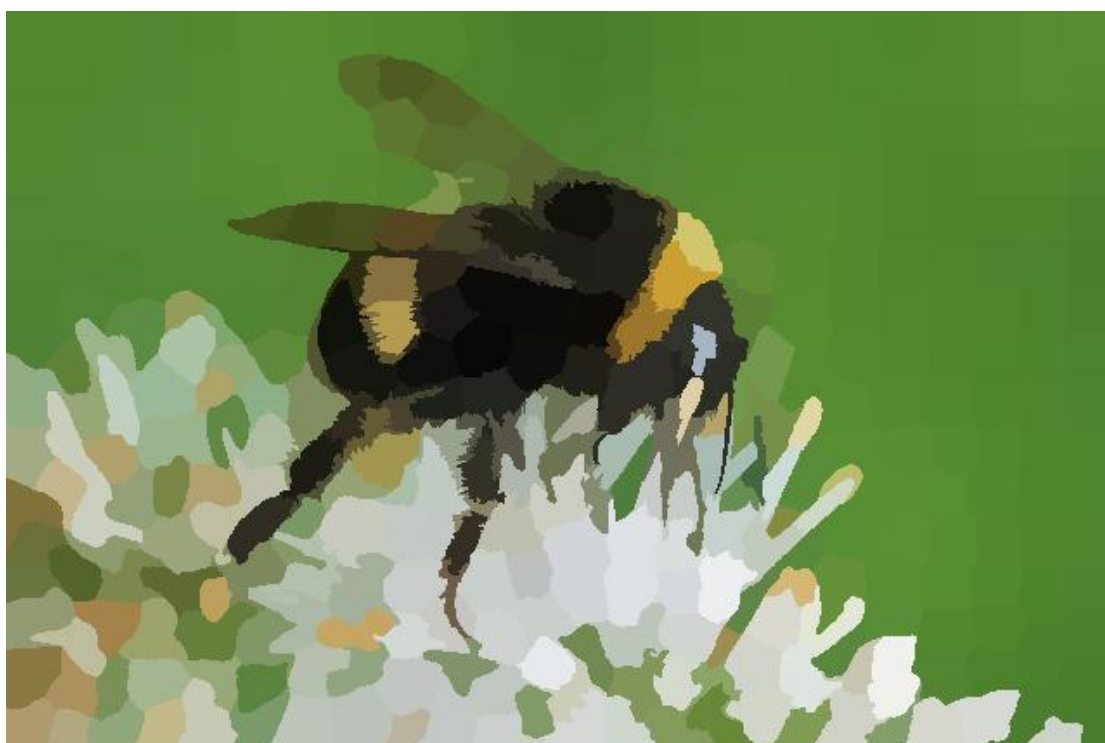




ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



8^ο Εξάμηνο : «Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας»

Ακαδ. έτος 2021-22 | Ημ.Παράδοσης 29/5/2022

2^η Εργασία : «Graph-based Image Segmentation»

του Σταύρου Βασίλειου Μπουλιόπουλου 9671

Διδάσκων θεωρίας : Αναστάσιος Ντελόπουλος

Επιβλέπων εργασίας: Λεωνίδας Αλαγιαλόγλου

Περιεχόμενα

1.Εισαγωγή και ζητούμενα.....	2
2. Εκτέλεση των αρχείων κώδικα	2
3. Παρουσίαση δομής κώδικα και αποτελεσμάτων	2

1.Εισαγωγή και ζητούμενα

Στην 2^η εργασία του μαθήματος υλοποιήσαμε μια σειρά από συναρτήσεις σχετικές με την κατάτμηση μιας εικόνας σε ομάδες αφού εκφράσουμε αυτήν σαν γράφο.

2. Εκτέλεση των αρχείων κώδικα

Η εφαρμογή των συναρτήσεων και η απεικόνιση των αποτελεσμάτων γίνονται με τα αρχεία **demo1.m** , **demo2.m** , **demo3a.m** , **demo3b.m** και **demo4.m**. Πρόσθετες βοηθητικές συναρτήσεις σε αυτές που ζητήθηκαν είναι οι : **ncutHelpDemo3b.m** και **SPIImage2Graph.m**.

