

Διπλωματική Εργασία



**Μέθοδοι που βασίζονται σε αραιές αναπαραστάσεις και
λεξικά για αύξηση χωρικής ανάλυσης εικόνων:
Εφαρμογή σε εικόνες γενικού περιεχομένου και εικόνες
κατόψεων κτηρίων**

Φοιτητής: **Σιούτης Σπυρίδων**
Επιβλέπων Καθηγητής: **Βασιλάς Νικόλαος**

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2022

Ευχαριστίες

Αυτή η εργασία πραγματοποιήθηκε με την σημαντική βοήθεια του καθηγητή του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, Νικόλαου Βασιλά

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε από τον

Όνομα: **Σιούτης Σπυρίδων**

A.M.: **711141212**

Επιβλέπων Καθηγητής: **Βασιλάς Νικόλαος**

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την Παρασκευή 14/10/2022

.....

Βασιλά Νικόλαο

Καθηγητής

.....

Γεωργουλάκη Χριστίνα

Ε.Δι.Π

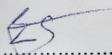
.....

Μπαρδή Γεώργιο

Επίκουρος Καθηγητής

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι κάτωθι υπογεγραμμένος Σπυρίδων Σιούτης του Στέργιου, με αριθμό μητρώου 711141212 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών, δηλώνω υπεύθυνα ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνουμε ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μας, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

.....
Σπυρίδων Σιούτης

Abstract

This thesis presents the Super Resolution algorithm of Jiancho Yang named: Image Super Resolution via Sparse Representation. The Super Resolution technic has been developed the resent years and it is an evolving field of data science. In this thesis we will describe the algorithm and we will score it by the use of MSE, PSNR, SSIM in general photos and a photo of buildings

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	7
2. Γενική Περιγραφή.....	8
3. Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	9
3.1. Βασικές Έννοιες.....	9
3.2. Τρόποι ελέγχου ποιότητας ανακατασκευής.....	10
3.2.1. MSE.....	10
3.2.2. SNR & PSNR.....	13
3.2.3. SSIM.....	14
3.3. Image Super-Resolution via Sparse Representation.....	16
4. Πειραματικό Μέρος.....	19
4.1. Γενικού περιεχομένου.....	20
4.1.1. Τεχνικές Γενικού Περιεχομένου.....	20
4.1.2. BSDS200.....	26
4.1.3. General100.....	33
4.1.4. T91.....	40
4.2. Κτήρια.....	46
4.2.1. Τεχνικές Γενικού Περιεχομένου.....	46
4.2.2. BSDS200.....	48
4.2.3. General100.....	51
4.2.4. T91.....	53
5. Συμπεράσματα.....	57
6. Βιβλιογραφία.....	58

1. Εισαγωγή

Η καλή ποιότητα και ανάλυση μιας εικόνας είναι κάτι το οποίο επιθυμούμε για την επεξεργασία και μελέτη της. Δοθέντων των ανωτέρω μπορούμε να διαθέτουμε στην εικόνα περισσότερη πληροφορία και λεπτομέρεια όπου στην συνέχεια μπορεί να αναλυθεί σε διάφορα πεδία ερευνών. Συνήθως η πληροφορία μιας εικόνας περιορίζεται από την ποιότητα κατασκευής όπως για παράδειγμα του αισθητήρα της ή και του φακού της φωτογραφικής - βίντεο. Ένας τρόπος που μπορεί να ξεπεραστεί αυτό το εμπόδιο είναι με την δημιουργία ποιοτικά καλύτερων αισθητήρων, προσδίδοντας αυξημένο κόστος κατασκευής.

Ένας άλλος αρκετά διαδομένος τρόπος είναι μέσω του Machine Learning. Ο κλάδος που ερευνούμε από το εν λόγω επιστημονικό πεδίο είναι η τεχνική Super Resolution (SR) και πραγματοποιείται στην ήδη υπάρχουσα εικόνα που διαθέτουμε. Η SR είναι εφαρμόσιμη σε πολλά πεδία, όπως για παράδειγμα στην ακτινοδιαγνωστική όπου έχουμε εικόνες χαμηλής ανάλυσης και οι τεχνικές αυτές μπορούν να βοηθήσουν στην περαιτέρω ερμηνεία. Εναλλακτική εφαρμογή παρίσταται στα συστήματα καμερών ασφαλείας, όπου ενδεχόμενα σημεία ενδιαφέροντος χρίζουν διεξοδικότερη έρευνα.

Η προαναφερόμενη διαδικασία (SR) δεν είναι η μοναδική καθώς στο κόσμο της τεχνολογίας εξελίσσονται πρόσθετες εφαρμογές του Machine Learning. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι αναπτυσσόμενες εφαρμογές λήψης και ανάλυσης εικόνων μέσω των κινητών τηλεφώνων και φωτογραφικών μηχανών όπου σε αυτές κατά την διάρκεια της λήψης της φωτογραφίας εφαρμόζονται φίλτρα και αλγόριθμοι βελτιστοποίησης όπου ανάλογα το περιβάλλον προσαρμόζονται.

Στις πιο σύγχρονες μεθόδους και συγκεκριμένα μετά από την χρήση τους το 2014 από το Dong έχουν ενταχθεί στην επίλυση των προβλημάτων με SR η χρήση των Convolutional νευρωνικών δικτύων, τα οποία εκμεταλλεύονται την υπάρχουσα ανάπτυξη που έχει γίνει στον τομέα αυτόν και χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην επίλυση προβλημάτων που έχουν να κάνουν με εικόνες.

Εν κατακλείδι, αξίζει να σημειωθεί και πολύτιμη βοήθεια του καθηγητή του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, Νικόλαου Βασιλά για την καθοδήγηση για την εκπλήρωση της εργασίας αυτής

2. Γενική Περιγραφή

Η Super Resolution τεχνική έχει ως στόχο να μετατρέψει μια εικόνα χαμηλής ανάλυσης σε υψηλής ανάλυσης μορφή. Αυτό προσπαθεί να το επιτύχει μέσω μιας δοθέντας βάσης εικόνων χαμηλής ανάλυσης όπου έχουν δοθεί και έχουν αποθηκευτεί σε μια κοινή δομή με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να είναι κατανοητές. Συνήθως οι εικόνες που επιθυμούμε για εκπαίδευση είναι εικόνες ίδιου μεγέθους και ίδια σκηνής με την εικόνα που θέλουμε να μετατρέψουμε ή πιο γενικού περιεχόμενου προκειμένου να μπορούμε να τις εφαρμόσουμε στις περισσότερες περιπτώσεις. Οι εικόνες είναι συγκεκριμένες και χρησιμοποιούνται από άλλους ερευνητές για την χρήση όπως για παράδειγμα των πειραμάτων. Η επιλογή για την παρούσα εργασία έχει γίνει από SET 5 & 14 όπου σε αυτό προσφέρονται τρία διαφορετικά σετ εικόνων για την εκπαίδευση των λεξικών. Αυτά είναι:

- **BSDS200**
Εικόνες από την φύση και ανθρώπων από διάφορους πολιτισμούς
- **General100**
Εικόνες προσώπων, ζώων, φυτών και κτηρίων
- **T91**
Εικόνες κυρίως από αμάξια και φυτά

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι που μπορεί να χρησιμοποιηθεί η Super Resolution τεχνική και ένας από αυτούς είναι του Single Frame. Σε αυτή την προσέγγιση διαθέτουμε ένα λεξικό (Dictionary) όπου έχει χαρτογραφηθεί η αντιστοιχία των pixel μεταξύ χαμηλής και υψηλής ανάλυσης από τις εικόνες που του έχουν δοθεί. Με βάση αυτό, η προσέγγιση αυτή προσπαθεί να ανακατασκευάσει την εικόνα στην αρχική της μορφή πετυχαίνοντας το σε έναν καλό βαθμό. Οι εικόνες που δίνονται στη Single Frame είναι συνήθως γενικού περιεχόμενου ή όσο γίνεται από την εικόνα που θέλουμε να ανακτήσουμε.

Τέλος για την επίτευξη των αποτελεσμάτων μας κάναμε χρήση κώδικα από το github [3] που ωστόσο κάναμε αλλαγές και διορθώσεις πάνω σε αυτόν έτσι ώστε να έχουμε σωστά αποτελέσματα σύμφωνα με αυτό που κάνουμε.

3. Θεωρητικό Υπόβαθρο

Η τεχνική με την οποία θα ασχοληθούμε στη παρούσα Διπλωματική Εργασία είναι το paper του Jianchao Yang με τίτλο «Image Super-Resolution via Sparse Representation» του 2010. Θα την εφαρμόσουμε και θα πειραματιστούμε σε εικόνες γενικού περιεχομένου.

Προκειμένου να κατανοήσουμε τα πειραματικά μέρη θα πρέπει να καταλάβουμε και να εξηγήσουμε το θεωρητικό μέρος αυτής.

