

# Υπολογιστική Νοημοσύνη

## Εργαστηριακές Ασκήσεις ακαδημαϊκού έτους 2022-23

Διδάσκων καθηγητής: Α. Λύκας

Μέλη ομάδας:

Όνομ/πώνυμο	ΑΜ	Email
Θεοδωρίδης Χαράλαμπος	4674	cs04674@uoi.gr
Μπονίτσης Παντελής	4742	cs04742@uoi.gr
Σιδηρόπουλος Γεώργιος	4789	cs04789@uoi.gr

### Άσκηση 1

Πρόγραμμα ταξινόμησης (ΠΤ) βασισμένο στο πολυεπίπεδο perceptron (MLP) με τρία κρυμμένα επίπεδα.

#### Γενικές πληροφορίες

- Κατάλογος άσκησης : Exercise1
- Εντολή μεταγλώττισης : « `javac *.java` »
- Εντολή εκτέλεσης : « `java Engine` »
- Γλώσσα Προγραμματισμού : Java
- Το πρόγραμμα αποτελείται συνολικά από επτά (7) κλάσεις και ένα (1) πρόγραμμα σε γλώσσα Python.
  - Κλάση FileCreator : Υλοποιεί την δημιουργία των συνόλων εκπαίδευσης και ελέγχου τα οποία είναι δύο (2) αρχεία txt.
  - Κλάση FileReader : Υλοποιεί το διάβασμα των δύο (2) αρχείων txt που αποτελούν τα σύνολα εκπαίδευσης και ελέγχου.
  - Κλάση ActivationFunctions : Υλοποιεί τις συναρτήσεις ενεργοποίησης που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και τις παραγώγους τους (λογιστική, υπερβολική εφαπτομένη, relu)
  - Κλάση Neuron : Υλοποιεί την λειτουργία ενός νευρώνα.

- Κλάση Layer : Υλοποιεί την λειτουργία ενός επιπέδου ή στρώματος το οποίο περιέχει νευρώνες.
- Κλάση NeuralNetwork : Υλοποιεί την λειτουργία ενός νευρωνικού δικτύου το οποίο αποτελείται από τρία (3) κρυμμένα επίπεδα.
- Κλάση Engine : Υλοποιεί την δημιουργία και την εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου καθώς και τον υπολογισμό της ικανότητας γενίκευσης του. Σε αυτήν την κλάση περιέχεται η συνάρτηση main.
- Πρόγραμμα PlotConstractor.py : Υλοποιεί την δημιουργία των απαραίτητων γραφικών παραστάσεων για το MLP στο τέλος της εκτέλεσης του βασικού προγράμματος.
- Το πρόγραμμα εκτελείται μέχρι να συμπληρωθούν 10000 εποχές. Βέβαια, αν το σφάλμα σε κάποια εποχή πέσει κάτω από το κατώφλι που έχει δώσει ως όρισμα ο χρήστης, το πρόγραμμα τελειώνει και τυπώνονται στην οθόνη οι απαραίτητες γραφικές παραστάσεις.

### **Ερώτημα 1)**

Το πρόγραμμα παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να εκτελέσει το πείραμα με προκαθορισμένες παραμέτρους η οποίες είναι :

- Αριθμός νευρώνων στα κρυμμένα επίπεδα :  $H1 = H2 = H3 = 20$
- Είδος συνάρτησης ενεργοποίησης σε όλα τα επίπεδα : Λογιστική
- Κατώφλι σφάλματος : 50
- Αριθμός παραδειγμάτων ανά ομάδα (mini-batches) :  $B = 40$

Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα εκτέλεσης του πειράματος με τιμές που επιθυμεί ο χρήστης για τις παραπάνω παραμέτρους.

Σημείωση : Στο επίπεδο εξόδου χρησιμοποιείται πάντα η λογιστική συνάρτηση ενεργοποίησης.

### **Ερώτημα 2)**

Τα σύνολα εκπαίδευσης και ελέγχου δημιουργούνται μέσω της κλάσης FileCreator και συγκεκριμένα μέσω των μεθόδων writerTrainingSet() (γραμμή 66) και writercheckSet() (γραμμή 84). Επιπλέον, η κωδικοποίηση των κατηγοριών γίνεται μέσω της μεθόδου checkForCategor(Double x1, Double x2) (γραμμή 33).

Το φόρτωμα των συνόλων γίνεται μέσω της κλάσης FileReader, ενώ ο ορισμός των επιθυμητών εξόδων για την κάθε κατηγορία πραγματοποιείται στην κλάση Engine και συγκεκριμένα στην μέθοδο getOutPut(String category) (γραμμή 38).