3. Παρουσίαση δομής κώδικα και αποτελεσμάτων

Για την **αναπαράσταση εικόνων σαν γράφους** χρησιμοποιείται η *Image2Graph*, η οποία δέχεται σαν είσοδο μια εικόνα με *n* κανάλια και επιστρέφει τον πίνακα συσχέτισης. Ο πίνακας αυτός περιγράφει έναν μη-κατευθυνόμενο γράφο $G = (V, E)$, όπου κάθε pixel της εικόνας αποτελεί έναν κόμβο του τελικού γράφου και οι τιμές των ακμών του γράφου υπολογίζονται από τον τύπο $A(i, j) = 1/\exp(d(i, j))$, όπου $d(i, j)$ είναι η ευκλείδια απόσταση της έντασης φωτεινότητας των καναλιών του *i*-οστού από το *j*-οστό pixel, δηλαδή υπολογίζουμε το dissimilarity. Πρακτικά υλοποιούμε την εξής λογική :

$$d(i, j) = \sqrt{\sum^n (Img(i, n) - Img(i + 1, n))^2}, \text{όπου } Img(i, n)$$

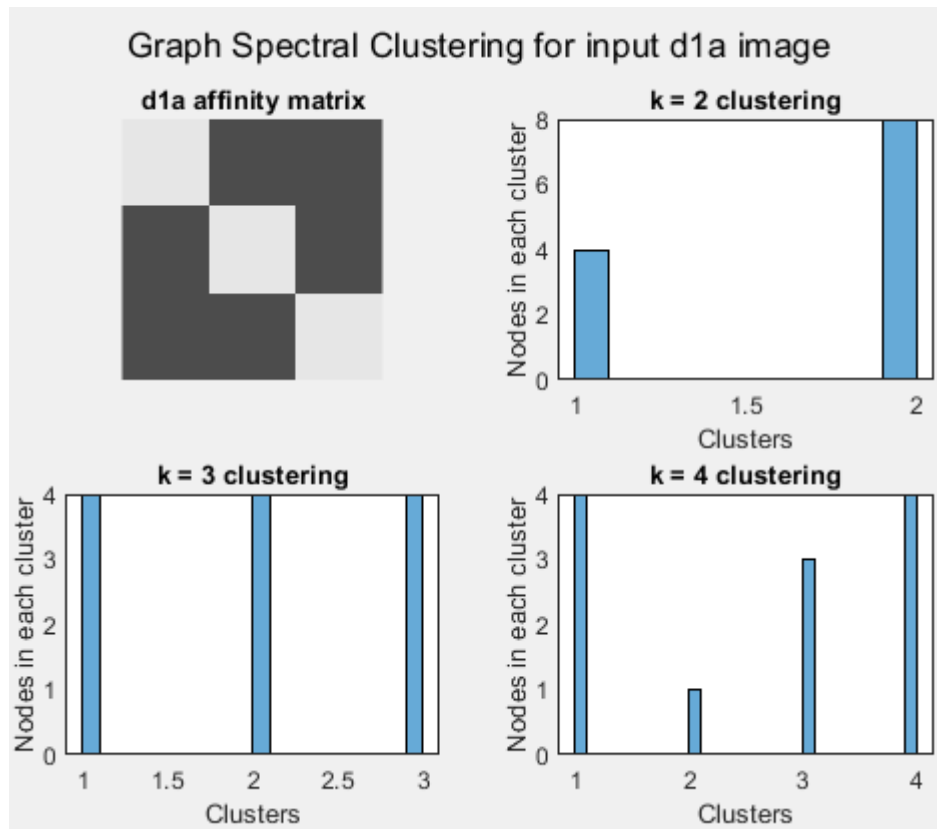
ή φωτεινότητα της εικόνας στο n κανάλι του pixel i και το άθροισμα εφαρμόζεται και για τα n κανάλια.

Για την **κατάτμηση της εικόνας με τη μέθοδο graph spectral clustering(μη αναδρομική)** χρησιμοποιείται η *myGraphSpectralClustering* η οποία παίρνει ως όρισμα έναν πίνακα συσχέτισης W που περιγράφει την εικόνα όπως είπαμε πριν. Ακολουθούμε τα εξής βήματα για να χωρίσουμε τον W σε clusters:

- 1.Υπολογίζουμε τον διαγώνιο πίνακα με $D(i, i) = \sum_j W(i, j)$.
- 2.Υπολογίζουμε τον λαπλασιανό πίνακα $L = D - W$ και για αυτόν τις γενικευμένες k μικρότερες ιδιοτιμές του χρησιμοποιώντας στην συνάρτηση *eigs()* το όρισμα '*smallestreal*' και λύνοντας την $Lx = \lambda Dx$.
- 3.Σχηματίζουμε βάσει αυτών των k ιδιοτιμών τον πίνακα ιδιοδιανυσμάτων σε στήλες U .
- 4.Τέλος, ομαδοποιούμε τα σημεία ως προς τις γραμμές του πίνακα U με τον έτοιμο αλγόριθμο clustering της MATLAB **k-means()**.