3.1. Βασικές Έννοιες

Ανάλυση Εικόνας

Σαφής ορισμός για το τι είναι ανάλυση εικόνας δεν μπορεί να δοθεί μιας και ανάλογα το πεδίο ερευνών υπάρχει διαφορετική σκοπιά χαρακτηρισμού της. Στο αντικείμενο το οποίο θα ασχοληθούμε στη παρούσα διπλωματική εργασία, θα μας απασχολήσει το τι είναι η Χωρική Ανάλυση μιας εικόνας.

Η Χωρική Ανάλυση μιας εικόνας ισούται με το πλήθος των pixel ανά ίντσα ή αλλιώς τελείες (dots) ανά ίντσα. Παράδειγμα μέτρησης εικόνας 400dpi: $400 \times 400 = 80.000$ pixel/inch

Sparsity & Density

Όταν μιλάμε για Sparsity (αραιότητα) και Density (πυκνότητα) αναφερόμαστε στο πόσα μη μηδενικά στοιχεία έχει ο πίνακας. Είναι πολλές οι φορές που γίνονται πράξεις με μηδενικά στοιχεία πράγμα που επηρεάζει στον χρόνο υπολογισμού για μια λύση ενός προβλήματος. Συνήθης λύση σε τέτοιου είδους ζητήματα είναι με την σύνδεση αραιών κύβων, όπου τα δεδομένα θα μείνουν συνεπή χωρίς να επιβραδυνθεί η επεξεργασία. Ένας πίνακας για παράδειγμα μπορεί να είναι 20% πυκνός και 80% αραιός. Το άθροισμα των ποσοστών της πυκνότητας και της αραιότητας πρέπει πάντα να βγάξει αποτέλεσμα 100%

Patch

Έστω ότι έχουμε μια εικόνα 50x50 pixel και την χωρίσουμε σε 100 κομμάτια των 5x5 pixel. Αυτού του είδους τα κομμάτια ονομάζονται patches και τα συναντάμε συχνά στην επεξεργασία εικόνας. Ο τρόπος που γίνεται η επιλογή των patches σχετίζεται από 2 παράγοντες. Το μέγεθος του patch και το πόσα patches θα θέλαμε να εξάγουμε από την εικόνα. Ανάλογα με το αν θα χρειαστεί να γίνει επικάλυψη επιλέγεται από πιο pixel θα ξεκινήσει και η διαδικασία επιλογής των patches.

Lp Norms

Στο Lp Space θα χρησιμοποιήσουμε κυρίως τις νόρμες με τις οποίες μπορούμε να εξάγουμε από αυτές σημαντική πληροφορία, όπως για παράδειγμα πόσα είναι τα μη μηδενικά στοιχεία σε έναν πίνακα. Ο ορισμός των νορμών και μια συνοπτική παρουσίαση της χρησιμότητά τους είναι ως εξής:

Ορισμός→

$$\|x\|_p = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^n |x_i|^p} \quad p > 0$$

Για $p=0$ → Βρίσκω το πλήθος των μη μηδενικών στοιχείων

Για $p=1$ → Βρίσκω το άθροισμα της απόστασης (Manhattan απόσταση)

Για $p=2$ → Βρίσκω την υποτείνουσα της απόστασης (Ευκλείδεια απόσταση)

Για $p=(\infty)$ → Βρίσκω την βέλτιστη απόσταση (Απόσταση Σκακιέρας)

3.2. Τρόποι ελέγχου ποιότητας ανακατασκευής

Προκειμένου να ελέγξουμε την ποιότητα των εικόνων μας,

3.2.1. MSE

Το Mean Sequence Error (Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα) χρησιμοποιείται ευρέως στην Στατιστική και με αυτό μπορεί να εκτιμηθεί η απόκλιση που μπορεί να υπάρξει από την μέση τιμή των δοθέντων τιμών. Με απλά λόγια μπορεί να εκφράσει την απόκλιση των τιμών από τη μέση τιμή ή μια δοθέντας τιμής. Όσο μικρότερο είναι το MSE τόσο πιο κοντά η εικόνα η οποία έχουμε με την αρχική της. Μαθηματικά, μπορούμε να περιγράψουμε το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα ως εξής:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_i')^2$$

Όπου n είναι το πλήθος των στοιχείων και το $(y_i - y_i')$ είναι:

- y_i → το σημείο στο χώρο
- y_i' → το σημείο του Μ.Ο.

Κάνοντας αυτές τις πράξεις παίρνουμε το MSE για τις τιμές που έχουμε δώσει.

Ένα παράδειγμα της χρήσης της είναι το εξής:

1) Έστω ότι έχω τις εξής 5 τιμές: 7, 8, 5, 4, 6.

Για αρχή βρίσκω τον Μέσο Όρο: $\frac{(7+8+5+4+6)}{5} = 6$

Οπότε:

$$MSE = \frac{((7 - 6)^2 + (8 - 6)^2 + (5 - 6)^2 + (4 - 6)^2 + (6 - 6)^2)}{5}$$
$$\Leftrightarrow \frac{(1 + 4 + 1 + 4 + 0)}{5} \Leftrightarrow MSE = 2$$

2) Έστω ότι είχαμε τώρα τις εξής 5 τιμές: 10, 6, 4, 9, 1.

Για αρχή βρίσκω τον Μέσο Όρο:

$$\frac{(10 + 6 + 4 + 9 + 1)}{5} = 6$$

Οπότε :

$$MSE = \frac{((10 - 6)^2 + (6 - 6)^2 + (4 - 6)^2 + (9 - 6)^2 + (1 - 6)^2)}{5}$$
$$\Leftrightarrow \frac{(16 + 0 + 4 + 9 + 25)}{5} \Leftrightarrow MSE = 10,8$$

Ανάμεσα στα 2 παραπάνω που παρουσιάστηκαν το προτιμητέο είναι πάντα αυτό με την χαμηλότερη τιμή μέσου τετραγωνικού σφάλματος και στην προκειμένη περίπτωση του 1^{ου} παραδείγματος μιας και οι αποκλείσεις των τιμών είναι αρκετά μικρότερες σε σχέση με του 2^{ου}.

Ένα άλλο παράδειγμα υπολογισμού του MSE στην περίπτωση των πινάκων είναι το εξής:

Έστω ότι έχω τους παρακάτω 2 πίνακες

Πίνακας Α

2	1	1
3	5	7
4	9	2

Πίνακας Β

0	3	1
8	4	6
2	9	5

Ο υπολογισμός για το MSE γίνεται με τον εξής τρόπο, βάζοντας τη κάθε στήλη σε σειρά:

<u>A</u>	<u>B</u>	<u>A-B</u>	<u>(A-B)^2</u>		
2	0	-2	4		
3	8	5	25		
4	2	-2	4		
1	3	2	4		
5	4	-1	1		
9	9	0	0		
1	1	0	0		
7	6	-1	1		
2	5	3	9		
				Σύνολο	48
				MSE	5,3333333

Στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, το MSE θα μας χρειαστεί για να δούμε την διαφορά μεταξύ της αρχικής εικόνας από αυτής που ανακτήθηκε. Η συνάρτηση την οποία θα χρησιμοποιήσουμε στην έρευνά μας θα είναι η `immse` από την βιβλιοθήκη του Matlab.

Ένα απλό παράδειγμα χρήσης της συνάρτησης είναι το εξής:

Έχω την αρχική εικόνα A, την ανακτημένη εικόνα B με την μέθοδο των πλησιέστερων γειτόνων (`nearest neighbors algorithm`) και την εικόνα Γ ανακτημένη με την μέθοδο `Bicubic`. Οι εικόνες είναι οι από κάτω:

Εικόνα A



Εικόνα Β



Εικόνα Γ



Εφαρμόζοντας σύγκριση μεταξύ της εικόνας Α και Β με την μέθοδο του τετραγωνικού σφάλματος (mse) βρίσκουμε ότι το Τετραγωνικό Σφάλμα ανάμεσα σε αυτές τις 2 εικόνες είναι: **34.6642**

Τώρα εφαρμόζουμε σύγκριση μεταξύ της Α και της Γ και παίρνουμε ως αποτέλεσμα το **17.8398**.

Επομένως σύμφωνα με την μέθοδο MSE η καλύτερη ανακτημένη εικόνα είναι η εικόνα Γ.

3.2.2. SNR & PSNR

Το PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) αποτελεί ένα μέτρο σύγκρισης ποιότητας ανάμεσα σε μια εικόνα που έχει παραμορφωθεί-ανακτηθεί και την αρχική της. Η μέτρησή του γίνεται σε db και για τον υπολογισμό του χρησιμοποιεί το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (MSE).

Μαθηματικά ορίζεται το PSNR ως εξής:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{R^2}{MSE} \right)$$

Στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, το PSNR θα μας χρειαστεί σαν μέτρο σύγκρισης ανάμεσα σε 2 εικόνες. Η συνάρτηση την οποία θα χρησιμοποιήσουμε στην έρευνά μας θα είναι η `psnr` από την βιβλιοθήκη του Matlab.

