

**Πολυτεχνείο Κρήτης  
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και  
Μηχανικών Υπολογιστών**



**Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας  
ΤΗΛ411  
1η Εργαστηριακή Άσκηση  
Αναφορά**

## Περιγραφή

Στην άσκηση αυτή χρησιμοποιήθηκε μια digital 2D ασπρόμαυρη (grayscale) εικόνα 230x230 pixels, και συγκεκριμένα αυτή του golden retriever που φαίνεται παρακάτω, η οποία φορτώθηκε στο Matlab με την συνάρτηση **imread()**. Οι διαστάσεις της εικόνας βρέθηκαν με αυτή τη γραμμή κώδικα: **[Nrows, Mcols] = size(image)**, όπου *image* η εικόνα που διαβάστηκε.

Original Image: Retriever



Αρχικά, ζητήθηκε να γίνει downsample με τρεις διαφορετικές παραμέτρους κλιμάκωσης (scaling parameters). Εφόσον στις δύο πρώτες περιπτώσεις το row sampling scale και το column sampling scale είναι διαφορετικά χρησιμοποιήθηκε η **imresize (A, [NUMROWS NUMCOLS], METHOD)**. Επιπλέον, έπρεπε να εξεταστεί το αντίκτυπο της εφαρμογής ή όχι του φίλτρου αντιπαραποίησης (anti-aliasing). Άρα, ενδεικτικά γράφουμε:

```
downsampled1 = imresize(image, [Nrows*1/2 Mcols*1/4], 'Antialiasing', true);  
downsampled2 = imresize(image, [Nrows*1/2 Mcols*1/4], 'Antialiasing', false);
```

Έπειτα, ζητείται να γίνει ανακατασκευή της εικόνας, το οποίο θα επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τρεις μεθόδους παρεμβολής την nearest-neighbor, bilinear (διγραμμική) και cubic (δικοβική) γράφοντας αντίστοιχα:

```
upsampled1_n = imresize(downsampled1, [Nrows Mcols], 'nearest');  
upsampled1_l = imresize(downsampled1, [Nrows Mcols], 'bilinear');  
upsampled1_c = imresize(downsampled1, [Nrows Mcols], 'bicubic');
```

Τέλος, υπολογίζεται το Mean Square Error (MSE) και το Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) με την βοήθεια των έτοιμων συναρτήσεων του Matlab, **immse(A, ref)** και **psnr(A, ref)**, για μια αριθμητική σύγκριση της αρχικής με την τελική εικόνα.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για κάθε περίπτωση αναλυτικά.

- **Row Sampling scale**  $\frac{1}{2}$  & **Column Sampling scale**  $\frac{1}{4}$

Downsampling Outcome: 115x58 pixels

**With Anti-aliasing filter**



**Without Anti-Aliasing filter**



## Upsampling outcomes

With Anti-aliasing filter:

Original



Nearest-neighbor Interpolation



Bilinear Interpolation



Bicubic Interpolation



$$MSE_{NEARESTNEIGHBOR} = 144.7675$$

$$PSNR_{NEARESTNEIGHBOR} = 26.5241$$

$$MSE_{BILINEAR} = 87.2848$$

$$PSNR_{BILINEAR} = 28.7214$$

$$MSE_{BICUBIC} = 68.9967$$

$$PSNR_{BICUBIC} = 29.7425$$

**Without Anti-aliasing filter:**

Original



Nearest-neighbor Interpolation



Bilinear Interpolation



Bicubic Interpolation



$$MSE_{NEARESTNEIGHBOR}=168.1400$$

$$PSNR_{NEARESTNEIGHBOR}=25.8741$$

$$MSE_{BILINEAR}=82.0705$$

$$PSNR_{BILINEAR}=28.9889$$

$$MSE_{BICUBIC}=72.4655$$

$$PSNR_{BICUBIC}=29.5295$$

- **Row Sampling scale**  $\frac{1}{4}$  & **Column Sampling scale**  $\frac{1}{2}$

Downsampling Outcome: 58x115 pixels

**With Anti-aliasing filter:**



**Without Anti-aliasing filter:**



## Upsampling outcomes

With Anti-aliasing filter:

Original



Nearest-neighbor Interpolation



Bilinear Interpolation



Bicubic Interpolation



$$MSE_{NEARESTNEIGHBOR}=173.4899$$

$$PSNR_{NEARESTNEIGHBOR}=25.7381$$

$$MSE_{BILINEAR}=104.8276$$

$$PSNR_{BILINEAR}=27.9260$$

$$MSE_{BICUBIC}=86.5864$$

$$PSNR_{BICUBIC}=28.7563$$

**Without Anti-aliasing filter:**

**Original**



**Nearest-neighbor Interpolation**



**Bilinear Interpolation**



**Bicubic Interpolation**



$$MSE_{NEARESTNEIGHBOR} = 209.7193$$

$$PSNR_{NEARESTNEIGHBOR} = 24.9144$$

$$MSE_{BILINEAR} = 111.6582$$

$$PSNR_{BILINEAR} = 27.6519$$

$$MSE_{BICUBIC} = 107.1457$$

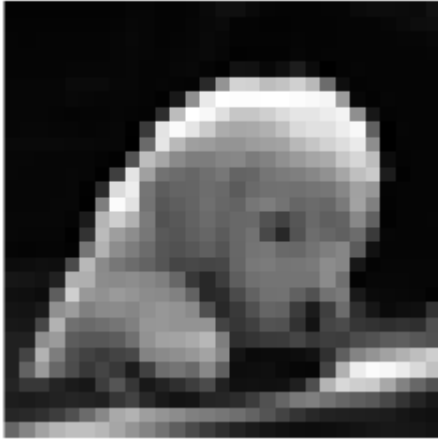
$$PSNR_{BICUBIC} = 27.8311$$



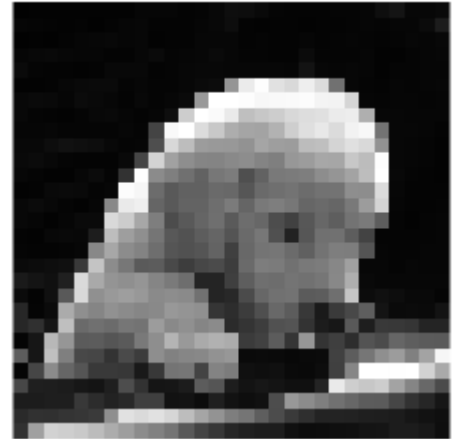
- **Row Sampling scale**  $\frac{1}{8}$  & **Column Sampling scale**  $\frac{1}{8}$

Downsample outcome: 29x29 pixels.

**With Anti-aliasing filter:**



**Without Anti-aliasing filter:**



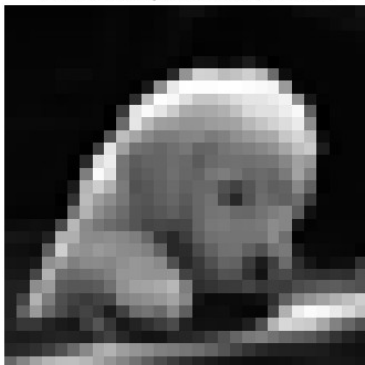
## Upsampling outcomes

**Without Anti-aliasing filter:**

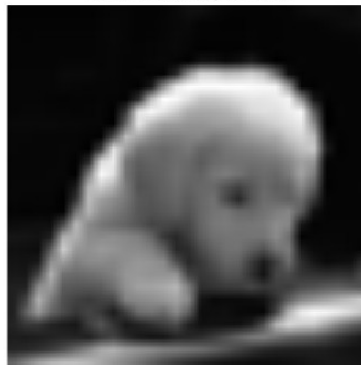
Original



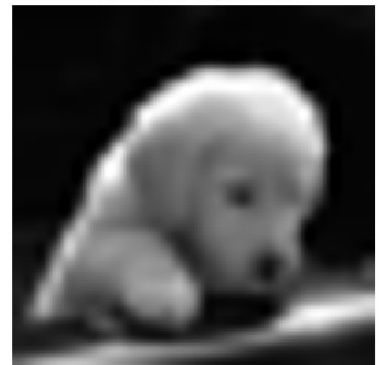
Nearest-neighbor Interpolation



Bilinear Interpolation



Bicubic Interpolation



$$MSE_{NEARESTNEIGHBOR}=528.1835$$

$$PSNR_{NEARESTNEIGHBOR}=20.9030$$

$$MSE_{BILINEAR}=365.4173$$

$$PSNR_{BILINEAR}=22.5029$$

$$MSE_{BICUBIC}=301.4583$$

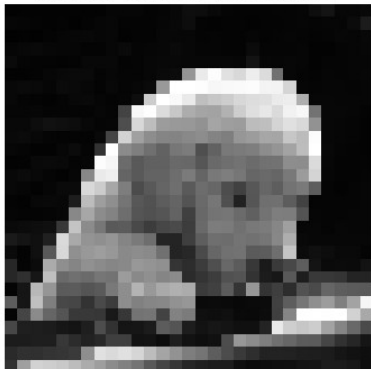
$$PSNR_{BICUBIC}=23.3385$$

**Without Anti-aliasing filter:**

Original



Nearest-neighbor Interpolation



Bilinear Interpolation



Bicubic Interpolation



$$MSE_{NEARESTNEIGHBOR}=688.1132$$

$$PSNR_{NEARESTNEIGHBOR}=19.7542$$

$$MSE_{BILINEAR}=379.7863$$

$$PSNR_{BILINEAR}=22.3354$$

$$MSE_{BICUBIC}=368.9509$$

$$PSNR_{BICUBIC}=22.4611$$

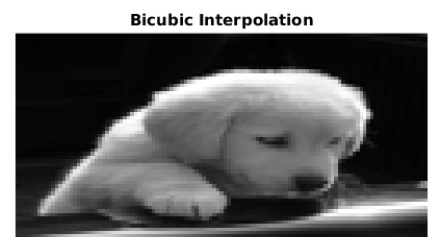
Τέλος, παρόλο που στην θεωρία λέγεται ότι οι μέθοδοι παρεμβολής χρησιμοποιούνται στην υπερδειγματοληψία, στην υλοποίηση της άσκησης χρησιμοποιήθηκαν και στην υποδειγματοληψία. Αντίστοιχα, το anti-aliasing filter χρησιμοποιήθηκε για την ανακατευσκική της εικόνας. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

