Υπολογιστική Νοημοσύνη - Στατιστική μάθηση
Τρίτη Εργασία

Κωστινούδης Ευάγγελος
ΑΕΜ: 112

15 Ιανουαρίου 2023

1 Περιγραφή προβλήματος που επιλέχτηκε

Για την εργασία αυτή επιλέχτηκε το πρόβλημα του διαχωρισμού κλάσεων και τα δεδομένα προέρχονται από τις βάσεις:

1. MNIST
2. Cifar-10

2 Υλοποίηση

Η υλοποίηση του αλγορίθμου του spectral clustering που παράγει τα embeddings βρίσκεται στο αρχείο *spectral_embeddings.py*.

Για την εκπαίδευση των μοντέλων χρησιμοποιούνται τα δεδομένα εκπαίδευσης που δίνονται από τις δύο βάσεις που αναφέρονται παραπάνω. Επίσης, επιλέχτηκε ο αλγόριθμος **t-SNE** για την μείωση στις δύο διαστάσεις.

2.1 Προεπεξεργασία δεδομένων

Η μόνη προεπεξεργασία που έγινε στα δεδομένα πριν την χρήση τους είναι ο μετασχηματισμός των δεδομένων στο διάστημα $[0, 1]$ για κάθε χαρακτηριστικό των δεδομένων.

2.2 Επιλογή παραμέτρων

2.2.1 Παράμετροι του t-SNE

Και για τις δύο βάσεις ελέγχθηκαν οι τιμές του perplexity $[10, 20, 30, 40, 50, 60]$.

2.2.2 Παράμετροι του spectral clustering

Για τον αλγόριθμο του spectral clustering για τη δημιουργία του similarity matrix χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος των πλησιέστερων γειτόνων επειδή μπορεί να αναπαρασταθεί με αραιό πίνακα σε σχέση με τις μεθόδους των πυρήνων. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατό να τρέξει ο αλγόριθμος σε όλα τα δεδομένα, χωρίς να χρειάζεται πάρα πολύ μνήμη.

Επίσης, για τον αλγόριθμο αυτό χρησιμοποιθήκε η κανονική μορφή του λαπλασιανού πίνακα και όχι η κανονικοποιημένη. Ακόμα, επειδή το ιδιοδιάνυσμα που αντιστοιχεί στην ιδιοτιμή 0 έχει όλες τις τιμές του ίδιες, δεν χρησιμοποιήθηκε.

Για τον αλγόριθμο του spectral clustering οι υπερπαράμετροι που υπάρχουν είναι ο αριθμός των γειτόνων και ο αριθμός των embeddings που επιστρέφει τελικά ο αλγόριθμος.

Συγκεκριμένα για τη βάση MNIST ελέγχθηκαν οι τιμές για του γείτονες $[15, 20, 25, 30, 35, 40, 50]$ και οι τιμές των embeddings $[3, 5, 8, 10, 15, 20, 30, 40]$.

Για τη βάση Cifar-10 ελέγχθηκαν οι τιμές για του γείτονες $[10, 15, 20, 25, 30, 40, 50]$ και οι τιμές των embeddings $[3, 5, 8, 10, 15, 20, 30, 40]$.

Για την επιλογή των καλύτερων παραμέτρων, έγινε ομαδοποίηση με δέκα ομάδες και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν βάση της μετρικής Adjusted Rand Index (ARI) όπου συγκρίνονται τα αποτελέσματα της ομαδοποίησης με τις πραγματικές κλάσεις των δεδομένων. Η μετρική αυτή δίνει τιμές κοντά στο μηδέν, όταν τα αποτελέσματα είναι τυχαία, κοντά στο 1 όταν οι ομαδοποιήσεις ταιριάζουν. Επίσης, μπορεί να πάρει και αρνητικές τιμές όταν τα αποτελέσματα είναι χειρότερα από τα τυχαία.