**Ερώτημα 3)**

Η αρχιτεκτονική του δικτύου, όπως αναφέρθηκε στο ερώτημα 1, είναι δυνατό να καθοριστεί από τον χρήστη, ενώ υπάρχει η δυνατότητα να πάρει και προκαθορισμένες παραμέτρους.

Ο ρυθμός μάθησης καθορίζεται ( $\eta = 0.01$ ) μέσα στην κλάση Engine και συγκεκριμένα στην γραμμή 82 της μεθόδου NetworkTrain(int batches,double threshold) όπου και αποτελεί όρισμα της συνάρτησης updateWeights(double learningRate) (κλάση NeuralNetwork, γραμμή 172).

Η τυχαία αρχικοποίηση των βαρών/πολώσεων στο διάστημα  $(-1,1)$  πραγματοποιείται στον constructor της κλάσης Layer (γραμμές 27-33) όπου δημιουργούνται οι νευρώνες ενός επιπέδου.

**Ερώτημα 4)**

Η υλοποίηση της συνάρτησης forward-pass πραγματοποιείται μέσα στην κλάση NeuralNetwork και συγκεκριμένα στην μέθοδο forwardPass(ArrayList<Double> input) (γραμμή 106). Η μέθοδος αυτή υλοποιεί το ευθύ πέρασμα της μεθόδου Backpropagation, δηλαδή υπολογίζει την έξοδο κάθε νευρώνα του δικτύου δοθέντος ενός διανύσματος εισόδου.

**Ερώτημα 5)**

Η υλοποίηση της συνάρτησης backprop πραγματοποιείται μέσα στην κλάση NeuralNetwork και συγκεκριμένα στην μέθοδο backProp(ArrayList<Double> expectedOutput) (γραμμή 147). Η μέθοδος αυτή υλοποιεί το αντίστροφο πέρασμα της μεθόδου Backpropagation, δηλαδή υπολογίζει το σφάλμα για τους νευρώνες κάθε επιπέδου καθώς και τις μερικές παραγώγους του σφάλματος ως προς οποιαδήποτε παράμετρο (βάρος ή πόλωση).

**Ερώτημα 6)**

Η υλοποίηση του αλγόριθμου εκπαίδευσης gradient descent πραγματοποιείται μέσα στην κλάση Engine και συγκεκριμένα στην μέθοδο NetworkTrain(int batches,double threshold) (γραμμές 75-90). Ο αριθμός των παραδειγμάτων ανά ομάδα (B) καθώς και το κατώφλι του σφάλματος είναι δυνατό να πάρουν είτε προκαθορισμένες τιμές, είτε όχι.

**Ερώτημα 7)**

Ο υπολογισμός της ικανότητας γενίκευσης του δικτύου μέσω του ποσοστού σωστών αποφάσεων στο σύνολο ελέγχου υλοποιείται μέσα στην κλάση Engine και συγκεκριμένα στην μέθοδο NetworkTrain(int batches,double threshold) (γραμμές 99-114).

**Μελέτη προβλήματος ταξινόμησης ΣΔΤ****Ερώτημα α)**

Χρησιμοποιώντας διαφορετικό αριθμό νευρώνων στα τρία κρυμμένα επίπεδα, εξετάζεται η μεταβολή του ποσοστού σωστών αποφάσεων στο σύνολο ελέγχου. Μία απάντηση θεωρείται σωστή αν το σφάλμα του συγκεκριμένου παραδείγματος είναι μικρότερο της τιμής 0.05.

<b>H1 = H2 = H3</b>	<b>G(u)</b>	<b>B</b>	<b>Error threshold</b>	<b>Generalization Error</b>	<b>Percentage of correct decisions</b>
<b>5</b>	logistic	40	630	15.495 %	44.925 %
<b>20</b>	logistic	40	50	1.748 %	94.525 %
<b>40</b>	logistic	40	50	1.995 %	94.125 %
<b>80</b>	logistic	40	50	1.680 %	93.900 %
<b>100</b>	logistic	40	50	1.675 %	94.575 %

- Γίνεται κατανοητό ότι στην περίπτωση που κάθε κρυμμένο επίπεδο έχει πέντε (5) νευρώνες παρουσιάζεται το φαινόμενο της υποεκπαίδευσης και προκύπτει σχετικά μεγάλο σφάλμα γενίκευσης και αρκετά μειωμένο ποσοστό σωστών αποφάσεων στο σύνολο ελέγχου.

