

Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας

-Εργασία 2-

Graph-based Image Segmentation

Ομάδα Κατανόησης Πολυμέσων
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Άνοιξη 2022

Εισαγωγικά

Στη δεύτερη εργασία του μαθήματος θα υλοποιήσετε τα ακόλουθα:

1. Αναπαράσταση εικόνων σαν γράφους
2. Image segmentation με τη μέθοδο *graph spectral clustering* (μη αναδρομική)
3. Image segmentation με τη μέθοδο *normalized cuts* ή αλλιώς *n-cuts* (αναδρομική)
4. Image segmentation με *n-cuts* χρησιμοποιώντας αναπαράσταση γραφών με superpixels από τη μέθοδο SLIC

Μαζί με την εκφώνηση θα βρείτε και το βοηθητικό MATLAB αρχείο `dip_hw_2.mat` το οποίο περιλαμβάνει τα δεδομένα που θα χρησιμοποιήσετε σε κάθε ερώτημα όπως εικόνες εισόδου και affinity πίνακες.

1 Εικόνες ως γράφοι

Κατασκευάστε την ρουτίνα `Image2Graph` η οποία δέχεται σαν είσοδο μια εικόνα με n κανάλια και επιστρέφει τον affinity πίνακα που περιγράφει ένα μη-κατευθυντικό γράφο $G = (V, E)$. Πιο συγκεκριμένα:

```
1 function myAffinityMat = Image2Graph(imIn)
```

όπου

`imIn`: Η $M \times N$ εικόνα εισόδου με n κανάλια.

`myAffinityMat`: Ο τετράγωνος (και συμμετρικός) affinity πίνακας που περιγράφει τον γράφο, με διαστάσεις $(M \times N) \times (M \times N)$.

Θεωρήστε πως κάθε pixel της εικόνας αποτελεί ένα vertice (ή node) του τελικού γράφου. Επιπλέον, οι τιμές των βαρών των ακμών του γράφου θα υπολογίζονται ως $A(i, j) = \frac{1}{e^{d(i, j)}}$, όπου $d(i, j)$ η Ευκλείδεια απόσταση της φωτεινότητας των καναλιών μεταξύ του i -οστού και του j -οστού pixel.

Ο γράφος που θα παράγει η ρουτίνα `Image2Graph` θα πρέπει να είναι fully-connected, δηλαδή για κάθε ζεύγος κορυφών i, j θα πρέπει να υπάρχει η αντίστοιχη ακμή $e_{i, j}$ με μη-μηδενικό βάρος.

2 Graph Spectral Clustering

Στη δεύτερη ενότητα της εργασίας θα υλοποιήσετε τη μέθοδο Graph Spectral Clustering. Τα βήματα της μεθόδου περιγράφονται παρακάτω:

1. Δεδομένης μιας εικόνας εισόδου, κατασκευάστε ένα μη κατευθυντικό γράφο σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Ενότητας 1. Έστω W ο affinity πίνακας που περιγράφει τον γράφο.
2. Υπολογίστε το μη-κανονικοποιημένο Λαπλασιανό πίνακα L ως $L = D - W$. Ο διαγώνιος πίνακας D ορίζεται ως: $D(i, i) = \sum_j W(i, j)$.
3. Λύστε το γενικευμένο πρόβλημα ιδιοτιμών $Lx = \lambda Dx$, και υπολογίστε τις k μικρότερες ιδιοτιμές καθώς και τα k ιδιοδιανύσματα που αντιστοιχούν σε αυτές τις ιδιοτιμές.
4. Σχηματίστε τον πίνακα $U \in \mathbb{R}^{n \times k}$ που περιέχει τα ιδιοδιανύσματα u_1, \dots, u_k σαν στήλες. Για $i = 1, \dots, n$, έστω $y_i \in \mathbb{R}^k$ το διάνυσμα που αντιστοιχεί στην i -οστή γραμμή του U .
5. Ομαδοποιήστε τα σημεία $(y_i)_{i=1, \dots, n}$ με τον αλγόριθμο k -means στα clusters C_1, \dots, C_k .

