



ARISTOTLE UNIVERSITY OF THESSALONIKI
FACULTY OF SCIENCES
SCHOOL OF INFORMATICS
MSC IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Υπολογιστική Νοημοσύνη - Στατιστική μάθηση

Κωστινούδης Ευάγγελος

Ιανουάριος 2023



1 Πρώτη εργασία

- Περιγραφή προβλήματος που επιλέχτηκε
- Υλοποίηση
- Αποτελέσματα

2 Δεύτερη εργασία

- Περιγραφή προβλήματος που επιλέχτηκε
- Υλοποίηση
- Αποτελέσματα
- Σύγκριση με τα αποτελέσματα των SVMs

3 Τρίτη εργασία

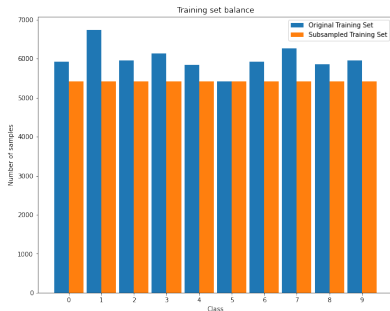
- Περιγραφή προβλήματος που επιλέχτηκε
- Υλοποίηση
- Αποτελέσματα



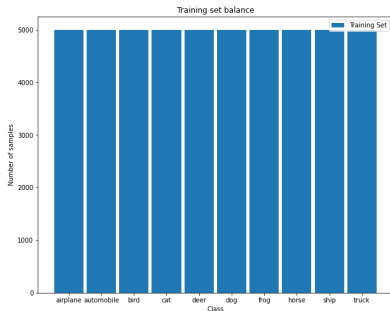
Για την εργασία αυτή επιλέχτηκε το πρόβλημα του διαχωρισμού κλάσεων και τα δεδομένα προέρχονται από τις βάσεις:

- 1 MNIST
- 2 Cifar-10

Επιλογή δειγμάτων



(I) Ιστόγραμμα κλάσεων πριν και μετά την υποδειγματοληψία για τη βάση MNIST



(II) Ιστόγραμμα κλάσεων για τη βάση CIFAR-10

Σχήμα: Ιστογράμματα κλάσεων για τις βάσεις δεδομένων



Προεπεξεργασία δεδομένων και για τις δύο βάσεις

- 1 Μετασχηματισμός των δεδομένων στο διάστημα $[0, 1]$ για κάθε χαρακτηριστικό των δεδομένων.
- 2 Εφαρμογή της μεθόδου PCA, κρατώντας τουλάχιστον 90% της πληροφορίας.
- 3 Μετασχηματισμός των δεδομένων στο διάστημα $[0, 1]$ για κάθε χαρακτηριστικό των δεδομένων ξανά.



Πυρήνες SVM

- 1 Γραμμικό SVM
- 2 SVM με πολυωνυμικό πυρήνα
- 3 SVM με RBF πυρήνα
- 4 SVM με σιγμοειδή πυρήνα



Πυρήνες SVM

- 1 Γραμμικό SVM
- 2 SVM με πολυωνυμικό πυρήνα
- 3 SVM με RBF πυρήνα
- 4 SVM με σιγμοειδή πυρήνα

Επειδή τα δεδομένα έχουν περισσότερες από δύο κλάσεις (έχουν δέκα), χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος 1vs1 όπου εκπαιδεύονται $\frac{n(n-1)}{2}$ δυαδικοί ταξινομητές, όπου n ο αριθμός των κλάσεων (δηλαδή 45 δυαδικοί ταξινομητές για κάθε μοντέλο). Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί δυαδικών ταξινομητών. Οι ταξινομητές αυτοί "ψηφίζουν" ανάμεσα σε δύο κλάσεις και η τελική κλάση είναι αυτή με τις περισσότερες ψήφους.



Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι **πλησιέστερων γειτόνων (Nearest Neighbors)** και **πλησιέστερου κέντρου κλάσης (Nearest Class Centroid)**, ώστε να συγκριθούν με τα μοντέλα SVM.

Για κάθε μοντέλο υλοποιήθηκε η μέθοδος **αναζήτησης πλέγματος (grid search)** για την εύρεση των καλύτερων παραμέτρων εκτός του μοντέλου πλησιέστερου κέντρου κλάσης, επειδή ο αλγόριθμος δεν έχει κάποια παράμετρο για επιλογή (εκτός από την μερική της απόστασης όπου χρησιμοποιήθηκε η ευκλείδεια απόσταση).



Για τη βάση MNIST χρησιμοποιήθηκε 3-fold cross validation για τις παραμέτρους:

- 1 Γραμμικό SVM: $C : (0.1, 1, 10)$
- 2 SVM με πολυωνυμικό πυρήνα:
 $C : (0.1, 1, 10), d : (2, 3, 4), \gamma : (0.1, 1, 10)$
- 3 SVM με RBF πυρήνα: $C : (1, 10, 50), \gamma : (0.01, 0.1, 1, 10, 100)$
- 4 SVM με σιγμοειδή πυρήνα:
 $C : (10, 100, 1000, 10000), \gamma : (0.0001, 0.001, 0.01, 0.1)$



Για τη βάση Cifar-10 χρησιμοποιήθηκε 2-fold cross validation για τις παραμέτρους:

- 1 Γραμμικό SVM: $C : (0.1, 1, 10)$
- 2 SVM με πολυωνυμικό πυρήνα:
 $C : (0.1, 1, 10), d : (2, 3), \gamma : (0.1, 1)$
- 3 SVM με RBF πυρήνα: $C : (1, 10, 50), \gamma : (0.1, 1, 10)$
- 4 SVM με σιγμοειδή πυρήνα:
 $C : (10, 100, 1000), \gamma : (0.0001, 0.001, 0.01)$



Όπου C είναι η παράμετρος του σφάλματος από της εξίσωσης:

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{w}, b, \xi} & \frac{1}{2} \mathbf{w}^T \mathbf{w} + C \sum_i \xi_i \\ \text{subject to } & y_i(\mathbf{w}^T \phi(\mathbf{x}_i) + b) \geq 1 - \xi_i \\ & \xi_i \geq 0 \end{aligned}$$

Επίσης οι υπόλοιπες παράμετροι για κάθε πυρήνα είναι:

- 1 SVM με πολυωνυμικό πυρήνα: $K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = (\gamma \mathbf{x}_i^T \mathbf{x}_j)^d$
- 2 SVM με RBF πυρήνα: $K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \exp(-\gamma \|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|^2)$
- 3 SVM με σιγμοειδή πυρήνα: $K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \tanh(\gamma \mathbf{x}_i^T \mathbf{x}_j)$



Για το μοντέλο **πλησιέστερων γειτόνων** και για τις δύο βάσεις χρησιμοποιήθηκε **3-fold cross validation**.

Παράμετροι πλησιέστερων γειτόνων

- *n_neighbors* : (1, 3, 5, 10, 30, 100, 200)
- *weights* : (*uniform*, *distance*)

Όπου *n_neighbors* ο αριθμός των γειτόνων και *weights* η χρήση βαρών (*distance* υπολογισμός βαρών μέσω της ευκλείδειας απόστασης και *uniform* ομοιόμορφα βάρη).



Για το μοντέλο **πλησιέστερων γειτόνων** και για τις δύο βάσεις χρησιμοποιήθηκε **3-fold cross validation**.

