραιής αναπαράστασης (SRC)



(I) Παρασκήνιο



(II) Οστά



(III) Χόνδροι

Σταθερές παράμετροι

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

Επιλογή παραμέτρου

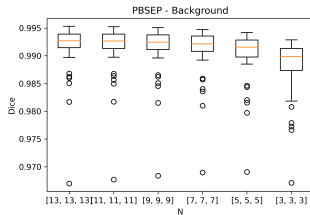
Μέγεθος περιοχής αναζήτησης	[3,3,3]
-----------------------------	---------

(IV) Παράμετροι

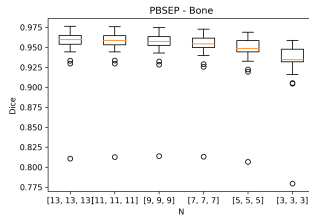
Διασταυρωμένη επικύρωση του μεγέθους της περιοχής αναζήτησης



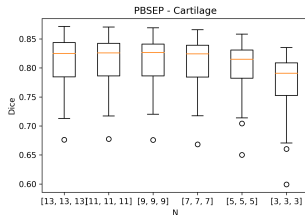
Μέθοδος 3: Κατάτμηση βασισμένη σε τμήματα με τη χρήση



(I) Παρασκήνιο



(II) Οστά



(III) Χόνδροι

Σταθερές παράμετροι

Μέγεθος patch	[3,3,3]
Αριθμός ατλάντων	4

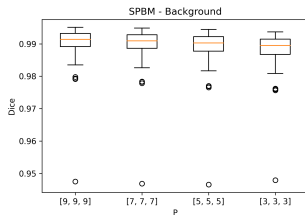
Επιλογή παραμέτρου

Μέγεθος περιοχής αναζήτησης	[7,7,7]
-----------------------------	---------

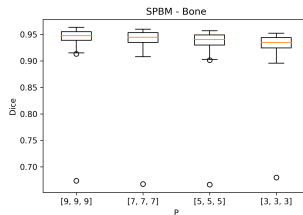
(IV) Παράμετροι

Διασταυρωμένη επικύρωση του μεγέθους του patch

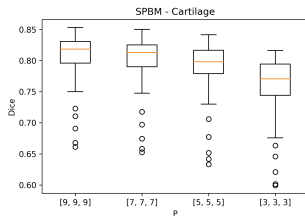
Μέθοδος I: Αραιή μέθοδος βασισμένη σε τμήματα (SPBM)



(I) Παρασκήνιο



(II) Οστά



(III) Χόνδριοι

Σταθερές παράμετροι

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

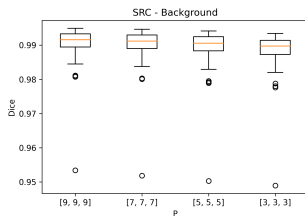
Επιλογή παραμέτρου

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

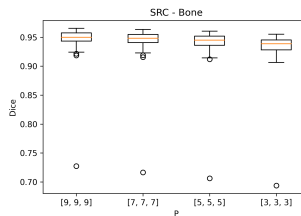
(IV) Παράμετροι

Διασταυρωμένη επικύρωση του μεγέθους του patch

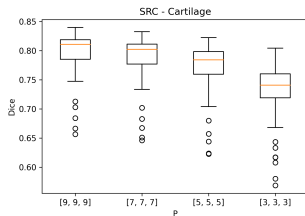
Μέθοδος 2: Ταξινόμηση αραιής αναπαράστασης (SRC)



(I) Παρασκήνιο



(II) Οστά



(III) Χόνδροι

Σταθερές παράμετροι

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

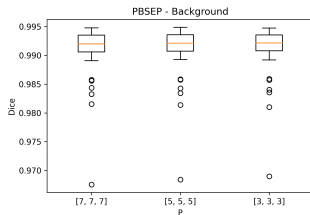
Επιλογή παραμέτρου

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

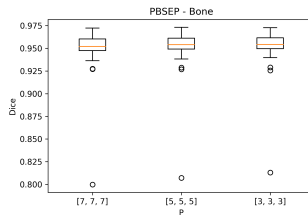
(IV) Παράμετροι

Διασταυρωμένη επικύρωση του μεγέθους του patch

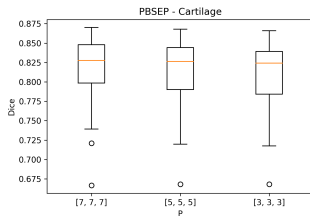
Μέθοδος 3: Κατάτμηση βασισμένη σε τμήματα με τη χρήση πληροφορίας από ειδικούς (PBSEP)