Κατασκευάστε λοιπόν την ρουτίνα `myGraphSpectralClustering` η οποία δέχεται σαν είσοδο έναν affinity πίνακα που περιγράφει έναν μη-κατευθυντικό γράφο $G = (V, E)$ και τον αριθμό των clusters και επιστρέφει τις ετικέτες των clusters στις οποίες ανήκουν οι κορυφές του γράφου. Πιο συγκεκριμένα:

```
1 function clusterIdx = myGraphSpectralClustering(anAffinityMat, k)
```

όπου

`anAffinityMat`: Ο τετράγωνος (και συμμετρικός) affinity πίνακας που περιγράφει τον γράφο.

`k`: Ο αριθμός των clusters που θέλουμε να σχηματιστούν.

`clusterIdx`: Οι ετικέτες που δείχνουν σε πιο cluster ανήκει ο κάθε κόμβος του γράφου.

Η μη-επιβλεπόμενη διαδικασία ομαδοποίησης k -means θα πρέπει να γίνει με τη χρήση της MATLAB ρουτίνας `labels = kmeans(X, k)`, όπου X ο $n \times k$ πίνακας εισόδου (ουσιαστικά n δείγματα διάστασης k) και k ο αριθμός των cluster που θέλουμε να σχηματιστούν. Το $n \times 1$ διάνυσμα `labels` που επιστρέφει η ρουτίνα περιέχει τις ετικέτες των clusters στις οποίες ανήκουν τα δείγματα εισόδου. Ο υπολογισμός των ιδιοδιανυσμάτων θα πρέπει να γίνεται με την χρήση της MATLAB ρουτίνας `eigs`.

TIP: μελετήστε καλά το documentation της ρουτίνας `eigs` (`help eigs`). Οι affinity πίνακες που θα κατασκευαστούν θα έχουν μεγάλες διαστάσεις, με αποτέλεσμα ο υπολογισμός όλων των ιδιοδιανυσμάτων να είναι από πολύ χρονοβόρος.

2.1 Demo 1

Για το πρώτο demo καλείστε να παρουσιάσετε την λειτουργία της ρουτίνας `myGraphSpectralClustering`. Για τους σκοπούς του demo θα σας δίνονται ένας κατασκευασμένος από πριν affinity πίνακας (μεταβλητή `d1a` του βοηθητικού αρχείου `dip_hw_2.mat`). Επιπλέον, για τον λόγο του ότι ο αλγόριθμος k -means έχει ως πρώτο βήμα την τυχαία αρχικοποίηση των k κέντρων του, χρησιμοποιείστε την εντολή `rng(1)` στην αρχή του script σας έτσι ώστε να μπορείτε να επαναλάβετε το πείραμα με το ίδιο random seed και κατ' επέκταση να έχετε τα ίδια αποτελέσματα ταξινόμησης στα k clusters. Παρουσιάστε τις ετικέτες που προκύπτουν για παραμέτρους $k = 2$, $k = 3$ και $k = 4$ (σύνολο 3 πειράματα). Σχολιάστε τα αποτελέσματα.

Οι παραπάνω λειτουργίες θα πρέπει να βρίσκονται μέσα στο script `demo1.m`.

2.2 Demo 2

Για το demo 2 καλείστε να παρουσιάσετε την λειτουργία της `myGraphSpectralClustering` σε συνδυασμό με την ρουτίνα `Image2Graph`. Πιο συγκεκριμένα στο βοηθητικό `mat` αρχείο σας δίνονται 2 RGB εικόνες εισόδου με ονόματα μεταβλητών `d2a` και `d2b`. Μετατρέψτε κάθε εικόνα εισόδου στον αντίστοιχο γράφο (δηλαδή στον αντίστοιχο affinity

πίνακα) με την χρήση της Image2Graph και στην συνέχεια πραγματοποιήστε την διαδικασία spectral clustering. Επανάλαβετε το πείραμα για αριθμούς κέντρων $k = 3$ και $k = 4$ και για τις 2 εικόνες (σύνολο 4 πειράματα).

Δείξτε τα αποτελέσματα της διαδικασίας clustering πάνω στην κάθε εικόνα εισόδου. Όπως και στο demo1, χρησιμοποιήστε την εντολή `rng(1)` για να ελέγξετε την τυχαιότητα της αρχικοποίησης του k -means. Σχολιάστε τα αποτελέσματα.

Οι παραπάνω λειτουργίες θα πρέπει να βρίσκονται μέσα στο script `demo2.m`.

3 Normalized-cuts

Για αυτό το κομμάτι της εργασίας θα κατασκευάσετε την αναδρομική εκδοχή της μεθόδου **normalized-cuts** ή **n-cuts** για image segmentation.