Παράμετροι πλησιέστερων γειτόνων

- *n_neighbors* : (1, 3, 5, 10, 30, 100, 200)
- *weights* : (*uniform*, *distance*)

Όπου *n_neighbors* ο αριθμός των γειτόνων και *weights* η χρήση βαρών (*distance* υπολογισμός βαρών μέσω της ευκλείδειας απόστασης και *uniform* ομοιόμορφα βάρη).

Η μετρική για την επιλογή των παραμέτρων είναι το **macro F1-score** δηλαδή ο μέσος όρος των F1-scores για κάθε κλάση.



Ο λόγος που επιλέχτηκαν παραπάνω παράμετροι για τη βάση MNIST αλλά και περισσότερες τιμές στο cross validation είναι ο χρόνος εκτέλεσης των πειραμάτων. Με τις παραμέτρους αυτές ο χρόνος εκτέλεσης των πειραμάτων για τις δύο βάσεις είναι παρόμοιος. Η διαφορά μεταξύ 2-fold και 3-fold είναι πολύ μεγαλύτερη από τα $2/3$ του χρόνου εκτέλεσης γιατί τα πειράματα που τρέχουν έχουν και λιγότερα δείγματα και ο αλγόριθμος εκπαίδευσης (QP solver της libsvm) έχει πολυπλοκότητα μεταξύ $O(n_{features} \times n_{samples}^2)$ και $O(n_{features} \times n_{samples}^3)$.

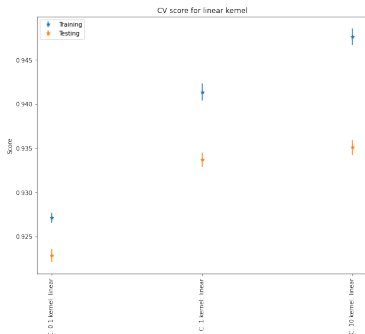


Τα πειράματα εκτελέστηκαν στο περιβάλλον του Google Colab. Επίσης, για τις μετρικές precision, recall και F1 χρησιμοποιήθηκε η macro εκδοχή τους που είναι ο μέσος όρος των μετρικών αυτών για κάθε κλάση.

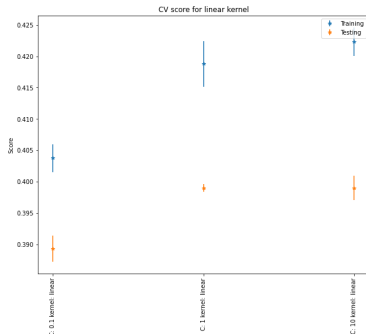
Γραμμικό SVM



Παρατηρείται ότι για το μοντέλο του γραμμικού SVM η καλύτερη παράμετρος του C για τη βάση MNIST είναι **10** ενώ για την βάση Cifar-10 είναι **1**.



(I) MNIST

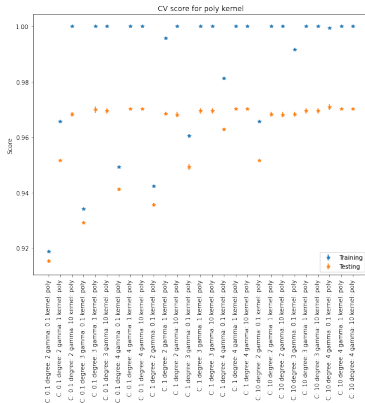


(II) Cifar-10

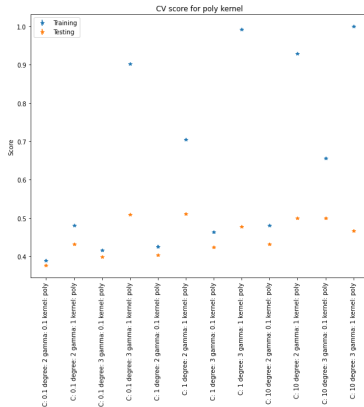
Σχήμα: Αποτελέσματα αναζήτησης πλέγματος για το γραμμικό SVM



SVM με πολυωνυμικό πυρήνα



(I) MNIST



(II) Cifar-10

Σχήμα: Αποτελέσματα αναζήτησης πλέγματος για το SVM με πολυωνυμικό πυρήνα

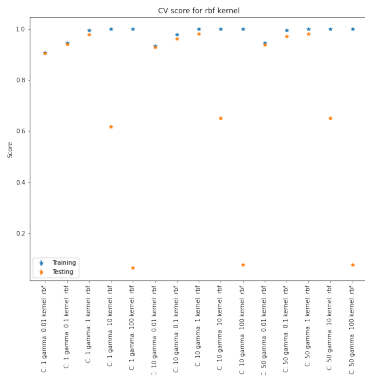
SVM με πολυωνυμικό πυρήνα



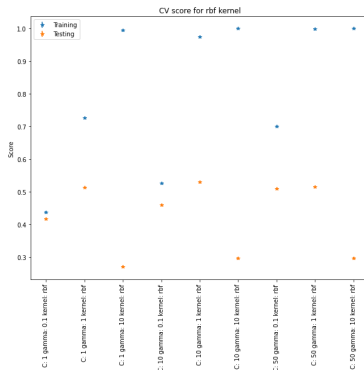
	MNIST	Cifar-10
C	10	1
γ	0.1	1
d	4	2

Πίνακας: Καλύτεροι παράμετροι SVM με πολυωνυμικό πυρήνα

SVM με RBF πυρήνα



(I) MNIST



(II) Cifar-10

Σχήμα: Αποτελέσματα αναζήτησης πλέγματος για το SVM με RBF πυρήνα

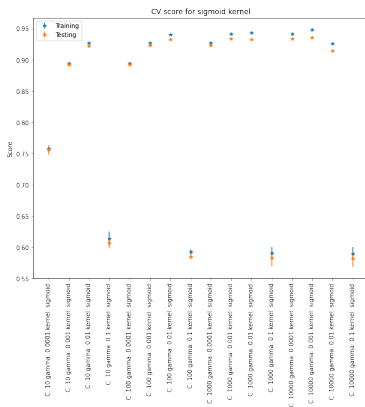
SVM με RBF πυρήνα



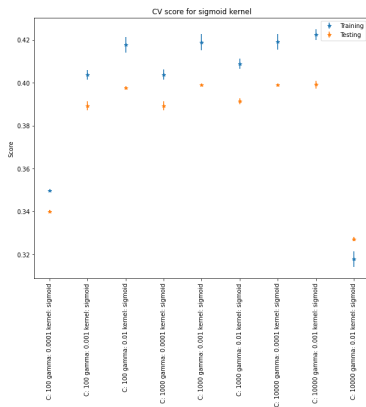
	MNIST	Cifar-10
C	10	10
γ	1	1

Πίνακας: Καλύτεροι παράμετροι SVM με RBF πυρήνα

SVM με σιγμοειδή πυρήνα



(I) MNIST



(II) Cifar-10

Σχήμα: Αποτελέσματα αναζήτησης πλέγματος για το SVM με σιγμοειδή πυρήνα

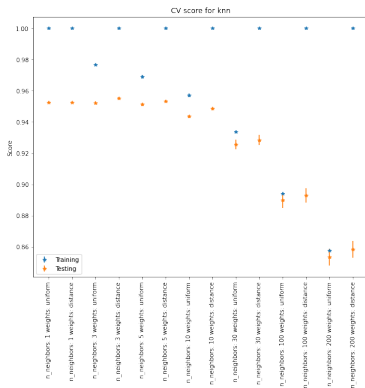
SVM με σιγμοειδή πυρήνα



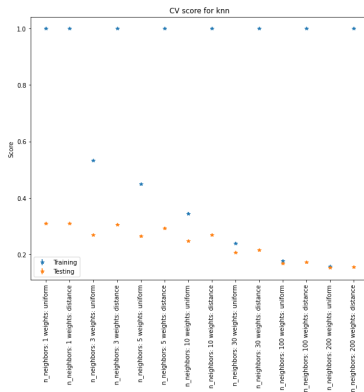
	MNIST	Cifar-10
C	10000	10000
γ	0.001	0.001