**Ερώτημα β)**

Χρησιμοποιώντας διαφορετική συνάρτηση ενεργοποίησης στα τρία (3) κρυμμένα επίπεδα (και στα τρία (3) είναι η ίδια), εξετάζεται η μεταβολή του ποσοστού σωστών αποφάσεων στο σύνολο ελέγχου. Μία απάντηση θεωρείται σωστή αν το σφάλμα του συγκεκριμένου παραδείγματος είναι μικρότερο της τιμής 0.05.

H1 = H2 = H3	G(u)	B	Error threshold	Generalization Error	Percentage of correct decisions
20	<b>logistic</b>	40	50	1.748 %	94.525 %
20	<b>tan</b>	40	50	2.820 %	93.825 %
20	<b>relu</b>	40	1360	34.434%	11.325 %
40	<b>logistic</b>	40	50	1.995 %	94.125 %
40	<b>tan</b>	40	50	2.578 %	93.900 %
40	<b>relu</b>	40	50	3.310%	<b>94.600 %</b>

Ερώτημα γ)

Χρησιμοποιώντας διαφορετικό αριθμό παραδειγμάτων ανά ομάδα (B) εξετάζεται η μεταβολή του ποσοστού σωστών αποφάσεων στο σύνολο ελέγχου. Μία απάντηση θεωρείται σωστή αν το σφάλμα του συγκεκριμένου παραδείγματος είναι μικρότερο της τιμής 0.05.

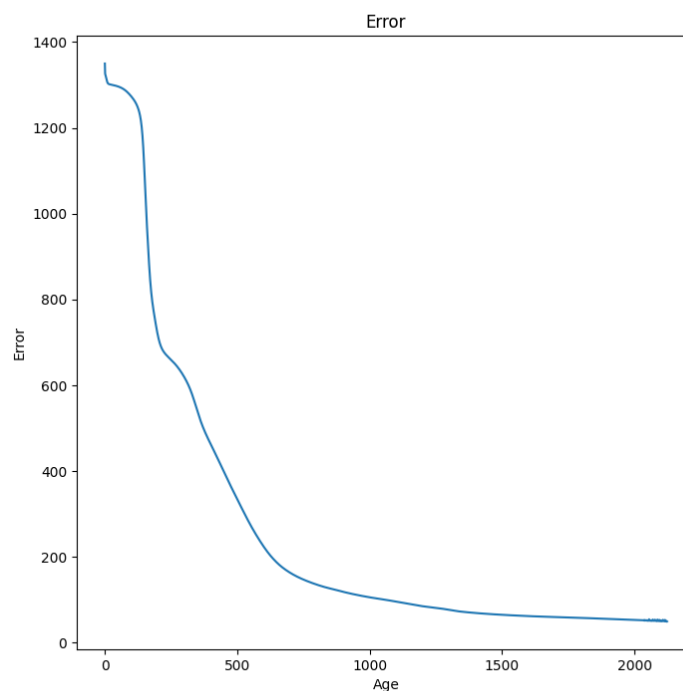
H1 = H2 = H3	G(u)	B	Error threshold	Generalization Error	Percentage of correct decisions
20	logistic	<b>40</b>	50	1.748 %	94.525 %
20	logistic	<b>400</b>	50	1.895 %	94.150 %
40	logistic	<b>40</b>	50	1.995 %	94.125 %
40	logistic	<b>400</b>	50	1.720 %	93.950 %
40	relu	<b>40</b>	50	3.310%	<b>94.600 %</b>
40	relu	<b>400</b>	1990	50.000 %	0.000 %
80	logistic	<b>40</b>	50	1.680 %	93.900 %
80	logistic	<b>400</b>	50	2.196 %	93.725 %

- Παρατηρώντας τον παραπάνω πίνακα γίνεται κατανοητό ότι με χρήση της συνάρτησης ενεργοποίησης relu σε συνδυασμό με ανανέωση των παραδειγμάτων σε μεγάλες ομάδες (πχ 400), το δίκτυο δεν εκπαιδεύεται ορθά (φαινόμενο Dying relu).