Αναφορικά με τη μη-αναδρομική εκδοχή της μεθόδου, τα βήματα της μεθόδου είναι κοινά με τα πέντε βήματα της μεθόδου graph spectral clustering της ενότητας 2. Στη συνέχεια, σα βήμα 6, η **μη-αναδρομική εκδοχή της μεθόδου n-cuts** ενώνει σταδιακά τα k clusters που δημιουργήθηκαν. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας όμως θα θεωρήσουμε πως η μη-αναδρομική εκδοχή της μεθόδου τελειώνει στη δημιουργία των k clusters (βήμα 5).

Η αναδρομική εκδοχή της μεθόδου είναι μια υποπερίπτωση της μη-αναδρομικής για $k = 2$ ¹ (δείτε το βήμα 3 παραπάνω), δηλαδή κάθε φορά χωρίζουμε τον γράφο σε 2 κομμάτια. Μετά από κάθε διχοτόμηση (βήματα 1 μέχρι και 5 με $k = 2$), αποφασίζουμε αν θα συνεχιστεί η διχοτόμηση των συγκεκριμένων κομματιών που προέκυψαν από την διαδικασία ομαδοποίησης (k -means συγκεκριμένα). Πιο συγκεκριμένα μπορείτε να πάρετε την απόφαση με τον παρακάτω τρόπο: Αν ο αριθμός των κόμβων είτε με ετικέτα 1 είτε 2 που προκύπτουν είναι μικρότερος από ένα κατώφλι T^1 ή αν η τιμή $Ncut(A, B)$ είναι μεγαλύτερη από ένα κατώφλι T^2 , τότε η διχοτόμηση των συγκεκριμένων κομματιών που προέκυψαν σταματά. Σε διαφορετική περίπτωση κάθε ένα από τα δύο κομμάτια που προέκυψαν από την διαδικασία ομαδοποίησης χωρίζεται στα 2. Η διαδικασία συνεχίζει αναδρομικά και τερματίζει όταν κανένα κομμάτι δεν μπορεί να διχοτομηθεί για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Η μετρική $Ncut(A, B)$ για 2 ομάδες κόμβων με ετικέτες “A” και “B” (ή 1 και 0) ορίζεται ως εξής:

$$Ncut(A, B) = 2 - Nassoc(A, B) \quad (1)$$

με

$$Nassoc(A, B) = \frac{assoc(A, A)}{assoc(A, V)} + \frac{assoc(B, B)}{assoc(B, V)} \quad (2)$$

και

$$assoc(A, V) = \sum_{u \in A, t \in V} W(u, t) \quad (3)$$

Ουσιαστικά η μετρική $assoc(A, V)$ είναι το άθροισμα όλων των βαρών μεταξύ των κόμβων που ανήκουν στην ομάδα A (ή έχουν ετικέτα 1) προς όλους τους κόμβους του γράφου (V). Οι μετρικές $assoc(A, A)$, $assoc(B, V)$ και $assoc(B, B)$ ορίζονται αντίστοιχα. Με W συμβολίζουμε τον affinity πίνακα.

Η δημοσίευση με την περιγραφή σε βάθος της μεθόδου *ncuts* σας δίνεται μαζί με την εκφώνηση της εργασίας.

Κατασκευάστε την ρουτίνα `calculateNcut` η οποία υπολογίζει την σχετική μετρική της εξίσωσης 1 για τις 2 ομάδες (clusters) που προκύπτουν από το βήμα 3 της περιγραφής της μεθόδου. Πιο συγκεκριμένα:

```
1 function nCutValue = calculateNcut(anAffinityMat, clusterIdx)
```

¹Στην πραγματικότητα το ιδιοδιάνυσμα που αντιστοιχεί στην μικρότερη ιδιοτιμή δεν μας προσφέρει καμία πληροφορία (είναι σχεδόν constant) και θα μπορούσαμε να το παραλείψουμε εξ' ολοκλήρου χωρίς να δουμε διαφορά στα αποτελέσματα. Για πρακτικούς όμως λόγους, στα πλαίσια της εργασίας θα το χρησιμοποιήσουμε.

όπου

`anAffinityMat`: Ο τετράγωνος (και συμμετρικός) affinity πίνακας που περιγράφει τον γράφο.

`clusterIdx`: Οι ετικέτες που δείχνουν σε πιο από τα 2 cluster ανήκει ο κάθε κόμβος του γράφου.