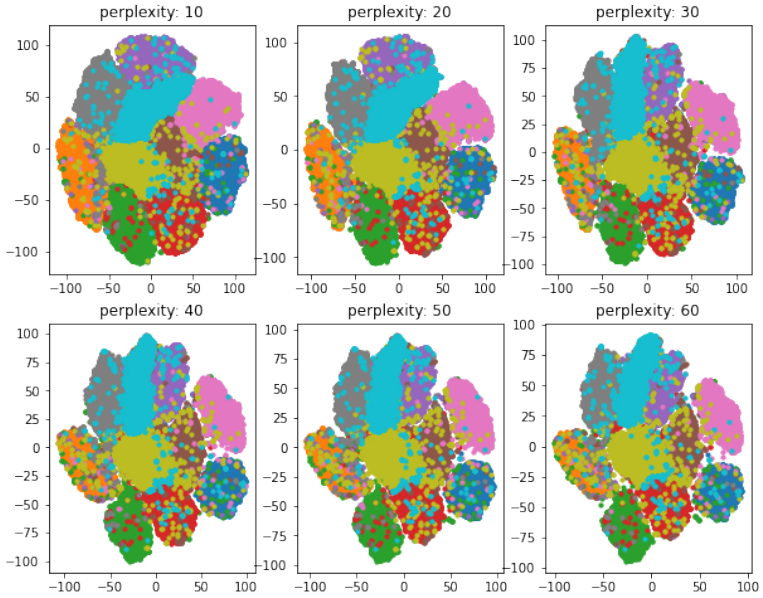
3 Αποτελέσματα

Τα πειράματα εκτελέστηκαν σε επεξεργαστή Intel i7-4510U και 8GB μνήμη.

3.1 Επιλογή παραμέτρων t-SNE

3.1.1 MNIST

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου t-SNE για διάφορες τιμές του perplexity. Παρατηρείται ότι είναι παραπλήσια. Επιλέχθηκε η τιμή 10 για το perplexity.



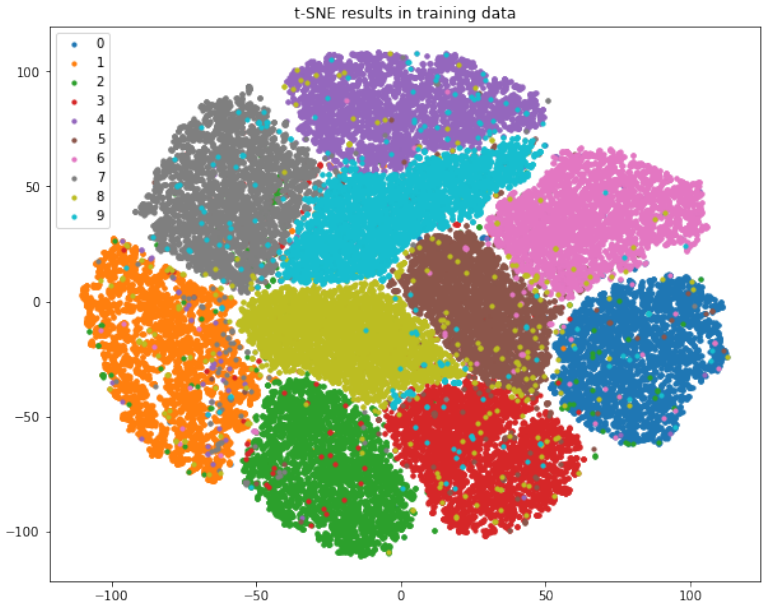
Σχήμα 1: Αποτελέσματα του t-SNE για διάφορες τιμές του perplexity για τη βάση MNIST.

Ο χρόνος εκτέλεσης για τις τιμές του perplexity που χρησιμοποιήθηκαν βρίσκονται στον Πίνακας 1.

perplexity	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
seconds	807,75	962,41	978,5	910,81	957,05	1058,15

Πίνακας 1: Χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου t-SNE για διάφορες τιμές του perplexity για τη βάση MNIST.