Πίνακας: Καλύτεροι παράμετροι SVM με σιγμοειδή πυρήνα

Πλησιέστερων γειτόνων



(I) MNIST



(II) Cifar-10

Σχήμα: Αποτελέσματα αναζήτησης πλέγματος για το μοντέλο πλησιέστερων γειτόνων



	MNIST	Cifar-10
<i>n_neighbors</i>	3	1
<i>weights</i>	distance	uniform

Πίνακας: Καλύτεροι παράμετροι πλησιέστερων γειτόνων



Απόδοση μοντέλων στην MNIST

Model	Accuracy	Precision	Recall	F1	Training Time (seconds)
C: 10 kernel: linear	0,9461	0,946	0,9461	0,946	57,5676
C: 10 degree: 4 gamma: 0.1 kernel: poly	0,9993	0,9993	0,9993	0,9993	54,2103
C: 10 gamma: 1 kernel: rbf	1	1	1	1	125,2382
C: 10000 gamma: 0.001 kernel: sigmoid	0,946	0,9459	0,946	0,9459	63,1962
n_neighbors: 3 weights: distance	1	1	1	1	0,0161
Nearest Centroid	0,8495	0,852	0,8495	0,8496	0,0508

Πίνακας: Μετρικές αποτελεσμάτων στο σύνολο εκπαίδευσης και χρόνος εκπαίδευσης για τη βάση MNIST

Απόδοση μοντέλων στην MNIST

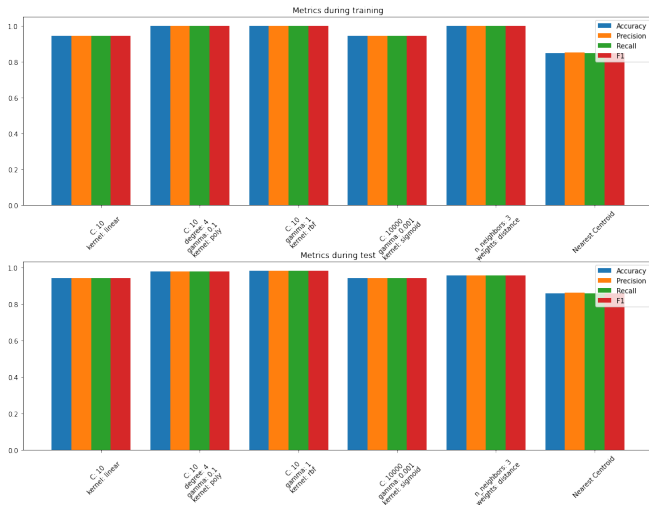


Model	Accuracy	Precision	Recall	F1
C: 10 kernel: linear	0,9436	0,9429	0,9428	0,9427
C: 10 degree: 4 gamma: 0.1 kernel: poly	0,9777	0,9776	0,9775	0,9776
C: 10 gamma: 1 kernel: rbf	0,9841	0,984	0,9841	0,984
C: 10000 gamma: 0.001 kernel: sigmoid	0,9437	0,943	0,9429	0,9428
n_neighbors: 3 weights: distance	0,9579	0,9584	0,9575	0,9576
Nearest Centroid	0,8606	0,8614	0,859	0,8594

Πίνακας: Μετρικές αποτελεσμάτων στο σύνολο ελέγχου για τη βάση MNIST

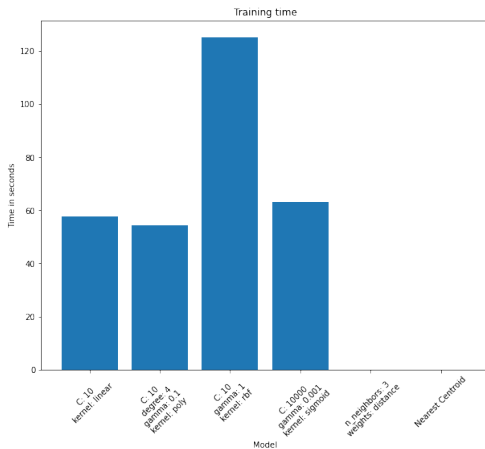


Απόδοση μοντέλων στην MNIST



Σχήμα: Μετρικές για τη βάση MNIST

Απόδοση μοντέλων στην MNIST



Σχήμα: Χρόνος εκπαίδευσης για τη βάση MNIST

Απόδοση μοντέλων στην Cifar-10



Model	Accuracy	Precision	Recall	F1	Training Time (seconds)
C: 1 kernel: linear	0,4189	0,416	0,4189	0,416	410,7339
C: 1 degree: 2 gamma: 1 kernel: poly	0,6943	0,6989	0,6943	0,695	823,6295
C: 10 gamma: 1 kernel: rbf	0,9631	0,964	0,9631	0,9634	569,9598
C: 10000 gamma: 0.001 kernel: sigmoid	0,4204	0,4175	0,4204	0,4175	603,1902
n_neighbors: 1 weights: uniform	1	1	1	1	0,0092
Nearest Centroid	0,3661	0,3626	0,3661	0,3575	0,0291

Πίνακας: Μετρικές αποτελεσμάτων στο σύνολο εκπαίδευσης και χρόνος εκπαίδευσης για τη βάση Cifar-10.

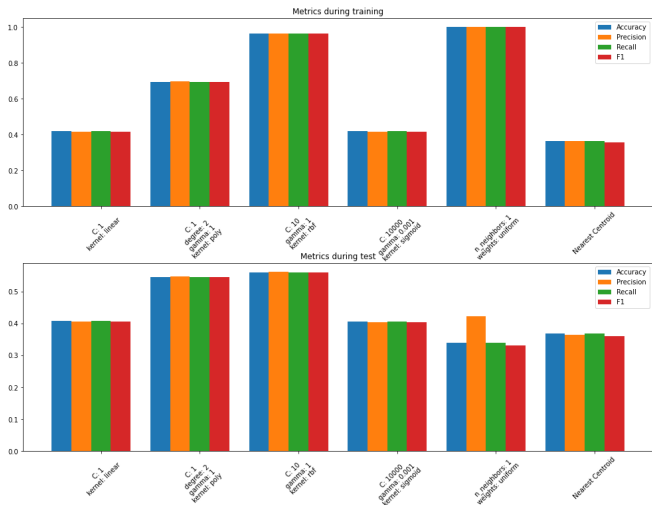
Απόδοση μοντέλων στην Cifar-10



Model	Accuracy	Precision	Recall	F1
C: 1 kernel: linear	0,4092	0,4067	0,4092	0,4067
C: 1 degree: 2 gamma: 1 kernel: poly	0,5463	0,5485	0,5463	0,5457
C: 10 gamma: 1 kernel: rbf	0,56	0,5626	0,56	0,5607
C: 10000 gamma: 0.001 kernel: sigmoid	0,4074	0,4046	0,4074	0,4048
n_neighbors: 1 weights: uniform	0,3394	0,4238	0,3394	0,3307
Nearest Centroid	0,369	0,3647	0,369	0,3601