Ένα απλό δείγμα χρήσης και αποτελεσμάτων από τις εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για το MSE είναι το εξής:

Σύγκριση ανάμεσα σε εικόνα A και B:

`peaksnr =`

32.7320

`snr =`

28.5183

Σύγκριση ανάμεσα σε εικόνα A και Γ:

`peaksnr =`

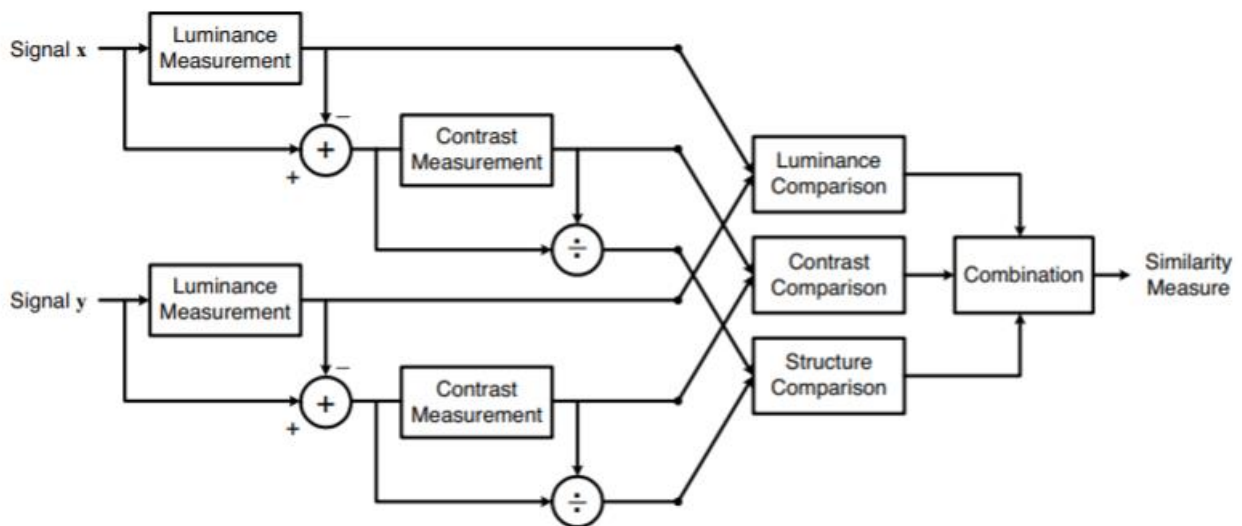
35.6169

`snr =`

31.4019

3.2.3. SSIM

Ο SSIM (Structural Similarity Index) είναι ένας αλγόριθμος που μετρά ανάμεσα σε 2 φωτογραφίες την ομοιότητά τους. Οι κατηγορίες κατά τις οποίες γίνεται σύγκριση είναι η Φωτεινότητα, η Αντίθεση και η Δομή (luminance, contrast, structure). Το σχεδιάγραμμα επεξήγησής της λειτουργίας του είναι το ακόλουθο:



Όπως μπορούμε να δούμε για αρχή μετράτε για κάθε εικόνα ξεχωριστά η Φωτεινότητα και η Αντίθεση για κάθε μία εικόνα ξεχωριστά. Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση ως προς την Φωτεινότητα, Αντίθεση και Δομή και τέλος γίνεται ένας συνδυασμός όπου και παρουσιάζονται οι διαφορές.

Στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, το SSIM θα μας χρειαστεί για σύγκριση ανάμεσα σε 2 εικόνες. Η συνάρτηση την οποία θα χρησιμοποιήσουμε στην έρευνά μας θα είναι η `ssim` από την βιβλιοθήκη του Matlab.

Ένα απλό δείγμα χρήσης και αποτελεσμάτων από τις εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για το MSE είναι το εξής:

Σύγκριση ανάμεσα σε εικόνα Α και Β:



Σύγκριση ανάμεσα σε εικόνα Α και Γ:

SSIM Value = 0.97941



Σύμφωνα με το SSIM τα περισσότερα οπτικά κοινά με την αρχική εικόνα τα έχει η ανακτημένη εικόνα Γ. Ο αριθμός SSIM Value που έχει προστεθεί από πάνω είναι ένα μέτρο που μας δείχνει κατά πόσο κοντά είναι με την αρχική εικόνα η εικόνα που συγκρίθηκε. Όσο πιο κοντά είναι στον αριθμό 1 είναι το SSIM Value, τόσο πιο παρόμοια με την αρχική είναι η εικόνα μας

3.3. Image Super-Resolution via Sparse Representation

Αυτό που ζητάτε στην παρούσα τεχνική είναι το εξής: Έχοντας δοθεί μια εικόνα χαμηλής ανάλυσης **B**, να ανακτήσουμε εικόνα **A** υψηλής ανάλυσης, ίδιου περιεχομένου με την **B**. Ωστόσο για να επιτευχθεί αυτό υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί.

- Ο πρώτος έγκειται στο ότι προκειμένου να πραγματοποιηθεί η ανακατασκευή της εικόνας θα πρέπει να έχει τις προϋποθέσεις που ορίζει το μοντέλο παρατήρησης.
- Το δεύτερο είναι ότι σύμφωνα με την αρχή της αραιότητας, τα patches της υψηλής ανάλυσης θα πρέπει να είναι σε θέση να αναπαρασταθούν σε ένα υπέρπληρες λεξικό και οι αραιές τους αναπαραστάσεις να μπορούν να ανακτηθούν από χαμηλής ποιότητας παρατηρήσεις

Περιορισμοί Μοντέλου Παρατήρησης και Αρχή της Αραιότητας:

Η θολή και χαμηλής ποιότητας παρατηρούμενη εικόνα **B** είναι μια πιο χαμηλής έκδοσης εικόνα της **A**. Για αυτή τη σχέση μεταξύ τους ισχύει η εξής σχέση:

$$\mathbf{B} = \mathbf{S}\mathbf{H}\mathbf{A} \quad (i)$$

Όπου το **S** είναι το κατά πόσο χαμηλή έκδοση είναι και το **H** είναι το κατά πόσο θολή είναι. Ο παραπάνω περιορισμός ανακατασκευής καλύπτει απεριόριστο αριθμό από πιθανές υψηλής ανάλυσης εικόνες **A** δθέντος μιας **B** εικόνας, για αυτό και η Super Resolution τεχνική παραμένει μια ill-posed.

Παρόλο που υπάρχει ο άνω περιορισμός, το πρόβλημα μας μπορεί να κανονικοποιηθεί, χωρίζοντας την ανακτημένη εικόνα \mathbf{A} σε μικρότερα patches \mathbf{a} . Αυτά μπορούν να αποθηκευτούν σε ένα λεξικό D_h , το οποίο έχει εκπαιδευτεί από τα patches των υψηλής ποιότητας εικόνων εκπαίδευσης, σαν γραμμική αραιή αναπαράσταση. Γενικότερα ισχύει το εξής:

$$\mathbf{a} \approx D_h \alpha \quad \text{για μερικά } \alpha \in \mathbb{R}^K \text{ με } \|\alpha\|_0 \ll K \quad (\text{ii})$$

δεδομένου το ότι θα έχει γίνει η εκπαίδευση στην δοθέντα εικόνα \mathbf{B} και τα patches της θα έχουν αποθηκευτεί σε ένα χαμηλής ποιότητας λεξικό D_l , με την ίδια λογική που έγινε και στο D_h , το α θα είναι η αραιή αναπαράσταση των ανακτημένων patches \mathbf{b} της \mathbf{B} χαμηλής ανάλυσης εικόνας που δόθηκε.

Με βάση τα δυο παραπάνω η διαδικασία της αποκατάστασης ξεκινάει από το (ii) όπου βρίσκεται η αραιή αναπαράσταση για κάθε patch την αραιή συμβατότητα μεταξύ το γειτόνων του και ύστερα με βάση το (i) κανονικοποιεί και ξεκαθαρίζει την εικόνα. Με αυτό τον τρόπο η εικόνα γίνεται όσο τον δυνατόν πιο κοντά στην αρχική της. Ωστόσο η διαδικασία όσον αφορά τα πρόσωπα δρα διαφορετικά μιας και αυτά έχουν χαρακτηριστικά τα οποία είναι κοινά (μάτια, στόμα κλπ) και κατά συνέπεια μπορεί πιο εύκολα να υπάρξει με την κατάλληλη προεργασία, καλύτερα αποτελέσματα.