## Downsampling

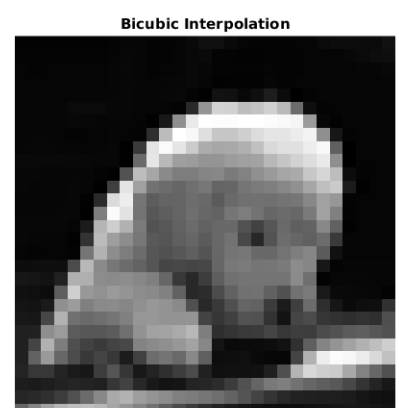
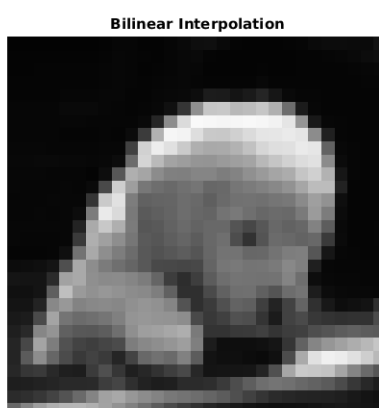
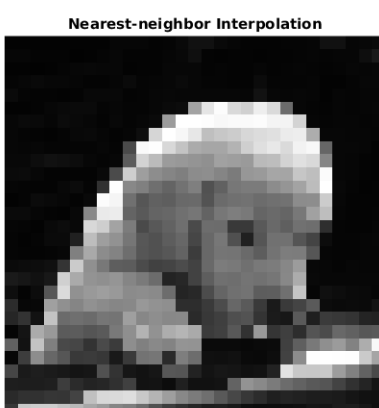
- **Row Sampling scale  $\frac{1}{2}$  & Column Sampling scale  $\frac{1}{4}$**



- **Row Sampling scale  $\frac{1}{4}$  & Column Sampling scale  $\frac{1}{2}$**



- **Row Sampling scale  $\frac{1}{8}$  & Column Sampling scale  $\frac{1}{8}$**



## Upsampling

downsampling parameters: row 1/2 column 1/4



downsampling parameters: row 1/4 column 1/2



downsampling parameters: row 1/8 column 1/8



Σχόλιο: Πάνω από τις εικόνες αναγράφεται από ποιά downsampled εικόνα ανακατασκευάστηκαν οι παραπάνω.

### Παρατηρήσεις

Όταν εφαρμόζεται ένα Anti-aliasing φίλτρο πριν από τη δειγματοληψία, σύμφωνα με την θεωρία, ο δειγματολήπτης σήματος περιορίζει το εύρος ζώνης ώστε να ικανοποιείται το θεώρημα Nyquist-Shannon πάνω από τη ζώνη ενδιαφέροντος και εξασφαλίζεται ότι δεν θα υπάρχει επικάλυψη. Άρα, όπως φαίνεται και από τις φωτογραφίες, όταν γίνεται το downsampling, τα αποτελέσματα είναι καλύτερα και το MSE (error) είναι μικρότερο όταν χρησιμοποιείται το φίλτρο.

Στο κομμάτι της ανακατασκευής, παρατηρείται ότι όταν το row και column sampling scale είναι σχετικά μεγάλα, δηλαδή  $\frac{1}{2}$  και  $\frac{1}{4}$ , η πιο αποτελεσματική μέθοδος παρεμβολής είναι η δικυβική (Bicubic), το οποίο επιβεβαιώνει και την θεωρία, μετά η διγραμμική (Bilinear) και μετά η Nearest-Neighbor. Αυτό φαίνεται και από τα αριθμητικά αποτελέσματα των MSE και PSNR. Όταν το scale είναι αρκετά μικρό, δηλαδή  $\frac{1}{8}$ , καμία μέθοδος δεν αποδίδει, κάτι που μπορεί να φανεί και από τις εικόνες αλλά και από τις τιμές των λαθών.

Τέλος, στην χρήση των μεθόδων παρεμβολής στην υποδειγματοληψία μπορεί να παρατηρηθεί από τα αποτελέσματα ότι υπάρχει επικάλυψη. Επίσης, χρησιμοποιώντας το anti-aliasing filter για την ανακατασκευή της εικόνας χωρίς μέθοδο παρεμβολής παρατηρούμε ότι για row και column sampling scale  $\frac{1}{2}$  και  $\frac{1}{4}$  τα αποτελέσματα δεν είναι τόσο καθαρά ενώ για  $\frac{1}{8}$  η εικόνα είναι πολύ θολή.