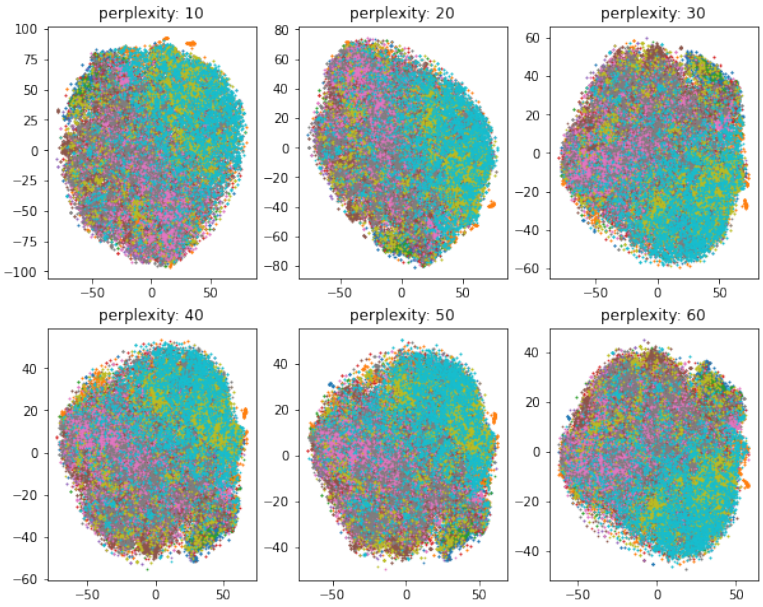
Το τελικό αποτέλεσμα στις δύο διαστάσεις παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2: Αποτελέσμα του t-SNE για την τιμή 10 του perplexity για τη βάση MNIST.

3.1.2 Cifar-10

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου t-SNE για διάφορες τιμές του perplexity. Παρατηρείται ότι ο αλγόριθμος αδυνατεί να ξεχωρίσει τις κλάσεις. Επιλέχθηκε η τιμή 60 για το perplexity.



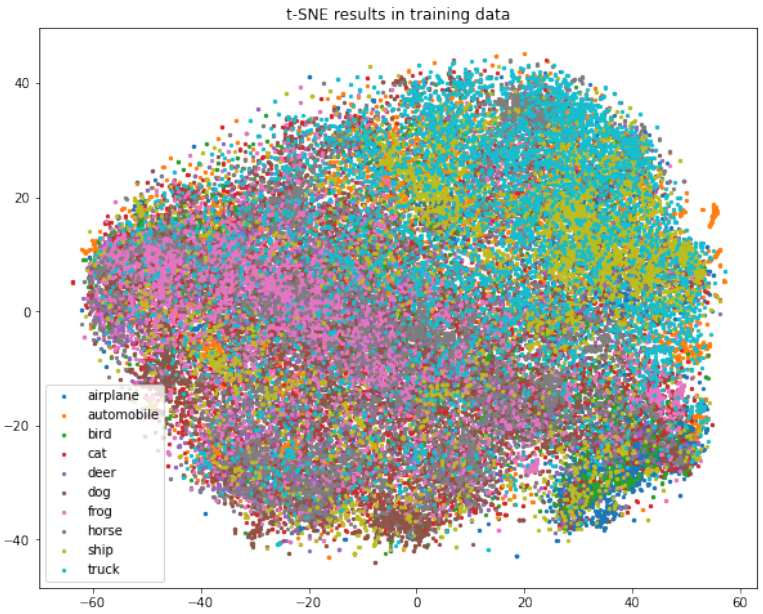
Σχήμα 3: Αποτελέσματα του t-SNE για διάφορες τιμές του perplexity για τη βάση Cifar-10.