Ο γενικός αλγόριθμος

Ο αλγόριθμος που έχουμε αναφερθεί λειτουργεί με τον εξής τρόπο:

A) Για παραμέτρους εισόδου τα στοιχεία που εισάγονται είναι

- Η χαμηλής ανάλυσης εικόνα \mathbf{B}
- Και τα λεξικά D_h και D_l που έχουν εκπαιδευτεί

B) Ανάλογα με το μέγεθος του patch που έχουμε ορίσει (π.χ. patch=5), παίρνουμε έναν μοναδικό συνδυασμό από patches $5 \times 5 = b$ του \mathbf{B} όπου στη συνέχεια:

- Υπολογίζεται η τιμή του βασικού pixel m του patch b
- Με το εξής τύπο $\min_a \|\tilde{D}_a - \tilde{b}\|_2^2 + \lambda \|\alpha\|_1$ και έχοντας υπολογίσει τα \tilde{D} και \tilde{b} λύνουμε το πρόβλημα της βελτιστοποίησης
- Εξάγουμε της υψηλής ποιότητας patch $a = D_h \alpha^*$ και ύστερα αυτό το patch $a+m$ το προσθέτουμε στην υψηλής ανάλυσης εικόνα A_0

Γ) Έχοντας τελειώσει αυτό τον κύκλο χρησιμοποιούμε τη μέθοδο του gradient descent (κάθοδος βασισμένη στη κλήση) έτσι ώστε να δημιουργήσουμε την εικόνα A_0 όπου καλύπτει τους περιορισμούς ανακατασκευής:

$$A^* = \arg \min_x \|\mathbf{SHA} - \mathbf{B}\|_2^2 + c \|\mathbf{A} - \mathbf{A}_0\|_2^2$$

Δ) Η έξοδος μας η ανακτημένη φωτογραφία A^*

Στο paper του Yang περιγράφεται και μια διαφορετική προσέγγιση όσον αφορά την ανακατασκευή φωτογραφιών με πρόσωπα με τη χρήση ενός πίνακα \mathbf{U} όπου μέσα σε αυτόν συνυπολογίζεται και η αραιότητα της εικόνας

Εκπαίδευση Λεξικών

Η εκπαίδευση των λεξικών είναι μια διαδικασία σημαντική για την επιτυχία του αλγορίθμου μιας και με βάση αυτή θα γίνει η ανακατασκευή η οποία επιθυμούμε. Η

διαδικασία υπολογισμού τους δεν θα πρέπει να περίπλοκη ή να οδηγεί σε μεγάλα δεδομένα. Για αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί 2 διαφορετικές στρατηγικές ως προς την εξαγωγή των δεδομένων για αυτά. Οι 2 αυτές στρατηγικές είναι:

- Single Dictionary Training (Απλή Εκπαίδευση Λεξικού)
- Joint Dictionary Training

Η αναφορά σε μια από αυτές:

Απλή Εκπαίδευση Λεξικού

Τα λεξικά συνήθως μαθαίνουν από παραδείγματα και στην προκειμένη περίπτωση από κομμάτια (patches) των εικόνων $X = \{x_1, x_2, \dots, x_t\}$. Γενικά η κωδικοποίηση της αραιότητας είναι πρόβλημα και συνήθως είναι δύσκολο να κατασκευαστεί ένα λεξικό που να καλύπτει τα κριτήρια της αραιής αναπαράστασης. Ωστόσο κατά τα προηγούμενα χρόνια έχουν υπάρξει έρευνες και ανάπτυξη αλγορίθμων όπου μας έχουν βοηθήσει στο να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα. Οπότε για αυτό το λόγο σε αυτή τη τεχνική χρησιμοποιείται η εξής πράξη για την εκπαίδευση του λεξικού:

$$D = \underset{D, Z}{\operatorname{argmin}} \|X - DZ\|_2^2 + \lambda \|Z\|_1$$

όπου $\|X - DZ\|_2^2$ (l_2 norm) αφαιρεί από το D τα μη σωστά στοιχεία από το λεξικό την και το $\|Z\|_1$ (l_1 norm) είναι για να ενισχύσει την αραιότητα. Τα βήματα που ακολουθούνται γενικώς είναι τα εξής:

- 1) Αρχικοποίηση του D (χρήση του τυχαίου Gaussian πίνακα για κάθε κομμάτι που είναι κανονικοποιημένο)
- 2) Αφού έχει φτιαχτεί το D τότε δημιουργούμε το Z:

$$Z = \underset{Z}{\operatorname{argmin}} \|X - DZ\|_2^2 + \lambda \|Z\|_1$$

- 3) Αφού έχει φτιαχτεί το Z τότε δημιουργούμε το D:

$$D = \underset{D}{\operatorname{argmin}} \|X - DZ\|_2^2 \text{ s.t. } \|D\|_2^2 \leq 1, i = 1, 2, \dots, K,$$

- 4) Γίνεται επανάληψη του 2 και του 3 μέχρι να υπάρξει σύγκριση

4. Πειραματικό Μέρος

Σε αυτό το σημείο θα γίνει εφαρμογή και παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τα πειράματα σε εικόνες γενικού περιεχομένου και ύστερα σε ορθοφωτογραφία στην από την περιοχή της Καλλιθέας με την χρήση του αλγορίθμου του Yang. Η αποτίμηση των αποτελεσμάτων θα μετρηθούν με τα εξής παρακάτω εργαλεία όπως έχουν ήδη αναφερθεί:

- Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (MSE)
- PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)
- SSIM (Structural Similarity Index)

Οι εικόνες του γενικού περιεχομένου είναι από το SET5 και τα λεξικά που έχουν εκπαιδευτεί οι εικόνες είναι τα από τα:

- BSD200
- General100
- T91

Επίσης θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα και με τις πιο γενικές τεχνικές οι οποίες θα είναι:

- Bicubic
- Bilinear
- Nearest

Για το καθένα από αυτά έχουν δημιουργηθεί λεξικά με την εξής στοιχεία στη δειγματοληψία:

- Αραιότητα: $\lambda = 0.15$
- Μέγεθος patch: 5
- Αριθμός των patches: 100.000
- Upscale: 2

Τα μεγέθη για το καθένα από αυτά τα λεξικά ήταν: 256, 512, 1024, 2048

4.1. Γενικού περιεχομένου

Οι αρχικές εικόνες είναι:



Σημείωση: Οι εικόνες που παρουσιάζονται είναι με την σειρά που αναφέρονται στα αποτελέσματα

4.1.1. Τεχνικές Γενικού Περιεχομένου

Παιδί

Αποτελέσματα

- MSE

```
Bicubic || Mean-squared error is 17.8398  
Bilinear || Mean-squared error is 24.1498  
Nearest || Mean-squared error is 34.6642
```

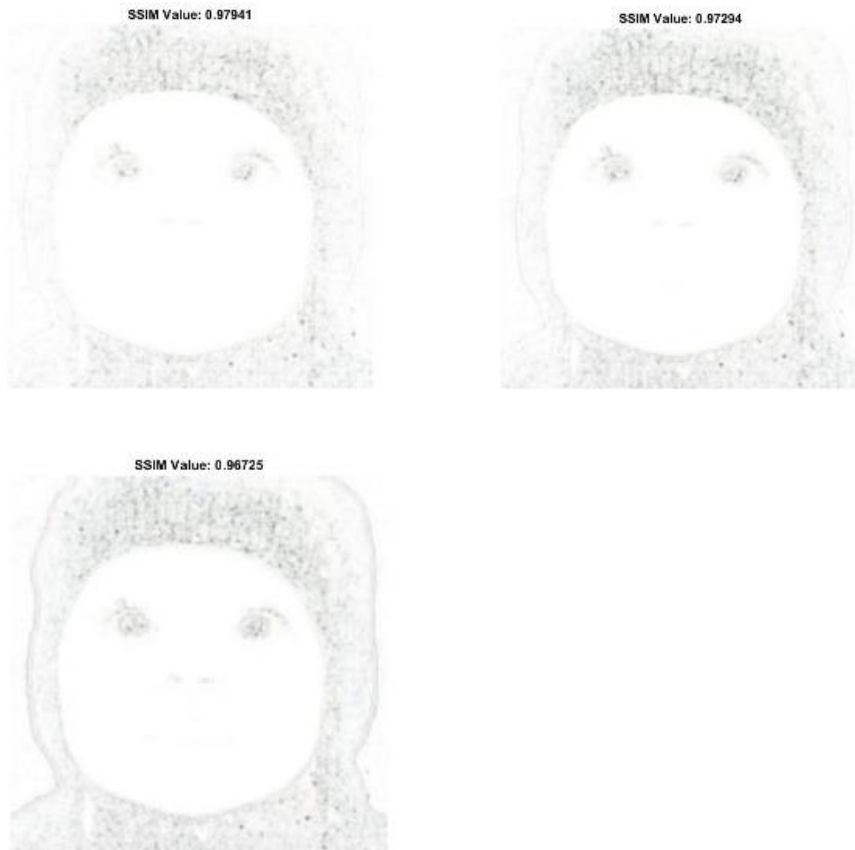


- PSNR

```
Bicubic || The Peak-SNR value is 35.6169  
Bicubic || The SNR value is 31.4019  
Bilinear || The Peak-SNR value is 34.3017  
Bilinear || The SNR value is 30.0894  
Nearest || The Peak-SNR value is 32.7320  
Nearest || The SNR value is 28.5183
```



- SSIM



Ντουκάν

Αποτελέσματα

- MSE

```
Bicubic || Mean-squared error is 21.1656  
Bilinear || Mean-squared error is 33.4048  
Nearest || Mean-squared error is 56.2352
```