Παρακάτω φαίνονται τα σχετικά αποτελέσματα των **demo1.m** και **demo2.m** . Στην εικόνα 1 φαίνεται η συνάρτηση κατάτμησης να έχει χωρίσει τον πίνακα συσχέτισης γράφου d1a με σωστό τρόπο στις κατάλληλες ετικέτες από 1 έως k. Για k=2 έχουμε από μία τετράδα στην πρώτη και μία οχτάδα στην δεύτερη ομάδα. Για k=3 έχουμε από μία τετράδα στην κάθε διαφορετική ομάδα από τις τρεις.Τέλος, για k=4 η δεύτερη τετράδα από πριν χωρίζεται σε δύο clusters πλέον με πλυθηκότητα 1 στην μια του και 3 στοιχεία στην δεύτερή του ομάδα. Στην εικόνα 2 και 3 χρησιμοποιούμε πλέον και την

πρώτη μας συνάρτηση για την μετατροπή των δύο εικόνων σε γράφους και μετά οδηγούμαστε στην κατάτμηση του πίνακα συσχέτισης σε $k=3,4$ ομάδες. Χρειάστηκε η βοήθεια της συνάρτησης **reshape()** για να εκφράσουμε τα indexes των clusters στον αρχικό καμβά διαστάσεων $M \times N$ και να διαιρέσουμε με τον μέγιστο αριθμό ομάδας για να πετύχουμε αποδεκτές εντάσεις φωτεινότητας στο εύρος $[0,1]$.



Εικόνα 1: Αποτελέσματα clustering του d1a πίνακα συσχέτισης σε $k=2,3,4$ ομάδες



Εικόνα 2: Αποτελέσματα graph spectral clustering για εικόνα εισόδου d2a σε $k=3,4$ ομάδες



Εικόνα 3: Αποτελέσματα *graph spectral clustering* για εικόνα εισόδου d2b σε $k=3,4$ ομάδες

Συγκεκριμένα, στην d2a εικόνα παίρνουμε αυτό που περιμέναμε να δουλεύει για $k=3$ καθώς υπάρχει τριχρωμία, αλλά σε $k=4$ ομάδες ο αλγόριθμος ανταποκρίνεται χειρότερα γιατί υπάρχουν διαφορές στην μεσαία λωρίδα. Όσον αφορά στην d2b εικόνα η αύξηση των ομάδων παρουσιάζει και καλύτερα αποτελέσματα για την ανταπόκριση ποικίλων συνδυασμών αποχρώσεων χρωμάτων, αφού σε $k=4$ ομάδες μπορούμε μέχρι και να διακρίνουμε τα ερυθρά χαρακτηριστικά (παπούτσια/καπέλο/ώμο), το υπόβραθο πλαίσιο του Super Mario, το σύμβολο του στο καπέλο και παντελόνια του.

Για την **κατάτμηση της εικόνας με τη μέθοδο *normalized cuts* (αναδρομική)** χρησιμοποιείται η συνάρτηση *calculateNcut* για την τιμή της μετρικής για τις 2 ομάδες κόμβων και η βοηθήτικη *ncutHelpDemo3b* για δυναμική αναδρομική ομαδοποίηση με *n-cuts*. Η βοηθητική αυτή συνάρτηση δέχεται για ορίσματα τον πίνακα συσχέτισης, τις τιμές ελέγχου T^1 , T^2 και την τιμή *init* που ισούται με 1 κατά την αρχική κλήση της συνάρτησης και 0 εσωτερικά κατά την αναδρομική κλήση αυτής.

1. Ο πίνακας συσχέτισης χωρίζεται με την μέθοδο *myGraphSpectralClustering*.

2. Γίνεται έλεγχος αν ο αριθμός των κόμβων με μια ετικέτα είναι μικρότερος από T^1 ή αν η τιμή *n-cut* είναι μεγαλύτερη

από T^2 , ώστε να ληφθεί η απόφαση τερματισμού της συνάρτησης αφού πρώτα επιστραφούν τα *clusterIdx* (αν πρόκειται για την πρωτότυπη κλήση της συνάρτησης) ή πίνακας με άσσους μεγέθους ίσου με το *clusterIdx*.