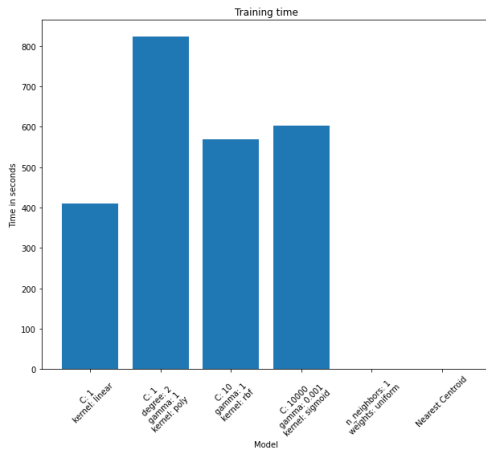
Πίνακας: Μετρικές αποτελεσμάτων στο σύνολο ελέγχου για τη βάση Cifar-10

Απόδοση μοντέλων στην Cifar-10



Σχήμα: Μετρικές για τη βάση Cifar-10

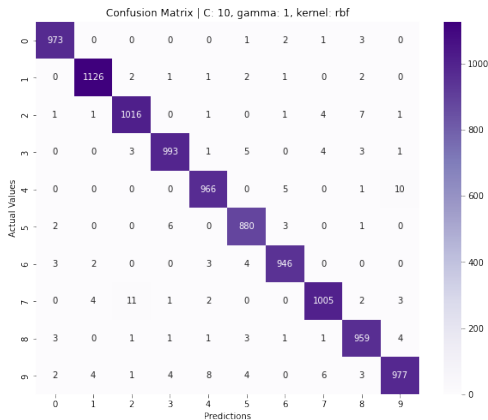
Απόδοση μοντέλων στην Cifar-10



Σχήμα: Χρόνος εκπαίδευσης για τη βάση Cifar-10

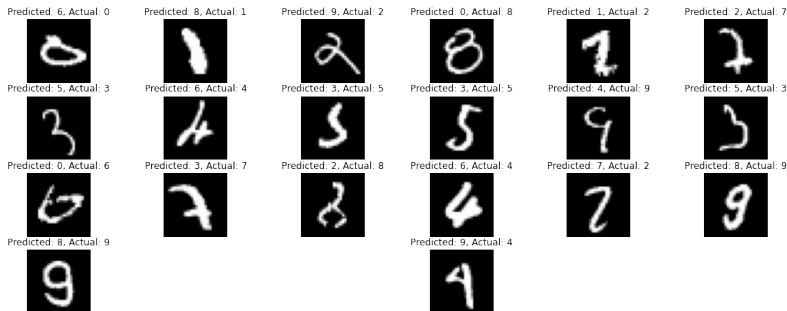


Απόδοση καλύτερου μοντέλου στην MNIST



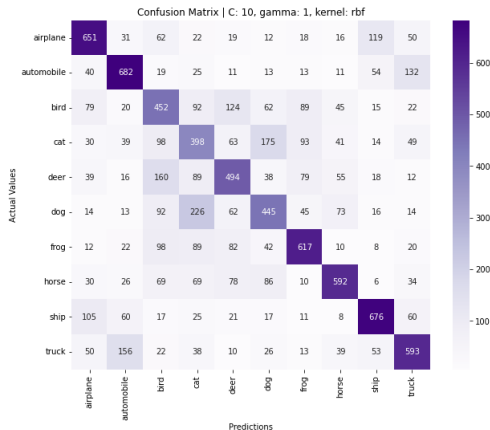
Σχήμα: Confusion matrix για τη βάση MNIST

Απόδοση καλύτερου μοντέλου στην MNIST



Σχήμα: Λάθος ταξινομήσεις του καλύτερου μοντέλου για τη βάση MNIST

Απόδοση καλύτερου μοντέλου στην Cifar-10



Σχήμα: Confusion matrix για τη βάση Cifar-10

Απόδοση καλύτερου μοντέλου στην Cifar-10



Σχήμα: Λάθος ταξινομήσεις του καλύτερου μοντέλου για τη βάση Cifar-10



1 Πρώτη εργασία

- Περιγραφή προβλήματος που επιλέχτηκε
- Υλοποίηση
- Αποτελέσματα

2 Δεύτερη εργασία

- Περιγραφή προβλήματος που επιλέχτηκε
- Υλοποίηση
- Αποτελέσματα
- Σύγκριση με τα αποτελέσματα των SVMs

3 Τρίτη εργασία

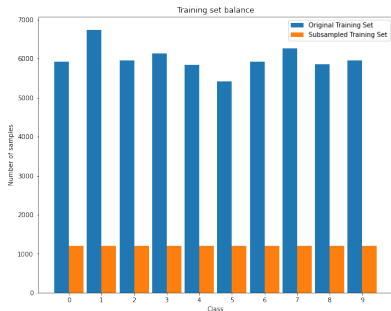
- Περιγραφή προβλήματος που επιλέχτηκε
- Υλοποίηση
- Αποτελέσματα



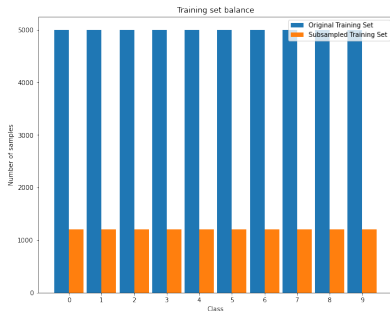
Οι βάσεις που επιλέχτηκαν, οι οποίες είναι ίδιες με την προηγούμενη εργασία, είναι:

- 1 MNIST
- 2 Cifar-10

Επιλογή δειγμάτων



(I) Ιστόγραμμα κλάσεων πριν και μετά την υποδειγματοληψία για τη βάση MNIST



(II) Ιστόγραμμα κλάσεων πριν και μετά την υποδειγματοληψία για τη βάση Cifar-10

Σχήμα: Ιστογράμματα κλάσεων για τις βάσεις δεδομένων



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



Για την εύρεση των καλύτερων παραμέτρων το σύνολο εκπαίδευσης χωρίστηκε σε σύνολο εκπαίδευσης και επικύρωσης, όπου το σύνολο εκπαίδευσης αποτελείται από 7.000 δείγματα και το σύνολο επικύρωσης από 5.000 δείγματα και για τις δύο βάσεις.



Για τη βάση MNIST οι παράμετροι είναι:

- 1 Γραμμικός πυρήνας.
- 2 Πολυωνυμικός πυρήνας: $d : 2, \gamma : (0.1, 1, 10)$.
- 3 RBF πυρήνας: $\gamma : (0.05, 0.1, 0.5)$.
- 4 Σιγμοειδής πυρήνας: $\gamma : (0.00001, 0.0001, 0.001)$.



Για τη βάση MNIST οι παράμετροι είναι:

- 1 Γραμμικός πυρήνας.
- 2 Πολυωνυμικός πυρήνας: $d : 2, \gamma : (0.1, 1, 10)$.
- 3 RBF πυρήνας: $\gamma : (0.05, 0.1, 0.5)$.
- 4 Σιγμοειδής πυρήνας: $\gamma : (0.00001, 0.0001, 0.001)$.