- PSNR

```
Bicubic || The Peak-SNR value is 34.8745  
Bicubic || The SNR value is 25.7543  
  
Bilinear || The Peak-SNR value is 32.8927  
Bilinear || The SNR value is 23.7455  
  
Nearest || The Peak-SNR value is 30.6307  
Nearest || The SNR value is 21.5204
```



- SSIM

SSIM Value: 0.99075



SSIM Value: 0.98571



SSIM Value: 0.97672



Πεταλούδα

Αποτελέσματα

- MSE

```
Bicubic || Mean-squared error is 158.9102  
Bilinear || Mean-squared error is 220.7594  
Nearest || Mean-squared error is 288.2162
```



- PSNR

```
Bicubic || The Peak-SNR value is 26.1193
Bicubic || The SNR value is 20.5089

Bilinear || The Peak-SNR value is 24.6916
Bilinear || The SNR value is 19.0202

Nearest || The Peak-SNR value is 23.5336
Nearest || The SNR value is 17.9448
```



- SSIM

SSIM Value: 0.957



SSIM Value: 0.94248



SSIM Value: 0.93244



Κεφάλι

Αποτελέσματα

- MSE

```
Bicubic || Mean-squared error is 45.9465  
Bilinear || Mean-squared error is 52.2840  
Nearest || Mean-squared error is 56.2340
```



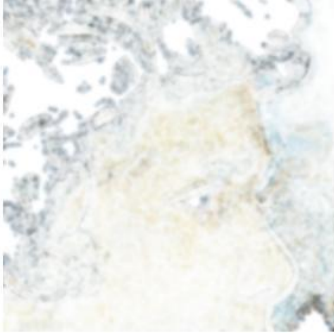
- PSNR

```
Bicubic || The Peak-SNR value is 31.5083  
Bicubic || The SNR value is 23.2225  
Bilinear || The Peak-SNR value is 30.9471  
Bilinear || The SNR value is 22.6650  
Nearest || The Peak-SNR value is 30.6308  
Nearest || The SNR value is 22.3485
```

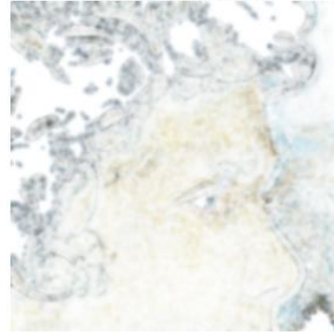


- SSIM

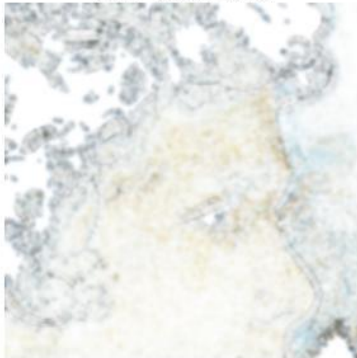
SSIM Value: 0.92274



SSIM Value: 0.91171



SSIM Value: 0.912



4.1.2. BSDS200

Παιδί

Αποτελέσματα

- MSE

```
Dictionary: BSDS200, Size: 256 || Mean-squared error is 18.8438  
Dictionary: BSDS200, Size: 512 || Mean-squared error is 19.1690  
Dictionary: BSDS200, Size: 1024 || Mean-squared error is 19.2154  
Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || Mean-squared error is 18.9460
```



- PSNR

```
Dictionary: BSDS200, Size: 256 || The Peak-SNR value is 35.3791
Dictionary: BSDS200, Size: 256 || The SNR value is 31.1686

Dictionary: BSDS200, Size: 512 || The Peak-SNR value is 35.3048
Dictionary: BSDS200, Size: 512 || The SNR value is 31.0943

Dictionary: BSDS200, Size: 1024 || The Peak-SNR value is 35.2943
Dictionary: BSDS200, Size: 1024 || The SNR value is 31.0839

Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 35.3556
Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || The SNR value is 31.1451

Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 35.3556
Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || The SNR value is 31.1451
```



- SSIM

SSIM Value: 0.97846



SSIM Value: 0.97777



SSIM Value: 0.97802



SSIM Value: 0.97787



Ντουκάν

Αποτελέσματα

- MSE

```
Dictionary: BSDS200, Size: 256 || Mean-squared error is 19.4817
```

```
Dictionary: BSDS200, Size: 512 || Mean-squared error is 19.6248
```

```
Dictionary: BSDS200, Size: 1024 || Mean-squared error is 20.4175
```

```
Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || Mean-squared error is 19.0046
```



- PSNR

```
Dictionary: BSDS200, Size: 256 || The Peak-SNR value is 35.2345
Dictionary: BSDS200, Size: 256 || The SNR value is 26.1395

Dictionary: BSDS200, Size: 512 || The Peak-SNR value is 35.2028
Dictionary: BSDS200, Size: 512 || The SNR value is 26.1080

Dictionary: BSDS200, Size: 1024 || The Peak-SNR value is 35.0308
Dictionary: BSDS200, Size: 1024 || The SNR value is 25.9354

Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 35.3422
Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || The SNR value is 26.2470

Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 35.3422
Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || The SNR value is 26.2470
```



- SSIM

SSIM Value: 0.9899



SSIM Value: 0.98953



SSIM Value: 0.98956



SSIM Value: 0.9898



Πεταλούδα

Αποτελέσματα

- MSE

```
Dictionary: BSDS200, Size: 256 || Mean-squared error is 117.5937
Dictionary: BSDS200, Size: 512 || Mean-squared error is 113.5553
Dictionary: BSDS200, Size: 1024 || Mean-squared error is 113.3749
Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || Mean-squared error is 115.1287
```



- PSNR

```
Dictionary: BSDS200, Size: 256 || The Peak-SNR value is 27.4270
Dictionary: BSDS200, Size: 256 || The SNR value is 21.8813

Dictionary: BSDS200, Size: 512 || The Peak-SNR value is 27.5787
Dictionary: BSDS200, Size: 512 || The SNR value is 22.0330

Dictionary: BSDS200, Size: 1024 || The Peak-SNR value is 27.5856
Dictionary: BSDS200, Size: 1024 || The SNR value is 22.0406

Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 27.5190
Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || The SNR value is 21.9747

Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 27.5190
Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || The SNR value is 21.9747
```



- SSIM



Κεφάλι

Αποτελέσματα

- MSE

```
Dictionary: BSDS200, Size: 256 || Mean-squared error is 44.9497  
Dictionary: BSDS200, Size: 512 || Mean-squared error is 45.1576  
Dictionary: BSDS200, Size: 1024 || Mean-squared error is 45.0297  
Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || Mean-squared error is 44.9165
```




- PSNR

```
Dictionary: BSDS200, Size: 256 || The Peak-SNR value is 31.6035
Dictionary: BSDS200, Size: 256 || The SNR value is 23.3271

Dictionary: BSDS200, Size: 512 || The Peak-SNR value is 31.5835
Dictionary: BSDS200, Size: 512 || The SNR value is 23.3072

Dictionary: BSDS200, Size: 1024 || The Peak-SNR value is 31.5958
Dictionary: BSDS200, Size: 1024 || The SNR value is 23.3195

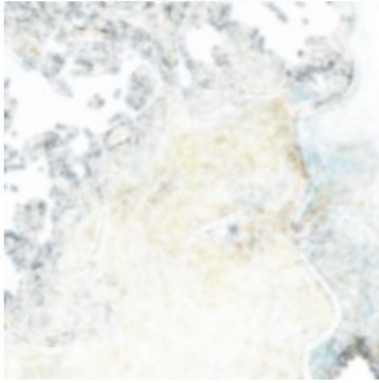
Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 31.6067
Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || The SNR value is 23.3305

Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 31.6067
Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || The SNR value is 23.3305
```

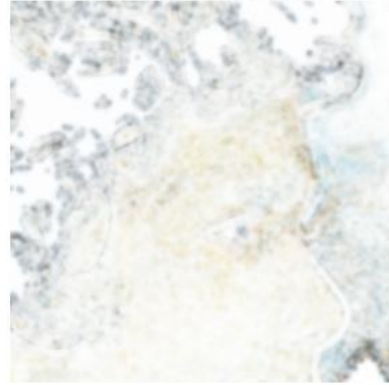


- SSIM

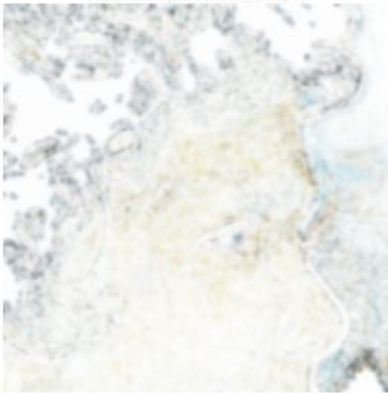
SSIM Value: 0.92597



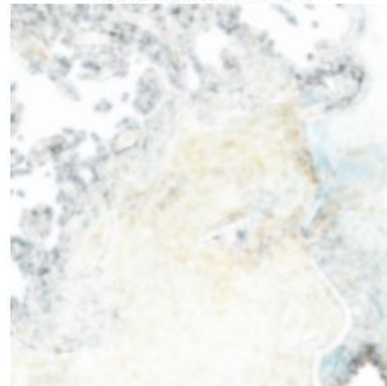
SSIM Value: 0.92551



SSIM Value: 0.92588



SSIM Value: 0.92555



4.1.3. General100

Παιδί

Αποτελέσματα

- MSE

```
Dictionary: General100, Size: 256 || Mean-squared error is 18.4153  
Dictionary: General100, Size: 512 || Mean-squared error is 16.3657  
Dictionary: General100, Size: 1024 || Mean-squared error is 16.2293  
Dictionary: General100, Size: 2048 || Mean-squared error is 16.1592
```