Ο χρόνος εκτέλεσης για τις τιμές του perplexity που χρησιμοποιήθηκαν βρίσκονται στον Πίνακας 2.

perplexity	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
seconds	1024,3	1059,65	1240,23	1337,87	1399,87	1418,55

Πίνακας 2: Χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου t-SNE για διάφορες τιμές του perplexity για τη βάση Cifar-10.

Το τελικό αποτέλεσμα στις δύο διαστάσεις παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4: Αποτελέσμα του t-SNE για την τιμή 10 του perplexity για τη βάση Cifar-10.

3.1.3 Επιλογή παραμέτρων του spectral clustering

3.1.4 MNIST

Τα αποτελέσματα της αναζήτησης πλέγματος για την επιλογή των παραμέτρων του spectral clustering δίνονται στον Πίνακας 3. Παρατηρούμε ότι το καλύτερο αποτέλεσμα δίνεται για 50 γείτονες και 3 embeddings.

embeddings / neightbors	3	5	8	10	15	20	30	40
15	0,4422	0,4995	0,6873	0,48	0,5264	0,5454	0,3636	0,2594
20	0,7461	0,6794	0,6415	0,5709	0,6111	0,445	0,4842	0,3278
25	0,7483	0,6521	0,6004	0,5625	0,4925	0,551	0,301	0,2694
30	0,7074	0,7641	0,5954	0,5723	0,574	0,575	0,3413	0,3748
35	0,7118	0,6824	0,5969	0,621	0,5512	0,4322	0,3866	0,3417
40	0,6518	0,7695	0,6758	0,5682	0,4976	0,5028	0,3827	0,2743
50	0,8213	0,7845	0,674	0,6495	0,4559	0,5478	0,3847	0,4644

Πίνακας 3: Αποτελέσματα αναζήτησης πλέγματος της μετρικής ARI για διάφορες τιμές των γειτόνων και του αριθμού των embeddings για τη βάση MNIST.

3.1.5 Cifar-10

Τα αποτελέσματα της αναζήτησης πλέγματος για την επιλογή των παραμέτρων του spectral clustering δίνονται στον Πίνακας 4. Παρατηρούμε ότι το καλύτερο αποτέλεσμα δίνεται για 15 γείτονες και 20 embeddings.

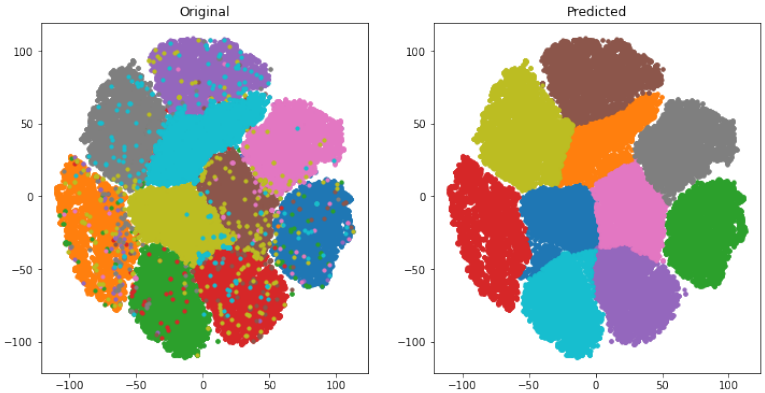
embeddings / neightbors	3	5	8	10	15	20	30	40
10	0,0303	0,0475	0,0461	0,0414	0,0379	0,0392	0,0378	0,0311
15	0,0486	0,0457	0,0476	0,0417	0,04	0,0488	0,0303	0,0281
20	0,0464	0,0456	0,0483	0,0413	0,0374	0,0449	0,0356	0,0272
25	0,0473	0,0456	0,0472	0,0413	0,0367	0,0351	0,0367	0,0124
30	0,0468	0,046	0,0416	0,0413	0,0364	0,0362	0,035	0,0275
40	0,0485	0,0447	0,0474	0,0481	0,0427	0,0482	0,0351	0,0253
50	0,0449	0,0459	0,0402	0,0403	0,0362	0,0354	0,029	0,023

Πίνακας 4: Αποτελέσματα αναζήτησης πλέγματος της μετρικής ARI για διάφορες τιμές των γειτόνων και του αριθμού των embeddings για τη βάση Cifar-10.