Και για τη βάση Cifar-10:

- 1 Γραμμικός πυρήνας.
- 2 Πολυωνυμικός πυρήνας: $d : 2, \gamma : (0.01, 0.1, 1)$.
- 3 RBF πυρήνας: $\gamma : (0.001, 0.01, 0.1)$.
- 4 Σιγμοειδής πυρήνας: $\gamma : (0.00001, 0.0001, 0.001)$.



Για τη βάση MNIST οι παράμετροι είναι:

- 1 Γραμμικός πυρήνας.
- 2 Πολυωνυμικός πυρήνας: $d : 2, \gamma : (0.1, 1, 10)$.
- 3 RBF πυρήνας: $\gamma : (0.05, 0.1, 0.5)$.
- 4 Σιγμοειδής πυρήνας: $\gamma : (0.00001, 0.0001, 0.001)$.

Και για τη βάση Cifar-10:

- 1 Γραμμικός πυρήνας.
- 2 Πολυωνυμικός πυρήνας: $d : 2, \gamma : (0.01, 0.1, 1)$.
- 3 RBF πυρήνας: $\gamma : (0.001, 0.01, 0.1)$.
- 4 Σιγμοειδής πυρήνας: $\gamma : (0.00001, 0.0001, 0.001)$.

Οι παράμετροι για κάθε πυρήνα είναι:

- 1 Πολυωνυμικός πυρήνας: $K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = (\gamma \mathbf{x}_i^T \mathbf{x}_j)^d$.
- 2 RBF πυρήνας: $K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \exp(-\gamma \|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|^2)$.
- 3 Σιγμοειδής πυρήνας: $K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \tanh(\gamma \mathbf{x}_i^T \mathbf{x}_j)$.



Για την ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι **πλησιέστερων γειτόνων (Nearest Neighbors)** και **πλησιέστερου κέντρου κλάσης (Nearest Class Centroid)**. Για το μοντέλο πλησιέστερων γειτόνων και για τις δύο βάσεις χρησιμοποιήθηκε $n_neighbors : (1, 3, 5, 10, 15)$ όπου $n_neighbors$ ο αριθμός των γειτόνων.



Για την ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι **πλησιέστερων γειτόνων (Nearest Neighbors)** και **πλησιέστερου κέντρου κλάσης (Nearest Class Centroid)**. Για το μοντέλο πλησιέστερων γειτόνων και για τις δύο βάσεις χρησιμοποιήθηκε $n_neighbors : (1, 3, 5, 10, 15)$ όπου $n_neighbors$ ο αριθμός των γειτόνων.

Για το μοντέλο **πλησιέστερων γειτόνων**, για την απόσταση των γειτόνων χρησιμοποιήθηκε η **fused απόσταση** που δίνεται στο [Yan+05] με $\theta = 1$. Για το μοντέλο του **πλησιέστερου κέντρου κλάσης** χρησιμοποιήθηκαν τα **regular και irregular discriminant features** που παρουσιάζονται στο [Yan+05]. Το μέγεθος του διανύσματος των χαρακτηριστικών είναι 18 από τα οποία 9 αφορούν τα regular και 9 irregular discriminant features και για τις δύο βάσεις.



Τα πειράματα εκτελέστηκαν σε επεξεργαστή Intel i7-4510U και 8GB μνήμη. Επίσης, για τις μετρικές precision, recall και F1 χρησιμοποιήθηκε η macro εκδοχή τους που είναι ο μέσος όρος των μετρικών αυτών για κάθε κλάση.

Επιλογή παραμέτρων πλησιέστερων γειτόνων στην MNIST



Model	Best n	Accuracy	Precision	Recall	F1
kernel: linear	1	0,1	0,01	0,1	0,0182
kernel: poly degree: 2 gamma: 0.1	1	0,2468	0,2038	0,2468	0,1831
kernel: poly degree: 2 gamma: 1	3	0,2944	0,3749	0,2944	0,23
kernel: poly degree: 2 gamma: 10	1	0,1	0,01	0,1	0,0182
kernel: rbf gamma: 0.05	1	0,965	0,9652	0,965	0,965
kernel: rbf gamma: 0.1	1	0,8762	0,9264	0,8762	0,8892
kernel: rbf gamma: 0.5	10	0,2628	0,9015	0,2628	0,2604
kernel: sigmoid gamma: 1e-05	3	0,1002	0,06	0,1002	0,0186
kernel: sigmoid gamma: 0.0001	1	0,1	0,01	0,1	0,0182
kernel: sigmoid gamma: 0.001	3	0,1574	0,0812	0,1574	0,0829

Πίνακας: Αποτελέσματα επιλογής παραμέτρων για την μέθοδο πλησιέστερων γειτόνων και τη βάση MNIST

Επιλογή παραμέτρων πλησιέστερου κέντρου κλάσης στην MNIST



Model	Accuracy	Precision	Recall	F1
kernel: linear	0,195	0,1683	0,195	0,098
kernel: poly degree: 2 gamma: 0.1	0,9156	0,9254	0,9156	0,9161
kernel: poly degree: 2 gamma: 1	0,7542	0,8715	0,7542	0,7506
kernel: poly degree: 2 gamma: 10	0,1	0,01	0,1	0,0182
kernel: rbf gamma: 0.05	0,9292	0,932	0,9292	0,9299
kernel: rbf gamma: 0.1	0,6912	0,8712	0,6912	0,7356
kernel: rbf gamma: 0.5	0,1526	0,1723	0,1526	0,0916
kernel: sigmoid gamma: 1e-05	0,1152	0,206	0,1152	0,0453
kernel: sigmoid gamma: 0.0001	0,1278	0,1024	0,1278	0,0614
kernel: sigmoid gamma: 0.001	0,133	0,2562	0,133	0,0739

Πίνακας: Αποτελέσματα επιλογής παραμέτρων για την μέθοδο πλησιέστερου κέντρου κλάσης και τη βάση MNIST

Επιλογή παραμέτρων πλησιέστερων γειτόνων στην Cifar-10



Model	Best n	Accuracy	Precision	Recall	F1
kernel: linear	1	0,1	0,01	0,1	0,0182
kernel: poly degree: 2 gamma: 0.01	1	0,1	0,01	0,1	0,0182
kernel: poly degree: 2 gamma: 0.1	3	0,1058	0,0278	0,1058	0,029
kernel: poly degree: 2 gamma: 1	1	0,1	0,01	0,1	0,0182
kernel: rbf gamma: 0.001	1	0,1	0,01	0,1	0,0182
kernel: rbf gamma: 0.01	15	0,4198	0,5173	0,4198	0,4233
kernel: rbf gamma: 0.1	10	0,1868	0,3889	0,1868	0,1686
kernel: sigmoid gamma: 1e-05	1	0,1	0,01	0,1	0,0182
kernel: sigmoid gamma: 0.0001	1	0,1	0,01	0,1	0,0182
kernel: sigmoid gamma: 0.001	1	0,1	0,01	0,1	0,0182

Πίνακας: Αποτελέσματα επιλογής παραμέτρων για την μέθοδο πλησιέστερων γειτόνων και τη βάση Cifar-10