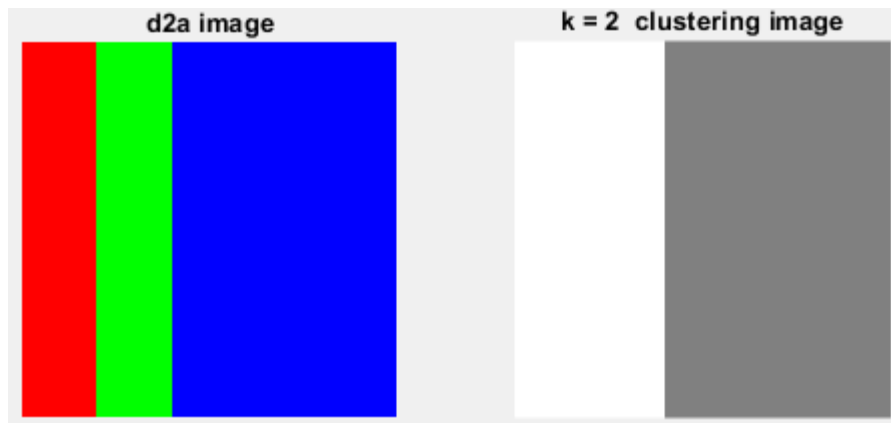
3.Συνεχίζεται ο χωρισμός του γράφου σε δύο μέρη και υπολογίζονται οι δύο καινούργιοι πίνακες συσχέτισης και αποθηκεύονται τα indices από τα pixel.

4.Αναδρομικά εκτελείται για κάθε ομάδα η σύνταξη της μεθόδου και επιστρέφονται τα δύο νέα *clusterIdx*.

5.Προστίθεται η μέγιστη ετικέτα του ενός *clusterIdx* στο άλλο για να διαφέρουν οι ετικέτες ταυτοποίησης.

6.Τα αποθηκευμένα indices τοποθετούνται και ταξινομούνται στην κατάλληλη θέση για να επιστραφεί το νεό *clusterIdx*.

Παρακάτω φαίνονται τα σχετικά αποτελέσματα των **demo3a.m**. Χωρίζει σε $k=2$ ομάδες και η d2a έχει τιμή $n\text{-cut} = 0.3462$, ενώ η d2a έχει τιμή $n\text{-cut}=0.6905$.



Εικόνα 4: Αποτελέσματα *graph n-cut clustering* για εικόνα εισόδου d2a σε $k=2$ ομάδες



Εικόνα 5:Αποτελέσματα graph n-cut clustering για εικόνα εισόδου d2b σε $k=2$ ομάδες

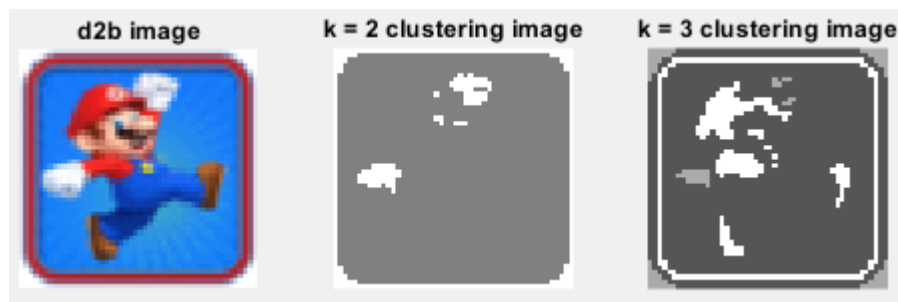
Παρακάτω φαίνονται τα σχετικά αποτελέσματα του **demo3b.m**. Με trial & error τιμών T^1 , T^2 επιτυγχάνεται η επιθυμητή ομαδοποίηση σε 2 ή 3 clusters.