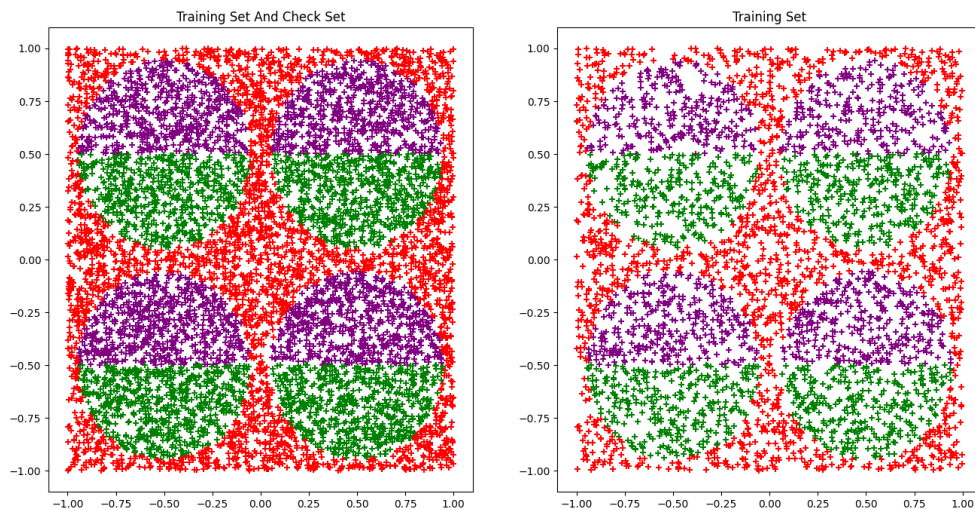
Συμπερασματικά, το δίκτυο με την καλύτερη γενικευτική ικανότητα είναι αυτό με αριθμό νευρώνων σε κάθε κρυμμένο επίπεδο 40, συνάρτηση ενεργοποίησης σε κάθε κρυμμένο επίπεδο την relu και αριθμό παραδειγμάτων ανά ομάδα 40.

Για το δίκτυο αυτό παρουσιάζονται παρακάτω τα εξής :

- Διάγραμμα με την μεταβολή του σφάλματος γενίκευσης ανά εποχή.

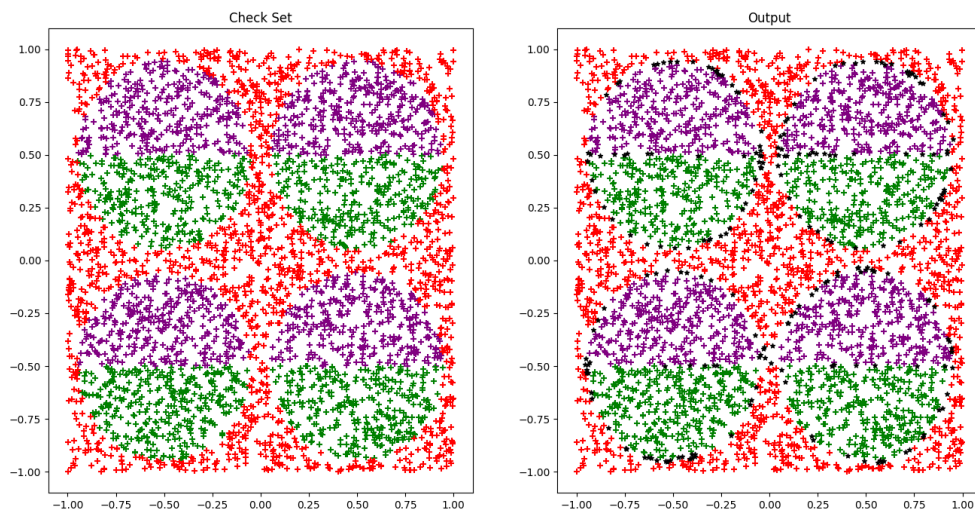


- Διάγραμμα που περιέχει τα σύνολα εκπαίδευσης και ελέγχου και δεύτερο διάγραμμα που περιέχει μόνο το σύνολο εκπαίδευσης. Στα διαγράμματα διακρίνονται οι τρεις (3) κατηγορίες με διαφορετικά χρώματα.



- Διάγραμμα που περιέχει το σύνολο ελέγχου και δεύτερο διάγραμμα που περιέχει τα αποτελέσματα ταξινόμησης του δικτύου. Στα διαγράμματα διακρίνονται οι τρεις (3) κατηγορίες με διαφορετικά χρώματα.

Τα αποτελέσματα που έχουν απόκλιση μεγαλύτερη ίση από 0.05 από τις προσδοκώμενες τιμές θεωρούνται λανθασμένα ταξινομημένα από το δίκτυο και τυπώνονται με μαύρο χρώμα.



- Παρατηρείται ότι τα λανθασμένα αποτελέσματα βρίσκονται στα σύνορα μεταξύ περιοχών που ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες γεγονός που θεωρείται αρκετά φυσιολογικό.