- PSNR

```
Dictionary: General100, Size: 256 || The Peak-SNR value is 35.4790
Dictionary: General100, Size: 256 || The SNR value is 31.2672

Dictionary: General100, Size: 512 || The Peak-SNR value is 35.9915
Dictionary: General100, Size: 512 || The SNR value is 31.7805

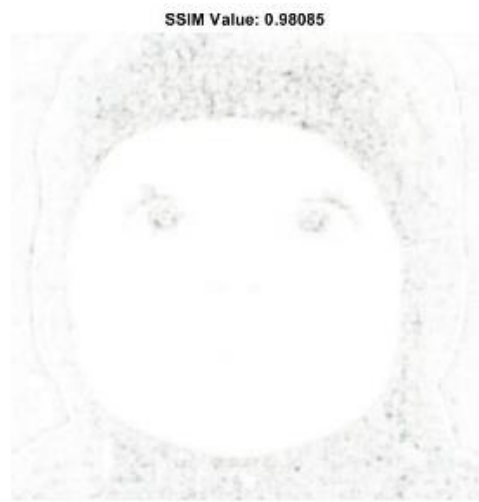
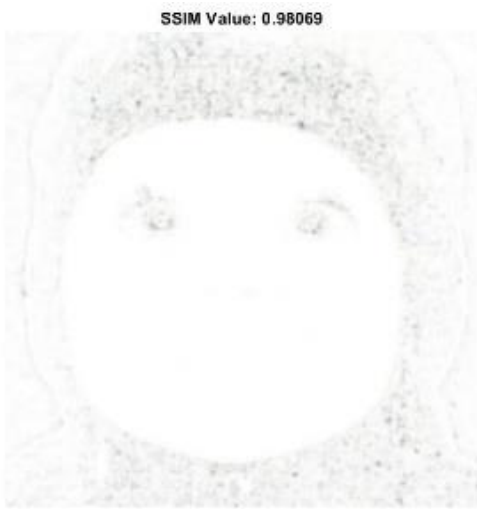
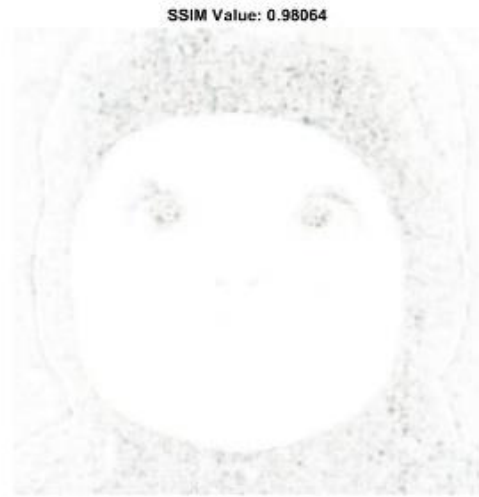
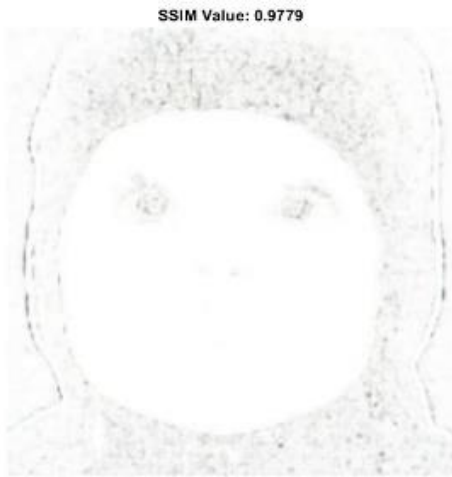
Dictionary: General100, Size: 1024 || The Peak-SNR value is 36.0278
Dictionary: General100, Size: 1024 || The SNR value is 31.8169

Dictionary: General100, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 36.0466
Dictionary: General100, Size: 2048 || The SNR value is 31.8347

Dictionary: General100, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 36.0466
Dictionary: General100, Size: 2048 || The SNR value is 31.8347
```



- SSIM



Ντουκάν

Αποτελέσματα

- MSE

```
Dictionary: General100, Size: 256 || Mean-squared error is 19.9141  
Dictionary: General100, Size: 512 || Mean-squared error is 16.0124  
Dictionary: General100, Size: 1024 || Mean-squared error is 15.4683  
Dictionary: General100, Size: 2048 || Mean-squared error is 15.4685
```



- PSNR

```
Dictionary: General100, Size: 256 || The Peak-SNR value is 35.1392
Dictionary: General100, Size: 256 || The SNR value is 26.0437

Dictionary: General100, Size: 512 || The Peak-SNR value is 36.0862
Dictionary: General100, Size: 512 || The SNR value is 26.9895

Dictionary: General100, Size: 1024 || The Peak-SNR value is 36.2364
Dictionary: General100, Size: 1024 || The SNR value is 27.1391

Dictionary: General100, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 36.2363
Dictionary: General100, Size: 2048 || The SNR value is 27.1396

Dictionary: General100, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 36.2363
Dictionary: General100, Size: 2048 || The SNR value is 27.1396
```



- SSIM

SSIM Value: 0.98889



SSIM Value: 0.99167



SSIM Value: 0.99189



SSIM Value: 0.99182



Πεταλούδα

Αποτελέσματα

- MSE

```
Dictionary: General100, Size: 256 || Mean-squared error is 121.7603
Dictionary: General100, Size: 512 || Mean-squared error is 92.0902
Dictionary: General100, Size: 1024 || Mean-squared error is 90.7481
Dictionary: General100, Size: 2048 || Mean-squared error is 89.6915
```



- PSNR

```
Dictionary: General100, Size: 256 || The Peak-SNR value is 27.2757
Dictionary: General100, Size: 256 || The SNR value is 21.7283

Dictionary: General100, Size: 512 || The Peak-SNR value is 28.4887
Dictionary: General100, Size: 512 || The SNR value is 22.9398

Dictionary: General100, Size: 1024 || The Peak-SNR value is 28.5524
Dictionary: General100, Size: 1024 || The SNR value is 23.0040

Dictionary: General100, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 28.6033
Dictionary: General100, Size: 2048 || The SNR value is 23.0550

Dictionary: General100, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 28.6033
Dictionary: General100, Size: 2048 || The SNR value is 23.0550
```



- SSIM



Κεφάλι

Αποτελέσματα

- MSE

```
Dictionary: General100, Size: 256 || Mean-squared error is 44.4663  
Dictionary: General100, Size: 512 || Mean-squared error is 43.0826  
Dictionary: General100, Size: 1024 || Mean-squared error is 43.1159  
Dictionary: General100, Size: 2048 || Mean-squared error is 43.0730
```



- PSNR


```
Dictionary: General100, Size: 256 || The Peak-SNR value is 31.6505
Dictionary: General100, Size: 256 || The SNR value is 23.3736

Dictionary: General100, Size: 512 || The Peak-SNR value is 31.7878
Dictionary: General100, Size: 512 || The SNR value is 23.5104

Dictionary: General100, Size: 1024 || The Peak-SNR value is 31.7844
Dictionary: General100, Size: 1024 || The SNR value is 23.5071

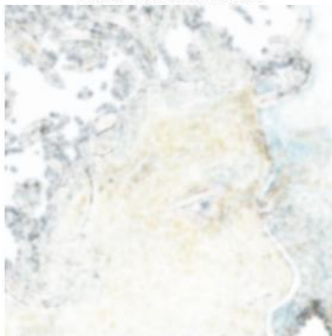
Dictionary: General100, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 31.7888
Dictionary: General100, Size: 2048 || The SNR value is 23.5117

Dictionary: General100, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 31.7888
Dictionary: General100, Size: 2048 || The SNR value is 23.5117
```