`nCutValue`: Η τιμή της μετρικής για τις 2 ομάδες κόμβων.

3.1 Demo 3

Σε αυτό το demo καλείστε να παρουσιάσετε την λειτουργία των ρουτινών `calculateNcut` και να παρουσιάσετε την ολοκληρωμένη αναδρομική εκτέλεση της μεθόδου `ncuts` για image segmentation χωρίς τον *a priori* προσδιορισμό των τμημάτων (segments). Για ακόμη μια φορά σαν εικόνες εισόδου χρησιμοποιήστε τις εικόνες του `demo2` (μεταβλητές `d2a` και `d2b`). Σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιήστε την εντολή `rng(1)` για να ελέγξετε την τυχειότητα των πειραμάτων.

a. Αρχικά, αφού κατασκευάσετε τους αντίστοιχους γράφους για τις 2 εικόνες εισόδου, εκτελέστε τη **αναδρομική μέθοδο `n-cuts` για ένα βήμα**, δηλαδή σπάστε τον αρχικό γράφο σε 2 κομμάτια (σύνολο 2 πειράματα).

Δείξτε τα αποτελέσματα της διαδικασίας `n-cuts` για ένα βήμα πάνω στην κάθε εικόνα εισόδου, καθώς και τις τιμές των μετρικών `ncut` σε κάθε περίπτωση. Σχολιάστε τα αποτελέσματα της μεθόδου **`n-cuts` για ένα βήμα** και τις τιμές των μετρικών `ncut` που υπολογίστηκαν για $k = 2$.

Οι παραπάνω λειτουργίες θα πρέπει να βρίσκονται μέσα στο script `demo3a.m`.

b. Για το δεύτερο κομμάτι του demo καλείστε να παρουσιάσετε την **ολοκληρωμένη** (i.e. αναδρομική) εκτέλεση της μεθόδου `ncuts`. Σκεφτείτε τη διαδικασία διαχωρισμού σε 2 clusters σαν τη δημιουργία ενός δυαδικού (unbalanced ενδεχομένως) δέντρου, όπου κάθε κόμβος του δέντρου κρατάει την πληροφορία των ετικετών σε σχέση με το γονέα του. Ενδεικτικά, για την εικόνα `d2a` μπορείτε να χρησιμοποιήσετε ως κατώφλια T^1 και T^2 τις τιμές και 5 και 0.60 αντίστοιχα. Σε κάθε περίπτωση προτείνεται ο πειραματισμός με τις παραμέτρους.

Δείξτε τα αποτελέσματα της ολοκληρωμένης διαδικασίας `ncuts` πάνω στην κάθε εικόνα εισόδου. Συγκρίνετε και σχολιάστε τα αποτελέσματα της **αναδρομικής μεθόδου `ncuts` σε σχέση** με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την διαδικασία **spectral clustering** και τα αποτελέσματα της **μη-αναδρομικής μεθόδου `ncuts` για $k = 2$ και $k = 3$** .

Οι παραπάνω λειτουργίες θα πρέπει να βρίσκονται μέσα στο script `demo3b.m`.

4 Superpixel segmentation

Για το τελευταίο κομμάτι της εργασίας θα εφαρμόσετε τη μέθοδο Simple Linear Iterative Clustering (SLIC), για να ομαδοποιήσετε την εικόνα σε superpixels, τα οποία στη συνέχεια θα χωριστούν σε τμήματα με την αναδρομική εκδοχή της μεθόδου `n-cuts`.

Ενα superpixel μπορεί να οριστεί ως ένα σύνολο από γειτονικά pixels που μοιράζονται κοινά χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα παρόμοιο χρώμα ή χαρακτηριστικά υφής. Αποτελούν μια βολική και περιεκτική αναπαράσταση της εικόνας που είναι σημαντική σε υπολογιστικά απαιτητικές εφαρμογές. Η ομαδοποίηση της εικόνας σε superpixels χρησιμοποιείται συνήθως ως προεπεξεργασία σε εφαρμογές image segmentation, καθώς η αναπαράσταση αυτή αναγνωρίζει την πλεονάζουσα πληροφορία στην εικόνα και μειώνει σημαντικά το χρόνο εκτέλεσης των χειρισμών.