Επιλογή παραμέτρων πλησιέστερου κέντρου κλάσης στην Cifar-10



Model	Accuracy	Precision	Recall	F1
kernel: linear	0,1246	0,027	0,1246	0,0419
kernel: poly degree: 2 gamma: 0.01	0,1002	0,11	0,1002	0,0186
kernel: poly degree: 2 gamma: 0.1	0,1	0,01	0,1	0,0182
kernel: poly degree: 2 gamma: 1	0,1	0,01	0,1	0,0182
kernel: rbf gamma: 0.001	0,146	0,1267	0,146	0,0686
kernel: rbf gamma: 0.01	0,4512	0,4597	0,4512	0,4461
kernel: rbf gamma: 0.1	0,1696	0,3601	0,1696	0,1273
kernel: sigmoid gamma: 1e-05	0,128	0,0258	0,128	0,0427
kernel: sigmoid gamma: 0.0001	0,1	0,01	0,1	0,0182
kernel: sigmoid gamma: 0.001	0,1	0,01	0,1	0,0182

Πίνακας: Αποτελέσματα επιλογής παραμέτρων για την μέθοδο πλησιέστερου κέντρου κλάσης και τη βάση Cifar-10

Αποτελέσματα πλησιέστερων γειτόνων στην MNIST



Model	Best n	Accuracy	Precision	Recall	F1	KPCA+LDA Time (seconds)	kNN Time
kernel: rbf gamma: 0.05	1	1	1	1	1	8818,2817	2,8122

Πίνακας: Αποτελέσματα καλύτερου μοντέλου πλησιέστερων γειτόνων στο σύνολο εκπαίδευσης για τη βάση MNIST

Model	Best n	Accuracy	Precision	Recall	F1	KPCA+LDA Time (seconds)	kNN Time
kernel: rbf gamma: 0.05	1	0,9726	0,9726	0,9726	0,9725	8818,2817	2,8122

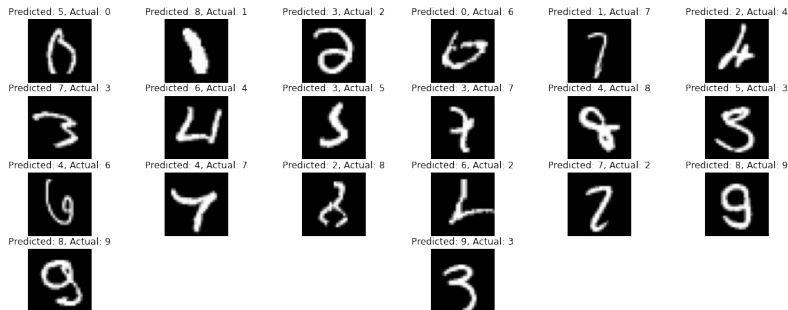
Πίνακας: Αποτελέσματα καλύτερου μοντέλου πλησιέστερων γειτόνων στο σύνολο ελέγχου για τη βάση MNIST

Αποτελέσματα πλησιέστερων γειτόνων στην MNIST



Σχήμα: Confusion matrix για τη μέθοδο πλησιέστερων γειτόνων για τη βάση MNIST

Αποτελέσματα πλησιέστερων γειτόνων στην MNIST



Σχήμα: Λάθος ταξινομήσεις του καλύτερου μοντέλου για τη μέθοδο πλησιέστερων γειτόνων και τη βάση MNIST

Αποτελέσματα πλησιέστερου κέντρου κλάσης στην MNIST



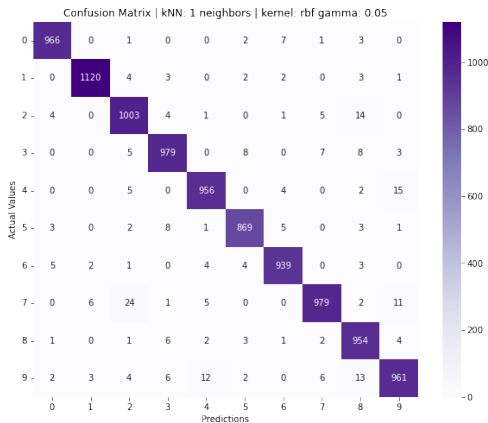
Model	Accuracy	Precision	Recall	F1	KPCA+LDA Time (seconds)	Nearest Centroid Time
kernel: rbf gamma: 0.05	0,9145	0,9158	0,9145	0,9149	8818,2817	0,0125

Πίνακας: Αποτελέσματα καλύτερου μοντέλου πλησιέστερου κέντρου κλάσης στο σύνολο εκπαίδευσης για τη βάση MNIST

Model	Accuracy	Precision	Recall	F1	KPCA+LDA Time (seconds)	Nearest Centroid Time
kernel: rbf gamma: 0.05	0,9484	0,9487	0,9482	0,9482	8818,2817	0,0125

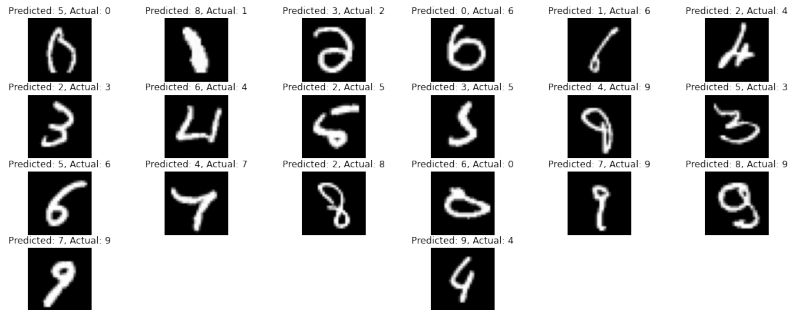
Πίνακας: Αποτελέσματα καλύτερου μοντέλου πλησιέστερου κέντρου κλάσης στο σύνολο ελέγχου για τη βάση MNIST

Αποτελέσματα πλησιέστερου κέντρου κλάσης στην MNIST



Σχήμα: Confusion matrix για τη μέθοδο πλησιέστερου κέντρου κλάσης για τη βάση MNIST

Αποτελέσματα πλησιέστερου κέντρου κλάσης στην MNIST



Σχήμα: Λάθος ταξινομήσεις του καλύτερου μοντέλου για τη μέθοδο πλησιέστερου κέντρου κλάσης και τη βάση MNIST

Αποτελέσματα πλησιέστερων γειτόνων στην Cifar-10



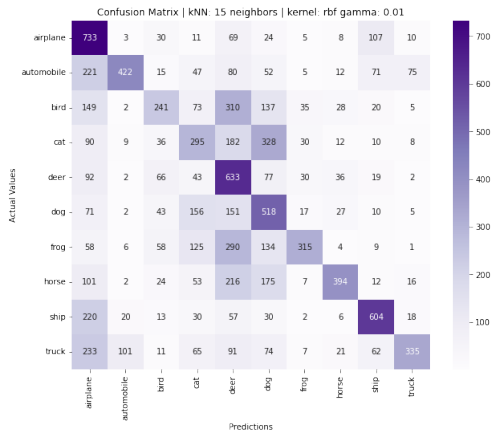
Model	Best n	Accuracy	Precision	Recall	F1	KPCA+LDA Time (seconds)	kNN Time
kernel: rbf gamma: 0.01	15	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	13608,5766	5,3204

Πίνακας: Αποτελέσματα καλύτερου μοντέλου πλησιέστερων γειτόνων στο σύνολο εκπαίδευσης για τη βάση Cifar-10

Model	Best n	Accuracy	Precision	Recall	F1	KPCA+LDA Time (seconds)	kNN Time
kernel: rbf gamma: 0.01	15	0,449	0,5304	0,449	0,4499	13608,5766	5,3204

Πίνακας: Αποτελέσματα καλύτερου μοντέλου πλησιέστερων γειτόνων στο σύνολο ελέγχου για τη βάση Cifar-10