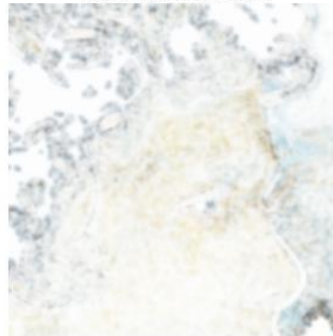


- SSIM

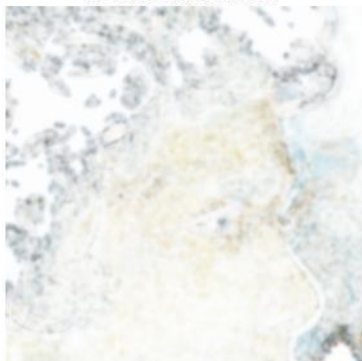
SSIM Value: 0.92627



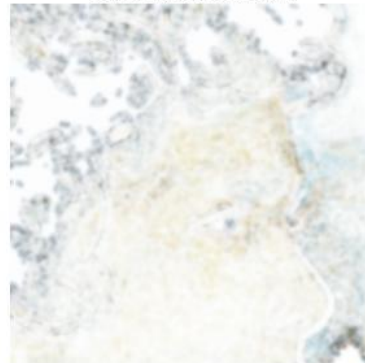
SSIM Value: 0.92884



SSIM Value: 0.9286



SSIM Value: 0.92874



4.1.4. T91

Παιδί

Αποτελέσματα

- MSE

```
Dictionary: T91, Size: 256 || Mean-squared error is 17.0674  
Dictionary: T91, Size: 512 || Mean-squared error is 17.8257  
Dictionary: T91, Size: 1024 || Mean-squared error is 17.3896  
Dictionary: T91, Size: 2048 || Mean-squared error is 17.5745
```



- PSNR

```
Dictionary: T91, Size: 256 || The Peak-SNR value is 35.8091  
Dictionary: T91, Size: 256 || The SNR value is 31.5973  
  
Dictionary: T91, Size: 512 || The Peak-SNR value is 35.6203  
Dictionary: T91, Size: 512 || The SNR value is 31.4087  
  
Dictionary: T91, Size: 1024 || The Peak-SNR value is 35.7279  
Dictionary: T91, Size: 1024 || The SNR value is 31.5162  
  
Dictionary: T91, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 35.6820  
Dictionary: T91, Size: 2048 || The SNR value is 31.4702  
  
Dictionary: T91, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 35.6820  
Dictionary: T91, Size: 2048 || The SNR value is 31.4702
```



- SSIM

SSIM Value: 0.97959



SSIM Value: 0.97954



SSIM Value: 0.9796



SSIM Value: 0.9795



Ντουκάν

Αποτελέσματα

- MSE

```
Dictionary: T91, Size: 256 || Mean-squared error is 18.5290  
Dictionary: T91, Size: 512 || Mean-squared error is 18.4445  
Dictionary: T91, Size: 1024 || Mean-squared error is 17.1450  
Dictionary: T91, Size: 2048 || Mean-squared error is 16.9994
```



- PSNR

```
Dictionary: T91, Size: 256 || The Peak-SNR value is 35.4523
Dictionary: T91, Size: 256 || The SNR value is 26.3554

Dictionary: T91, Size: 512 || The Peak-SNR value is 35.4721
Dictionary: T91, Size: 512 || The SNR value is 26.3763

Dictionary: T91, Size: 1024 || The Peak-SNR value is 35.7894
Dictionary: T91, Size: 1024 || The SNR value is 26.6937

Dictionary: T91, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 35.8265
Dictionary: T91, Size: 2048 || The SNR value is 26.7307

Dictionary: T91, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 35.8265
Dictionary: T91, Size: 2048 || The SNR value is 26.7307
```



- SSIM

SSIM Value: 0.99026



SSIM Value: 0.9907



SSIM Value: 0.99093



SSIM Value: 0.99087



Πεταλούδα

Αποτελέσματα

- MSE

```
Dictionary: T91, Size: 256 || Mean-squared error is 113.2997
Dictionary: T91, Size: 512 || Mean-squared error is 100.9041
Dictionary: T91, Size: 1024 || Mean-squared error is 97.9288
Dictionary: T91, Size: 2048 || Mean-squared error is 100.3498
```



- PSNR

```
Dictionary: T91, Size: 256 || The Peak-SNR value is 27.5885
Dictionary: T91, Size: 256 || The SNR value is 22.0393

Dictionary: T91, Size: 512 || The Peak-SNR value is 28.0917
Dictionary: T91, Size: 512 || The SNR value is 22.5434

Dictionary: T91, Size: 1024 || The Peak-SNR value is 28.2217
Dictionary: T91, Size: 1024 || The SNR value is 22.6749

Dictionary: T91, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 28.1156
Dictionary: T91, Size: 2048 || The SNR value is 22.5684

Dictionary: T91, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 28.1156
Dictionary: T91, Size: 2048 || The SNR value is 22.5684
```



- SSIM



Κεφάλι

Αποτελέσματα

- MSE

```
Dictionary: T91, Size: 256 || Mean-squared error is 44.7385  
Dictionary: T91, Size: 512 || Mean-squared error is 43.8677  
Dictionary: T91, Size: 1024 || Mean-squared error is 44.0724  
Dictionary: T91, Size: 2048 || Mean-squared error is 43.8949
```



- PSNR

```
Dictionary: T91, Size: 256 || The Peak-SNR value is 31.6240
Dictionary: T91, Size: 256 || The SNR value is 23.3470

Dictionary: T91, Size: 512 || The Peak-SNR value is 31.7094
Dictionary: T91, Size: 512 || The SNR value is 23.4324

Dictionary: T91, Size: 1024 || The Peak-SNR value is 31.6891
Dictionary: T91, Size: 1024 || The SNR value is 23.4122

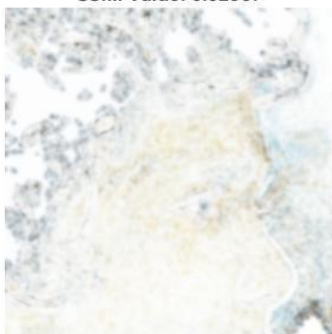
Dictionary: T91, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 31.7067
Dictionary: T91, Size: 2048 || The SNR value is 23.4297

Dictionary: T91, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 31.7067
Dictionary: T91, Size: 2048 || The SNR value is 23.4297
```

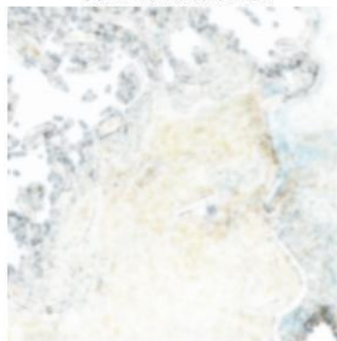


- SSIM

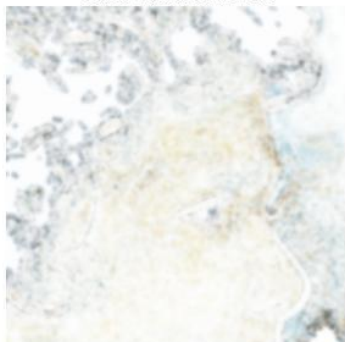
SSIM Value: 0.92587



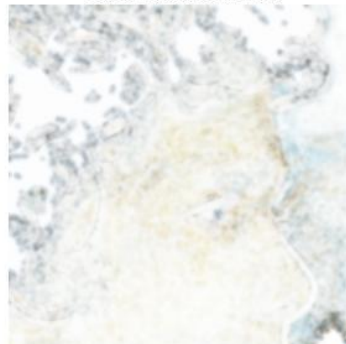
SSIM Value: 0.92784



SSIM Value: 0.92751



SSIM Value: 0.92763

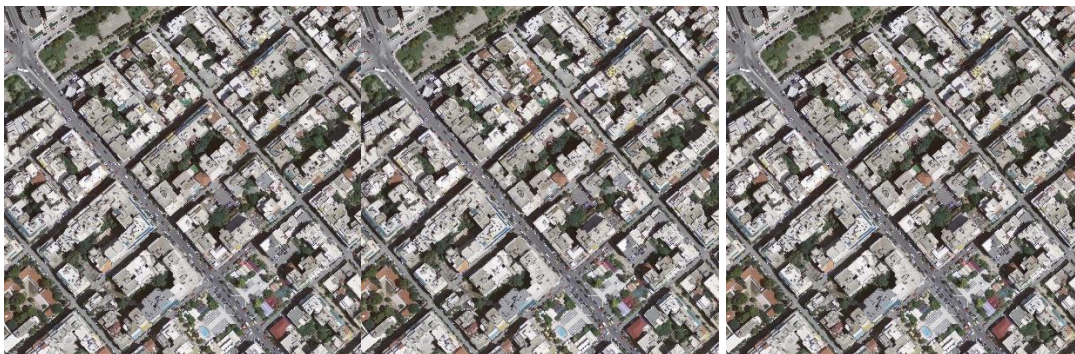


4.2. Κτήρια

4.2.1. Τεχνικές Γενικού Περιεχομένου

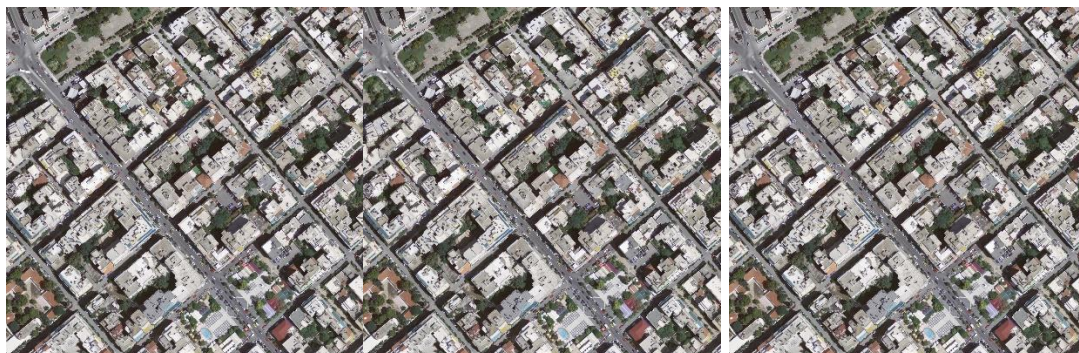
- MSE

```
Bicubic || Mean-squared error is 197.4661  
Bilinear || Mean-squared error is 212.6122  
Nearest || Mean-squared error is 274.6363
```