Για τη δημιουργία superpixels εφαρμόζεται ο αλγόριθμος Simple Linear Iterative Clustering (SLIC), ο οποίος **ομαδοποιεί pixels με βάση την ομοιότητα χρώματος και την εγγύτητά τους στο επίπεδο της εικόνας**. Πληροφοριακά, η δημοσίευση με την περιγραφή της μεθόδου SLIC δίνεται μαζί με την εκφώνηση της εργασίας.

Στα πλαίσια της εργασίας δεν απαιτείται η υλοποίηση της μεθόδου, καθώς θα χρησιμοποιήθει η έτοιμη υλοποίηση σε C που δίνουν οι δημιουργοί της μεθόδου ² μαζί με την αντίστοιχη συνάρτηση MEX για την κλήση της ρουτίνας σε

²<https://www.epfl.ch/labs/ivrl/research/slic-superpixels/>

περιβάλλον MATLAB ή Octave. Η υλοποίηση περιλαμβάνεται στο αρχείο `slicmex.c`, το οποίο πρέπει να γίνει build πριν τη χρήση της συνάρτησης όπως περιγράφεται παρακάτω. Σε περιβάλλον MATLAB το build των MEX αρχείων γίνεται με την εντολή `mex`, ενώ σε περιβάλλον Octave με την εντολή `mkoctfile --mex`.

```
1 [labels, ~] = slicmex(imIn, reqNumLabels, cFactor);
```

όπου

`imIn`: $H \times M \times N$ εικόνα εισόδου με n κανάλια.

`reqNumLabels`: Ο αριθμός των ζητούμενων superpixels. Σημειώνεται ότι ο αριθμός των επιστρεφόμενων superpixels μπορεί να διαφέρει από τον αριθμό των ζητούμενων superpixels.

`cFactor`: Συντελεστής πυκνότητας των superpixels. Όσο μεγαλύτερη η τιμή του συντελεστή τόσο πιο συμπαγές θα είναι το κάθε superpixel. Παίρνει τιμές στο διάστημα `[1,20]`.

`labels`: $H \times M \times N$ εικόνα εξόδου με 1 κανάλι που αντιστοιχεί στο superpixel που κατατάσσεται το κάθε pixel.

Επιπλέον της ομαδοποίησης της εικόνας σε superpixels να κατασκευαστεί η ρουτίνα που υπολογίζει την περιγραφή του κάθε superpixel ως το μέσο χρώμα, i.e., η μέση τιμή του κάθε καναλιού, όλων των pixels που ανήκουν σε κάθε pixel. Συγκεκριμένα:

```
1 function outputImage = superpixelDescriptor(imIn, labels)
```

όπου

`imIn`: $H \times M \times N$ εικόνα εισόδου με n κανάλια.

`labels`: $H \times M \times N$ εικόνα εξόδου με 1 κανάλι που αντιστοιχεί στο superpixel που κατατάσσεται το κάθε pixel.

`outputImage`: $H \times M \times N$ εικόνα εξόδου με 1 κανάλι που αντιστοιχεί στην περιγραφή της εικόνας για το superpixel στο οποίο ανήκει.

Για την αναπαράσταση ως γράφο και τον υπολογισμό του affinity πίνακα για την εικόνα των superpixels, όπως αυτά περιγράφονται από τον `superpixelDescriptor`, ίσως χρειαστεί να τροποποιήσετε την `Image2Graph` ώστε να δέχεται μια λίστα από superpixels αντί για διδιάστατη εικόνα.

4.1 Demo 4

Στο τελευταίο demo της εργασίας καλείστε να παρουσιάσετε την ολοκληρωμένη μέθοδο image segmentation για την εικόνα `bee.jpg` που θα βρείτε στην εργασία, συνδυάζοντας τη μέθοδο SLIC για τη συμπιεσμένη αναπαράσταση της εικόνας σε superpixels με την αναδρομική και μη-αναδρομική μέθοδο n -cuts για το segmentation των superpixels. Ενδεικτικά, για τη μη αναδρομική εκδοχή μπορείτε να χρησιμοποιήσετε ως αριθμό segments $k = 6$ και $k = 10$. Επιπλέον, να εκτιμήσετε τις τιμές των κατωφλίων T^1 και T^2 της αναδρομικής μεθόδου n -cuts, ώστε να προκύπτει ο αριθμός των segments που επιλέξατε στη μη-αναδρομική εκδοχή. Για τη μέθοδο *SLIC* χρησιμοποιήστε τις τιμές 400 και 20 για τις παραμέτρους `reqNumLabels` και `cFactor`. Σε κάθε περίπτωση προτείνεται ο πειραματισμός με τις παραμέτρους.