Αποτελέσματα πλησιέστερων γειτόνων στην Cifar-10



Σχήμα: Confusion matrix για τη μέθοδο πλησιέστερων γειτόνων και τη βάση Cifar-10

Αποτελέσματα πλησιέστερων γειτόνων στην Cifar-10



Σχήμα: Λάθος ταξινομήσεις του καλύτερου μοντέλου για τη μέθοδο πλησιέστερων γειτόνων και τη βάση Cifar-10

Αποτελέσματα πλησιέστερου κέντρου κλάσης στην Cifar-10



Model	Accuracy	Precision	Recall	F1	KPCA+LDA Time (seconds)	Nearest Centroid Time
kernel: rbf gamma: 0.01	0,7629	0,7637	0,7629	0,7631	13608,5766	0,0118

Πίνακας: Αποτελέσματα καλύτερου μοντέλου πλησιέστερου κέντρου κλάσης στο σύνολο εκπαίδευσης για τη βάση Cifar-10

Model	Accuracy	Precision	Recall	F1	KPCA+LDA Time (seconds)	Nearest Centroid Time
kernel: rbf gamma: 0.01	0,4866	0,4899	0,4866	0,4808	13608,5766	0,0118

Πίνακας: Αποτελέσματα καλύτερου μοντέλου πλησιέστερου κέντρου κλάσης στο σύνολο ελέγχου για τη βάση Cifar-10

Αποτελέσματα πλησιέστερου κέντρου κλάσης στην Cifar-10



Σχήμα: Confusion matrix για τη μέθοδο πλησιέστερου κέντρου κλάσης και τη βάση Cifar-10

Αποτελέσματα πλησιέστερου κέντρου κλάσης στην Cifar-10



Σχήμα: Λάθος ταξινομήσεις του καλύτερου μοντέλου για τη μέθοδο πλησιέστερου κέντρου κλάσης και τη βάση Cifar-10

Σύγκριση με τα αποτελέσματα των SVMs



Model	Accuracy	Precision	Recall	F1
SVM	0,9841	0,984	0,9841	0,984
KPCA+LDA	0,9726	0,9726	0,9726	0,9725

Πίνακας: Αποτελέσματα για τα καλύτερα μοντέλα για τις αρχιτεκτονικές SVM και KPCA plus LDA στο σύνολο ελέγχου για τη βάση MNIST

Model	Accuracy	Precision	Recall	F1
SVM	0,56	0,5626	0,56	0,5607
KPCA+LDA	0,4866	0,4899	0,4866	0,4808

Πίνακας: Αποτελέσματα για τα καλύτερα μοντέλα για τις αρχιτεκτονικές SVM και KPCA plus LDA στο σύνολο ελέγχου για τη βάση Cifar-10



1 Πρώτη εργασία

- Περιγραφή προβλήματος που επιλέχτηκε
- Υλοποίηση
- Αποτελέσματα

2 Δεύτερη εργασία

- Περιγραφή προβλήματος που επιλέχτηκε
- Υλοποίηση
- Αποτελέσματα
- Σύγκριση με τα αποτελέσματα των SVMs

3 Τρίτη εργασία

- Περιγραφή προβλήματος που επιλέχτηκε
- Υλοποίηση
- Αποτελέσματα



Οι βάσεις που επιλέχτηκαν, οι οποίες είναι ίδιες με την προηγούμενη εργασία, είναι:

- 1 MNIST
- 2 Cifar-10



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.



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



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.



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 χρησιμοποιήθηκε 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.



Παράμετροι της MNIST

- Αριθμός γειτόνων: [15, 20, 25, 30, 35, 40, 50]
- Αριθμός embeddings: [3, 5, 8, 10, 15, 20, 30, 40]



Παράμετροι της MNIST

- Αριθμός γειτόνων: [15, 20, 25, 30, 35, 40, 50]
- Αριθμός embeddings: [3, 5, 8, 10, 15, 20, 30, 40]

Παράμετροι της Cifar-10

- Αριθμός γειτόνων: [10, 15, 20, 25, 30, 40, 50]
- Αριθμός embeddings: [3, 5, 8, 10, 15, 20, 30, 40]



Παράμετροι της MNIST

- Αριθμός γειτόνων: [15, 20, 25, 30, 35, 40, 50]
- Αριθμός embeddings: [3, 5, 8, 10, 15, 20, 30, 40]

Παράμετροι της Cifar-10

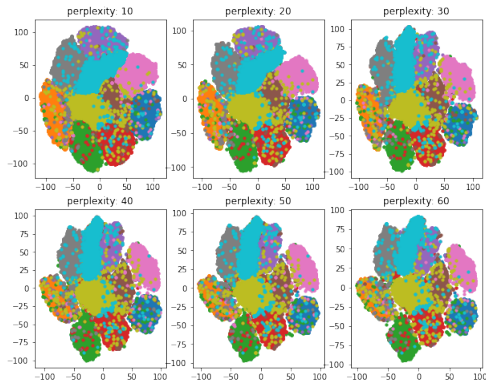
- Αριθμός γειτόνων: [10, 15, 20, 25, 30, 40, 50]
- Αριθμός embeddings: [3, 5, 8, 10, 15, 20, 30, 40]

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.



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

Επιλογή παραμέτρων t-SNE για την MNIST



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

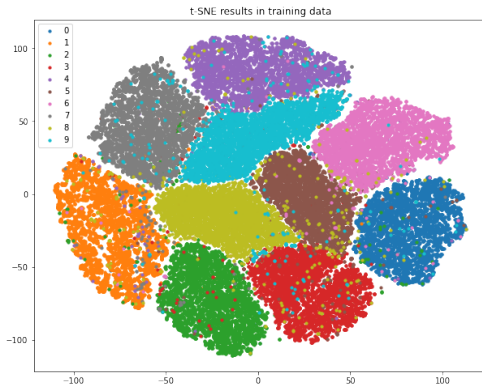
Χρόνος εκτέλεσης t-SNE για την MNIST



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

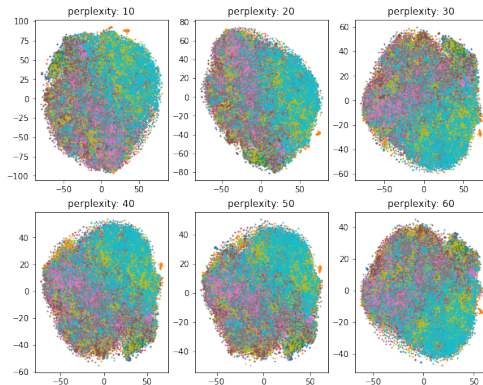
Πίνακας: Χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου t-SNE για διάφορες τιμές του perplexity για τη βάση MNIST.

Τελικό αποτέλεσμα t-SNE για την MNIST



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

Επιλογή παραμέτρων t-SNE για την Cifar-10



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

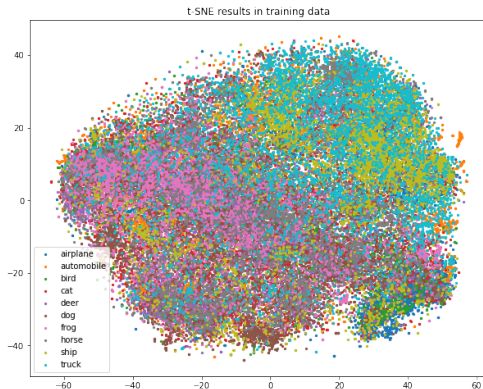


Χρόνος εκτέλεσης t-SNE για την Cifar-10

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

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

Τελικό αποτέλεσμα t-SNE για την Cifar-10



Σχήμα: Αποτελέσμα του *t-SNE* για την τιμή 60 του *perplexity* για τη βάση *Cifar-10*.