Εικόνα 6:Αποτελέσματα graph n-cut recursive clustering για εικόνα εισόδου d2b σε $k=2,3$ ομάδες



Εικόνα 7:Αποτελέσματα graph n-cut non-recursive clustering για εικόνα εισόδου d2b σε $k=2,3$ ομάδες



Εικόνα 8:Αποτελέσματα *graph spectral clustering* για εικόνα εισόδου d2b σε $k=2,3$ ομάδες

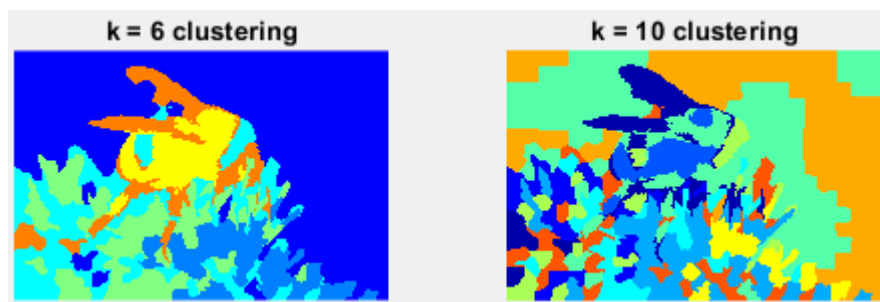
Για την **κατάτμηση της εικόνας με n-cuts** χρησιμοποιώντας **αναπαράσταση γράφων με superpixels** χρησιμοποιείται δωσμένη συνάρτηση *slicmex.c* για τη δημιουργία **labels** υπερ-εικονοστοιχείων με απλή γραμμική επαναληπτική ομαδοποίηση. Προσέχουμε ότι παρόλο που ζητάμε αριθμό 400 ετικετών, παρέχονται λιγότερες διότι ο αλγόριθμος ενσωματώνει τις πολύ μικρές ομάδες superpixels σε μεγαλύτερες από αυτών, οπότε διατηρούμε παραμετρική λειτουργία ως προς το μέγιστο των ετικετών. Ζητήθηκε να υλοποιήσουμε την *superpixelDescriptor()*, στην οποία είσοδος είναι η εικόνα ενός καναλιού και τα labels των superpixels ώστε με τακτικές logical indexing να ταυτοποιήσουμε τις ομάδες στην εικόνα, να υπολογίσουμε τον μέσο όρο αυτών και να επαναπροσδιορίσουμε τις ταυτοποιημένες ομάδες βάσει αυτών των μέσων όρων προκειμένου να τις επιστρέψουμε. Στην συνέχεια σε συνδυασμό με την βοηθητική συνάρτηση *SPIImage2Graph()* και με κώδικα στο ίδιο το **demo4.m** πετυχαίνουμε να κρατήσουμε σε λίστα τις μοναδικές εμφανιζόμενες τιμές έντασης φωτεινότητας της superpixelated εικόνας και τα σημεία εμφάνισης. Χάρη σε αυτή την λίστα παίρνουμε τον πίνακα συσχέτισης μεταξύ των superpixels και βάσει αυτού του πίνακα καλώ τις συναρτήσεις clustering. Τέλος, εκτελώ αντίστροφη ροή με τα logical indexing που είχα

κρατήσει και με τους δείκτες ομαδοποίησης προκειμένου να ανακτήσω την συνολική δομή και διάσταση του καμβά.

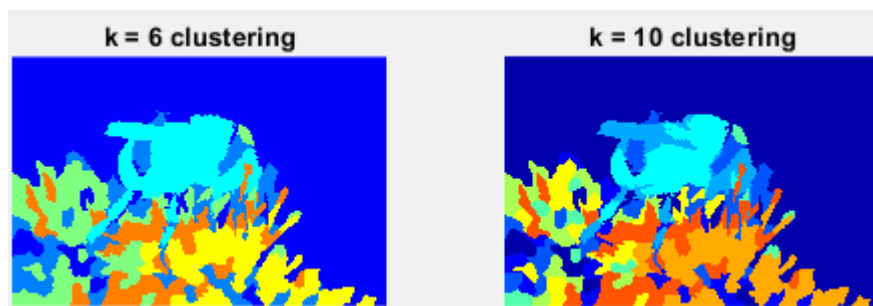
Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα του **demo4.m** και σαφώς αυτή η διαδικασία superpixels και των δύο σταδίων μετασχηματισμών μας οφελεί ως προς την ελάττωση της χρήσης μνήμης και την επιτάχυνση της υπολογιστικής ταχύτητας ,αλλά μας μειώνει την ακρίβεια κατάτμησης.



Εικόνα 9:Αποτελέσματα SLIC για δημιουργία superpixel για την εικόνα εισόδου bee



Εικόνα 10: Αποτελέσματα graph n-cut non-recursive clustering για την superpixelated εικόνα bee σε $k=6,10$ ομάδες



Εικόνα 11: Αποτελέσματα graph n-cut recursive clustering για την superpixelated εικόνα bee σε $k=6,10$ ομάδες