Δείξτε τα αποτελέσματα της ολοκληρωμένης διαδικασίας segmentation πάνω στην εικόνα εισόδου καθώς επίσης και την ενδιάμεση αναπαράσταση σε superpixels σύμφωνα με τον περιγραφέα χρώματος. Σχολιάστε τη διαφορά που έχει η τυπική n -cuts μέθοδος πάνω στην αυτούσια εικόνα εισόδου με την αναπαράσταση σε superpixels ως βήμα προεπεξεργασίας.

Οι παραπάνω λειτουργίες θα πρέπει να βρίσκονται μέσα στο script `demo4.m`.

Αξιολόγηση & παραδοτέα

Κατά την υποβολή της εργασίας θα πρέπει να παραδώσετε τα αρχεία με τις συναρτήσεις:

- `Image2Graph.m`
- `myGraphSpectralClustering.m`

- `calculateNcut.m`
- `superpixelDescriptor.m`

καθώς και μία αναφορά. Επιπλέον, ανά ενότητα θα πρέπει να παραδώσετε και ένα script με όνομα `demo1.m`, `demo2.m`, `demo3a.m`, `demo3b.m` και `demo4.m`, το οποίο θα εκτελείται χωρίς ορίσματα και θα παρουσιάζει τα ζητούμενα των εννοτήτων 2.1, 2.2, 3.1 και 4.1. Στην αναφορά θα πρέπει επίσης να παρουσιάσετε όποιες σχεδιαστικές επιλογές έχετε κάνει.

Σχετικά με την υποβολή της εργασίας

Παραδώστε μία αναφορά με τις περιγραφές και τα συμπεράσματα που σας ζητούνται στην εκφώνηση. Η αναφορά θα πρέπει να επιδεικνύει την ορθή λειτουργία του κώδικά σας στις εικόνες που σας δίνονται.

Ο κώδικας θα πρέπει να είναι σχολιασμένος ώστε να είναι κατανοητό τι ακριβώς λειτουργία επιτελεί (σε θεωρητικό επίπεδο, όχι σε επίπεδο κλήσης συναρτήσεων). Επίσης, ο κώδικας θα πρέπει να εκτελείται και να υπολογίζει τα σωστά αποτελέσματα για οποιαδήποτε είσοδο πληροί τις υποθέσεις της εκφώνησης, και όχι μόνο για τις εικόνες που σας δίνονται.

Απαραίτητες προϋποθέσεις για την βαθμολόγηση της εργασίας σας είναι ο κώδικας να εκτελείται χωρίς σφάλμα, καθώς και να τηρούνται τα ακόλουθα:

- Υποβάλετε ένα και μόνο αρχείο, τύπου `zip`.
- Το όνομα του αρχείου πρέπει να είναι `AEM.zip`, όπου `AEM` είναι τα τέσσερα ψηφία του `A.E.M.` του φοιτητή της ομάδας.
- Το προς υποβολή αρχείο πρέπει να περιέχει τα αρχεία κώδικα `Matlab` και το αρχείο `report.pdf` το οποίο θα είναι η αναφορά της εργασίας.
- Η αναφορά πρέπει να είναι ένα αρχείο τύπου `PDF`, και να έχει όνομα `report.pdf`.
- Όλα τα αρχεία κώδικα πρέπει να είναι αρχεία κειμένου τύπου `UTF-8`, και να έχουν κατάληξη `m`.
- Το αρχείο τύπου `zip` που θα υποβάλετε δεν πρέπει να περιέχει κανέναν φάκελο.
- Μην υποβάλετε τις εικόνες που σας δίνονται για πειραματισμό.
- Μην υποβάλετε αρχεία που δεν χρειάζονται για την λειτουργία του κώδικά σας, ή φακέλους/αρχεία που δημιουργεί το λειτουργικό σας, πχ `"Thumbs.db"`, `"DS_Store"`, `"directory"`.
- Για την ονομασία των αρχείων που περιέχονται στο προς υποβολή αρχείο, χρησιμοποιείτε μόνο αγγλικούς χαρακτήρες, και όχι ελληνικούς ή άλλα σύμβολα, πχ `"#"`, `"$"`, `"%"` κλπ.