- PSNR

```
Bicubic || The Peak-SNR value is 25.1759  
Bicubic || The SNR value is 20.4384  
Bilinear || The Peak-SNR value is 24.8549  
Bilinear || The SNR value is 20.0991  
Nearest || The Peak-SNR value is 23.7432  
Nearest || The SNR value is 19.0158
```



- SSIM

Bicubic

SSIM Value: 0.8588



Bilinear

SSIM Value: 0.83803



Nearest

SSIM Value: 0.81801



4.2.2. BSDS200

- MSE

```
Dictionary: BSDS200, Size: 256 || Mean-squared error is 208.0904
```

```
Dictionary: BSDS200, Size: 512 || Mean-squared error is 208.7131
```

```
Dictionary: BSDS200, Size: 1024 || Mean-squared error is 210.1156
```

```
Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || Mean-squared error is 209.9652
```



- PSNR


```
Dictionary: BSDS200, Size: 256 || The Peak-SNR value is 24.9483
Dictionary: BSDS200, Size: 256 || The SNR value is 20.2386

Dictionary: BSDS200, Size: 512 || The Peak-SNR value is 24.9353
Dictionary: BSDS200, Size: 512 || The SNR value is 20.2258

Dictionary: BSDS200, Size: 1024 || The Peak-SNR value is 24.9062
Dictionary: BSDS200, Size: 1024 || The SNR value is 20.1969

Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 24.9093
Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || The SNR value is 20.1998

Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 24.9093
Dictionary: BSDS200, Size: 2048 || The SNR value is 20.1998
```



- SSIM

Dictionary Size: 256

SSIM Value: 0.8655



Dictionary Size: 512

SSIM Value: 0.8652



Dictionary Size: 1024

SSIM Value: 0.86413



Dictionary Size: 2048

SSIM Value: 0.86369



4.2.3. General100

- MSE

```
Dictionary: General100, Size: 256 || Mean-squared error is 219.2324
Dictionary: General100, Size: 512 || Mean-squared error is 208.8628
Dictionary: General100, Size: 1024 || Mean-squared error is 208.3227
Dictionary: General100, Size: 2048 || Mean-squared error is 208.3044
```



- PSNR

```
Dictionary: General100, Size: 256 || The Peak-SNR value is 24.7218
Dictionary: General100, Size: 256 || The SNR value is 20.0112

Dictionary: General100, Size: 512 || The Peak-SNR value is 24.9322
Dictionary: General100, Size: 512 || The SNR value is 20.2212

Dictionary: General100, Size: 1024 || The Peak-SNR value is 24.9434
Dictionary: General100, Size: 1024 || The SNR value is 20.2324

Dictionary: General100, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 24.9438
Dictionary: General100, Size: 2048 || The SNR value is 20.2328

Dictionary: General100, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 24.9438
Dictionary: General100, Size: 2048 || The SNR value is 20.2328
```



- SSIM

Dictionary Size: 256

SSIM Value: 0.85704



Dictionary Size: 512

SSIM Value: 0.86668



Dictionary Size: 1024

SSIM Value: 0.86669



Dictionary Size: 2048

SSIM Value: 0.86672



4.2.4. T91

- MSE

```
Dictionary: T91, Size: 256 || Mean-squared error is 218.2039  
Dictionary: T91, Size: 512 || Mean-squared error is 209.4186  
Dictionary: T91, Size: 1024 || Mean-squared error is 211.6981  
Dictionary: T91, Size: 2048 || Mean-squared error is 210.8051
```



- PSNR

```
Dictionary: T91, Size: 256 || The Peak-SNR value is 24.7422
Dictionary: T91, Size: 256 || The SNR value is 20.0318

Dictionary: T91, Size: 512 || The Peak-SNR value is 24.9207
Dictionary: T91, Size: 512 || The SNR value is 20.2101

Dictionary: T91, Size: 1024 || The Peak-SNR value is 24.8736
Dictionary: T91, Size: 1024 || The SNR value is 20.1634

Dictionary: T91, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 24.8920
Dictionary: T91, Size: 2048 || The SNR value is 20.1818

Dictionary: T91, Size: 2048 || The Peak-SNR value is 24.8920
Dictionary: T91, Size: 2048 || The SNR value is 20.1818
```



- SSIM

Dictionary Size: 256

SSIM Value: 0.85807



Dictionary Size: 512

SSIM Value: 0.86584



Dictionary Size: 1024

SSIM Value: 0.86417



Dictionary Size: 2048

SSIM Value: 0.8643



5. Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούμε να συμπεράνουμε πως τα αποτελέσματα μας για να είναι όσο πιο κοντά στην αρχική εικόνα εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες. Οι κύριοι εξ αυτών είναι:

- Το λεξικό: Παρατηρήσαμε ότι ανάλογα το λεξικό και το σετ των εικόνων τα αποτελέσματά μας ήταν διαφορετικά
- Η εικόνα: Ανάλογα την εικόνα ο αλγόριθμός μας πετύχαινε να την ανακτήσει στον ιδανικό βαθμό που θέλαμε. Μάλιστα σε κάποιες περιπτώσεις τα αποτελέσματά μας στον SSIM έφταναν το αριθμό 1
- Δειγματοληψία: Ο τρόπος ανάκτησης της εικόνας εξαρτάται και από τα patches που πήραμε στην αρχή του αλγορίθμου. Σε περίπτωση που αντί να τα πάρει με μέγεθος 5, τα πάρει με μέγεθος 10 τα αποτελέσματά μας ανάλογα με το μέγεθος της αλλαγής θα διαφέρουν
- Sparsity: Η αραιότητα παίζει σημαντικό ρόλο στην πορεία των αποτελεσμάτων του αλγορίθμου. Στα πειράματα του Yang η ιδανική τιμή της αραιότητας για αξιοπρεπή αποτελέσματα είναι αυτή που χρησιμοποιήσαμε ($\lambda = 0.15$) μιας και μας προσφέρει μια πιο κοντινή εικόνα στην αρχική μας

Με λίγα λόγια, προκειμένου να έχουμε μια ιδανική ανάκτηση στον αλγόριθμο που παρουσιάσαμε θα πρέπει με βάση τα παραπάνω κριτήρια να βρούμε την ιδανική χρυσή τομή για την καλύτερη ανάκτηση. Οι εικόνες που θα πρέπει να επιλέξουμε πρέπει να είναι σχετιζόμενες με αυτές που θέλουμε να ανακτήσουμε και ο τρόπος δειγματοληψίας μας να είναι συνήθως σε χαμηλές τιμές στο sparsity και του μεγέθους των patches. Τέλος όσο πιο μεγάλο είναι το λεξικό δεν σημαίνει απαραίτητα ότι είναι καλύτερο μιας και από ένα σημείο και μετά το μέγεθός του δεν παίζει κάποιο ρόλο στο αποτέλεσμα.

6. Βιβλιογραφία

[1]

ieeexplore.ieee.org. 2022. *Image Super-Resolution Via Sparse Representation*. [online] Available at: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/5466111>> [Accessed 14 October 2022].

[2]

Σταυροπούλου, Σ., 2022. *Ανάκτηση υψηλής ευκρίνειας μέσω διπλού λεξικού*. [online] Aristotle University of Thessaloniki Institutional Repository - IKEE. Available at: <<http://ikee.lib.auth.gr/record/294544?ln=en>> [Accessed 14 October 2022].

[3]

GitHub. 2022. *GitHub - tingfengainiaini/sparseCodingSuperResolution*. [online] Available at: <<https://github.com/tingfengainiaini/sparseCodingSuperResolution>> [Accessed 14 October 2022].

[4]

GitHub. 2022. *GitHub - LoSealL/VideoSuperResolution: A collection of state-of-the-art video or single-image super-resolution architectures, reimplemented in tensorflow..* [online] Available at: <<https://github.com/LoSealL/VideoSuperResolution#link-of-datasets>> [Accessed 14 October 2022].