3.1.6 Αποτελέσματα καλύτερων μοντέλων

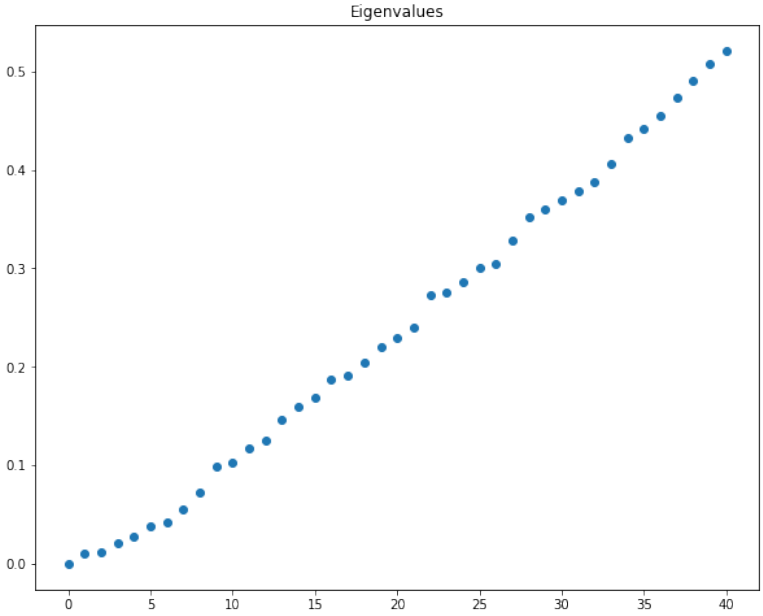
3.1.7 MNIST

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της ομαδοποίησης για 10 ομάδες τους καλύτερου μοντέλου σε σχέση με τις πραγματικές κλάσεις. Παρατηρούμε ότι ο αλγόριθμος βρίσκει τις σωστές ομάδες, ωστόσο υπάρχουν λάθη στα όρια μεταξύ ομάδων.



Σχήμα 5: Αποτέλεσμα ομαδοποίησης του καλύτερου μοντέλου σε σχέση με τις πραγματικές κλάσεις για τη βάση MNIST.

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζονται οι 41 μικρότερες ιδιοτιμές του καλύτερου μοντέλου. Παρατηρούμε ότι με μεγαλύτερα κενά παρουσιάζονται για τις τιμές 8, 21, 26.

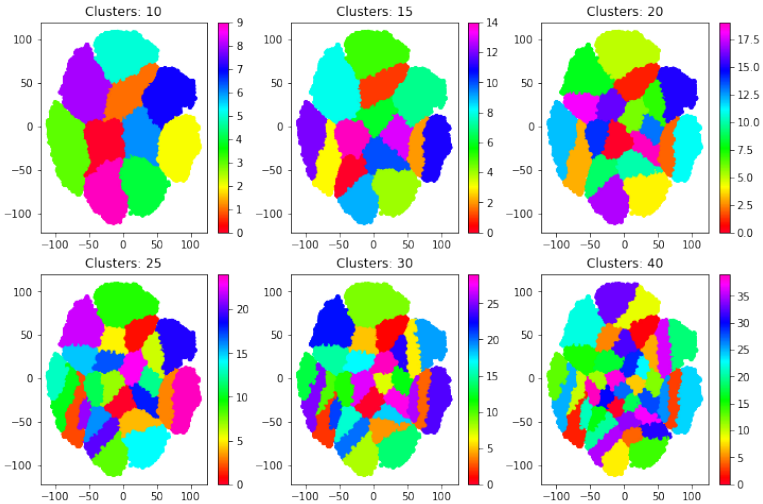


Σχήμα 6: Ιδιοτιμές του καλύτερου μοντέλου για τη βάση MNIST.

Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τους αριθμούς των ομάδων $[10, 15, 20, 25, 30, 40]$. Στο Σχήμα 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις ομάδες αυτές. Στον Πίνακας 5 παρουσιάζεται η μετρική silhouette με βάση τις αποστάσεις των embeddings και τις αποστάσεις στις δύο διαστάσεις (που παρήγαγε ο t-SNE).

Από το Σχήμα 7 παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύνει ο αριθμός των ομάδων τόσο οι ομάδες χωρίζονται, εκτός από τις δύο ομάδες πάνω δεξιά που μένουν σχεδόν αναλλοίωτες.

Από τον Πίνακας 5 παρατηρούμε ότι το καλύτερο αποτέλεσμα βάση της μετρικής silhouette είναι για 10 ομάδες.



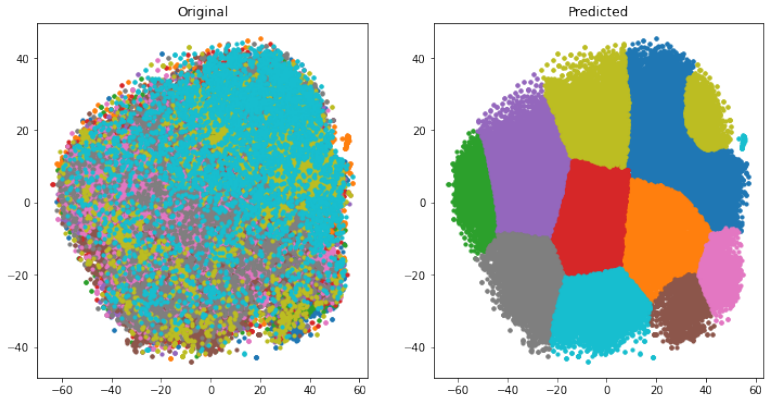
Σχήμα 7: Αποτελέσματα για διάφορες τιμές του αριθμού των ομάδων για τη βάση MNIST.

Data \ Clusters	10	15	20	25	30	40
Embeddings	0,5244	0,5023	0,4926	0,4699	0,4492	0,4159
TSNE 2D space	0,3632	0,3067	0,2639	0,258	0,257	0,2564

Πίνακας 5: Αποτελέσματα μετρικής silhouette με βάση τις αποστάσεις των embeddings και τις αποστάσεις στις δύο διαστάσεις για τη βάση MNIST.