Επιλογή παραμέτρων spectral clustering για την MNIST



<div>embeddings</div> <div>neighbors</div>	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: Αποτελέσματα αναζήτησης πλέγματος της μετρικής *ARI* για διάφορες τιμές των γειτόνων και του αριθμού των *embeddings* για τη βάση *MNIST*.

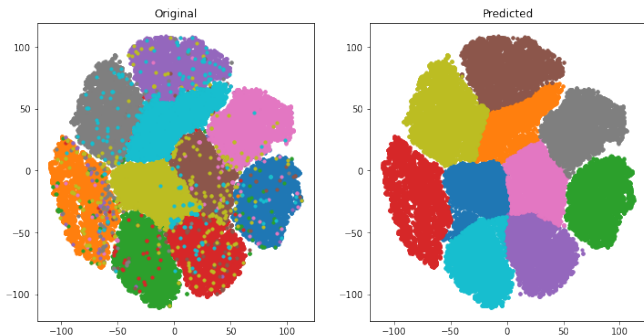
Επιλογή παραμέτρων spectral clustering για την Cifar-10



<div>embeddings</div> <div>neighbors</div>	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

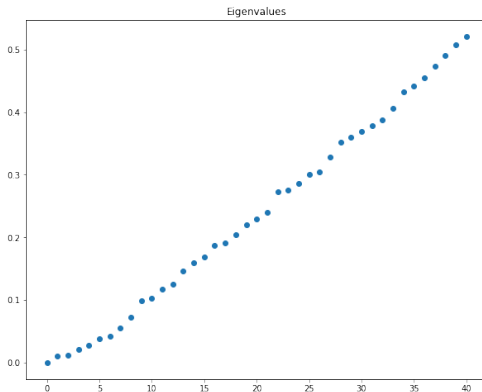
Πίνακας: Αποτελέσματα αναζήτησης πλέγματος της μετρικής *ARI* για διάφορες τιμές των γειτόνων και του αριθμού των *embeddings* για τη βάση *Cifar-10*.

Αποτέλεσμα καλύτερου μοντέλου στην MNIST



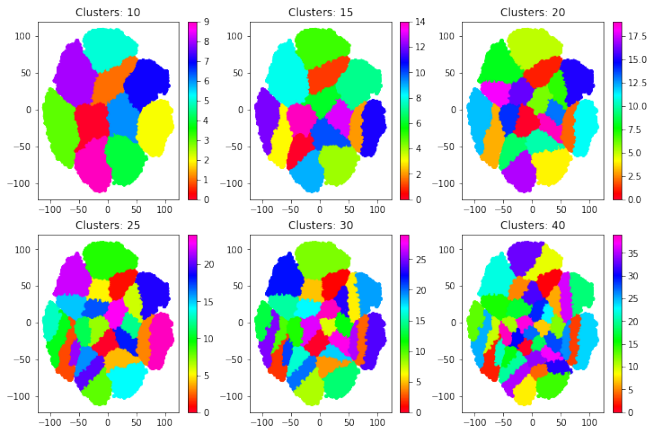
Σχήμα: Αποτέλεσμα ομαδοποίησης του καλύτερου μοντέλου σε σχέση με τις πραγματικές κλάσεις για τη βάση MNIST.

Ιδιοτιμές καλύτερου μοντέλου στην MNIST



Σχήμα: Ιδιοτιμές του καλύτερου μοντέλου για τη βάση MNIST.

Αποτελέσματα καλύτερου μοντέλου στην MNIST για διάφορες τιμές γειτόνων



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

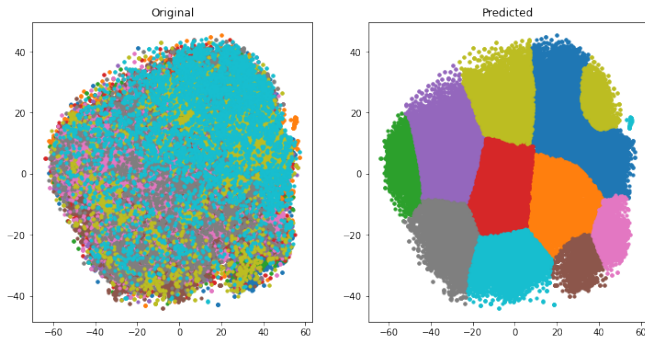
Αποτελέσματα καλύτερου μοντέλου στην MNIST για διάφορες τιμές γειτόνων



Clusters Data	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

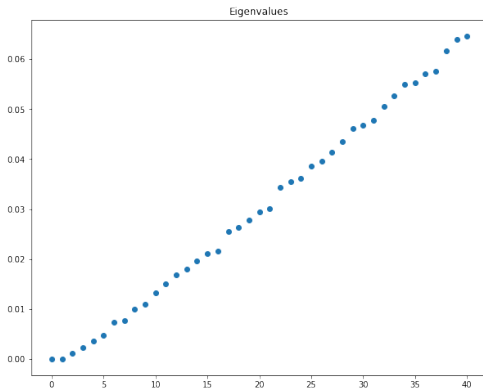
Πίνακας: Αποτελέσματα μετρικής *silhouette* με βάση τις αποστάσεις των *embeddings* και τις αποστάσεις στις δύο διαστάσεις για τη βάση *MNIST*.

Αποτέλεσμα καλύτερου μοντέλου στην Cifar-10



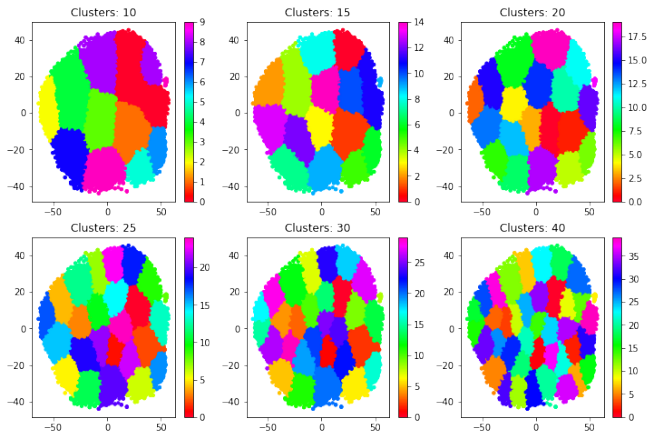
Σχήμα: Αποτέλεσμα ομαδοποίησης του καλύτερου μοντέλου σε σχέση με τις πραγματικές κλάσεις για τη βάση Cifar-10.

Ιδιοτιμές καλύτερου μοντέλου στην Cifar-10



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

Αποτελέσματα καλύτερου μοντέλου στην Cifar-10 για διάφορες τιμές γειτόνων



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

Αποτελέσματα καλύτερου μοντέλου στην Cifar-10 για διάφορες τιμές γειτόνων



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



- [Yan+05] Jian Yang et al. "KPCA plus LDA: a complete kernel Fisher discriminant framework for feature extraction and recognition." In: *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 27.2 (2005), pp. 230–244. doi: 10.1109/TPAMI.2005.33.