(I) Παρασκήνιο



(II) Οστά



(III) Χόνδροι

Σταθερές παράμετροι

Μέγεθος patch	[7,7,7]
Αριθμός ατλάντων	4

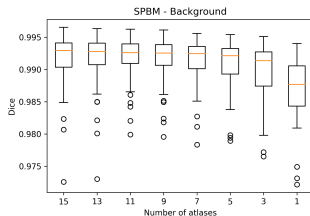
Επιλογή παραμέτρου

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

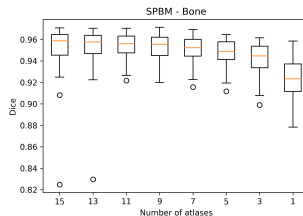
(IV) Παράμετροι

Διασταυρωμένη επικύρωση του αριθμού των ατλάντων

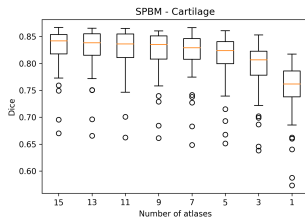
Μέθοδος I: Αραιή μέθοδος βασισμένη σε τμήματα (SPBM)



(I) Παρασκήνιο



(II) Οστά



(III) Χόνδροι

Σταθερές παράμετροι

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

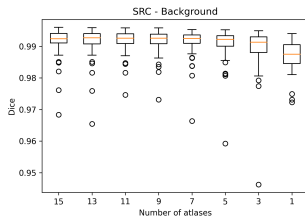
Επιλογή παραμέτρου

Αριθμός ατλάντων	9
------------------	---

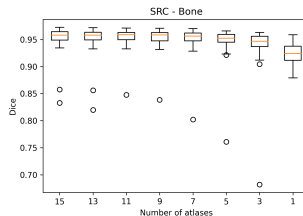
(IV) Παράμετροι

Διασταυρωμένη επικύρωση του αριθμού των ατλάντων

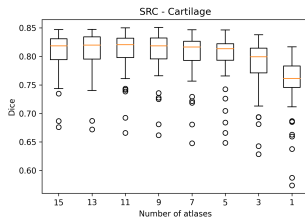
Μέθοδος 2: Ταξινόμηση αραιής αναπαράστασης (SRC)



(I) Παρασκήνιο



(II) Οστά



(III) Χόνδροι

Σταθερές παράμετροι

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

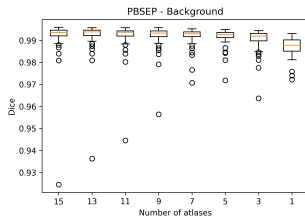
Επιλογή παραμέτρου

Αριθμός ατλάντων	9
------------------	---

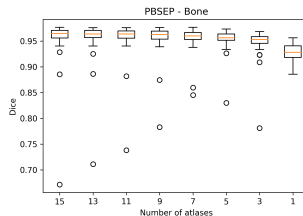
(IV) Παράμετροι

Διασταυρωμένη επικύρωση του αριθμού των ατλάντων

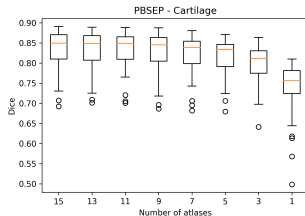
Μέθοδος 3: Κατάτμηση βασισμένη σε τμήματα με τη χρήση πληροφορίας από ειδικούς (PBSEP)



(I) Παρασκήνιο



(II) Οστά



(III) Χόνδροι

Σταθερές παράμετροι

Μέγεθος περιοχής αναζήτησης	[7,7,7]
-----------------------------	---------

Μέγεθος patch	[3,3,3]
---------------	---------

Επιλογή παραμέτρου

Αριθμός ατλάντων	9
------------------	---

(IV) Παράμετροι