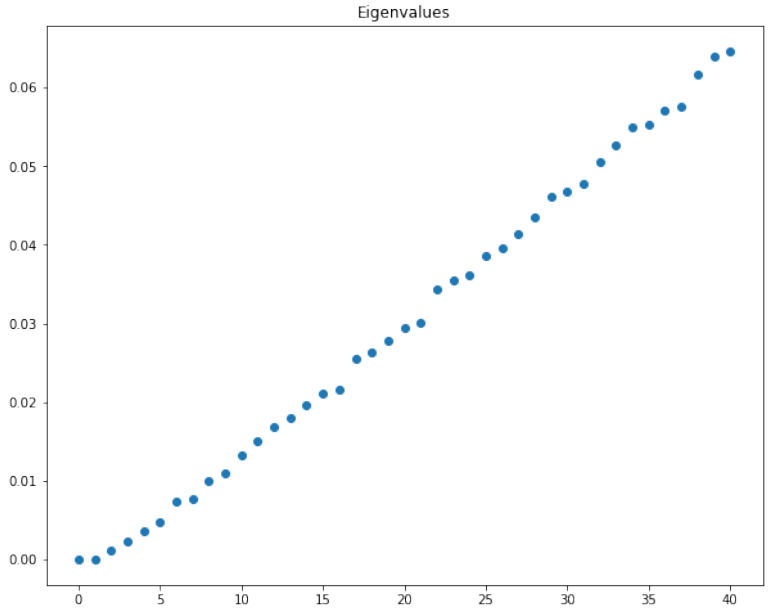
3.1.8 Cifar-10

Στο Σχήμα 8 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της ομαδοποίησης για 10 ομάδες τους καλύτερου μοντέλου σε σχέση με τις πραγματικές κλάσεις. Παρατηρούμε ότι ο αλγόριθμος δεν βρίσκει τις ομάδες όπως είναι, γεγονός που είναι αναμενόμενο αφού δεν υπάρχει κάποιο διαχωρισμός των ομάδων.



Σχήμα 8: Αποτέλεσμα ομαδοποίησης του καλύτερου μοντέλου σε σχέση με τις πραγματικές κλάσεις για τη βάση Cifar-10.

Στο Σχήμα 9 παρουσιάζονται οι 41 μικρότερες ιδιοτιμές του καλύτερου μοντέλου. Παρατηρούμε ότι με μεγαλύτερα κενά παρουσιάζονται για τις τιμές 5, 16, 21, 37.

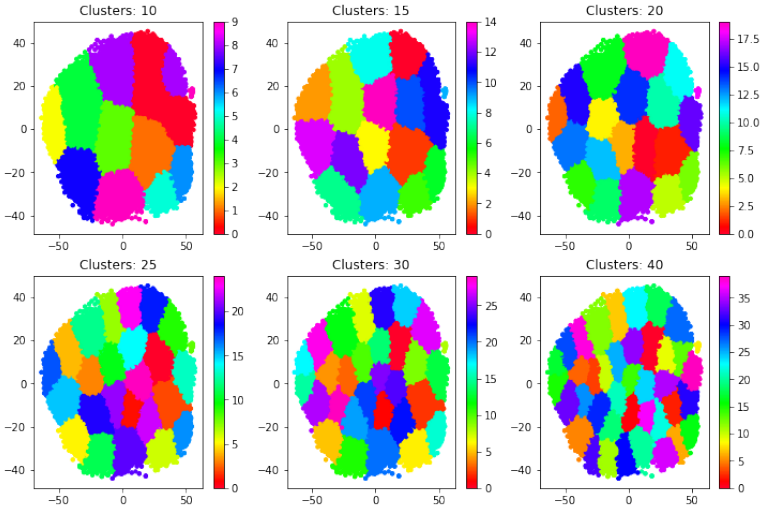


Σχήμα 9: Ιδιοτιμές του καλύτερου μοντέλου για τη βάση Cifar-10.

Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τους αριθμούς των ομάδων $[10, 15, 20, 25, 30, 40]$. Στο Σχήμα 10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις ομάδες αυτές. Στον Πίνακας 6 παρουσιάζεται η μετρική silhouette με βάση τις αποστάσεις των embeddings και τις αποστάσεις στις δύο διαστάσεις (που παρήγαγε ο t-SNE).

Από το Σχήμα 10 παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύνει ο αριθμός των ομάδων τόσο οι ομάδες χωρίζονται ομοιόμορφα.

Από τον Πίνακας 6 παρατηρούμε ότι το καλύτερο αποτέλεσμα βάση της μετρικής silhouette είναι για 10 ομάδες.



Σχήμα 10: Αποτελέσματα για διάφορες τιμές του αριθμού των ομάδων για τη βάση Cifar-10.

Data \ Clusters	10	15	20	25	30	40
Embeddings	0,5244	0,5023	0,4926	0,4699	0,4492	0,4159
TSNE 2D space	0,3632	0,3067	0,2639	0,258	0,257	0,2564

Πίνακας 6: Αποτελέσματα μετρικής silhouette με βάση τις αποστάσεις των embeddings και τις αποστάσεις στις δύο διαστάσεις για τη βάση Cifar-10.