

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ**

**1η Εργαστηριακή Άσκηση:**  
**Αναγνώριση φωνής με Κρυφά Μαρκοβιανά Μοντέλα και Αναδρομικά Νευρωνικά Δίκτυα**

**ΔΙΑΔΙΚΑΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ**

Εξηγήστε περιεκτικά και επαρκώς την εργασία σας. Κώδικας χωρίς σχόλια δεν θα βαθμολογηθεί. Επιτρέπεται η συνεργασία εντός ομάδων των 2 ατόμων εφόσον φοιτούν στο ίδιο πρόγραμμα σπουδών (είτε ομάδες προπτυχιακών, είτε ομάδες μεταπτυχιακών). Κάθε ομάδα 2 ατόμων υποβάλλει μια κοινή αναφορά που αντιπροσωπεύει μόνο την προσωπική εργασία των μελών της. Αν χρησιμοποιήσετε κάποια άλλη πηγή εκτός των βιβλίων και του εκπαιδευτικού υλικού του μαθήματος, πρέπει να το αναφέρετε. Η παράδοση της αναφοράς και του κώδικα της εργασίας θα γίνει ηλεκτρονικά στη σελίδα [του μαθήματος](#).

**Επισημαίνεται ότι απαγορεύεται η ανάρτηση των λύσεων των εργαστηριακών ασκήσεων στο github, ή σε άλλες ιστοσελίδες.**

**ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ**

Στην ακόλουθη [σελίδα](#) μπορείτε να βρείτε βοηθητικό κώδικα σχετικά με τα εργαστήρια. Ο βοηθητικός κώδικας για το παρόν εργαστήριο είναι στο φάκελο lab2. Στη σελίδα [αυτή](#) μπορείτε επίσης να υποβάλετε απορίες και ερωτήσεις προς τους βοηθούς του μαθήματος με μορφή issues. Ερωτήσεις αναφορικά με το εργαστήριο που θα γίνονται μέσω mail δεν θα λαμβάνουν απάντηση.

**ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**

Σκοπός είναι η υλοποίηση ενός συστήματος επεξεργασίας και αναγνώρισης φωνής, με εφαρμογή σε αναγνώριση μεμονωμένων λέξεων. Το πρώτο μέρος αποσκοπεί στην εξαγωγή κατάλληλων ακουστικών χαρακτηριστικών από φωνητικά δεδομένα, χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα πακέτα pythοn, καθώς και η ανάλυση και απεικόνισή τους με σκοπό την κατανόηση και την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών από αυτά. Τα εν λόγω χαρακτηριστικά είναι στην ουσία ένας αριθμός συντελεστών cepstrum που εξάγονται μετά από ανάλυση των σημάτων με μια ειδικά σχεδιασμένη συστοιχία φίλτρων (filterbank). Η συστοιχία αυτή είναι εμπνευσμένη από ψυχοακουστικές μελέτες.

Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα που θα αναπτύξετε αφορά σε αναγνώριση μεμονωμένων ψηφίων (isolated digits) στα Αγγλικά. Τα δεδομένα που θα χρησιμοποιήσετε περιέχουν εκφωνήσεις 9 ψηφίων από 15 διαφορετικούς ομιλητές σε ξεχωριστά .wav αρχεία. Συνολικά θα βρείτε 133 αρχεία, αφού 2 εκφωνήσεις θεωρήθηκαν προβληματικές και δεν έχουν συμπεριληφθεί. Τα ονόματα των αρχείων (π.χ. eight8.wav ) υποδηλώνουν τόσο το ψηφίο που εκφωνείται (π.χ. eight), όσο και τον ομιλητή (οι ομιλητές είναι αριθμημένοι από 1-15). Οι εκφωνήσεις έχουν ηχογραφηθεί με συχνότητα δειγματοληψίας ίση με  $F_s = 16\text{kHz}$  και η διάρκειά τους διαφέρει.

**ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΕΣ PYTHON**

- Διάβασμα αρχείων ήχου και εξαγωγή χαρακτηριστικών: librosa
- Αλγόριθμοι ταξινόμησης: scikit-learn
- Διαγράμματα: matplotlib, seaborn etc.
- Hidden Markov Models: pomegranate
- Νευρωνικά δίκτυα: pytorch

**ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ**

- Praat: <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>

## ΕΚΤΕΛΕΣΗ

Κατεβάστε τα δεδομένα της προπαρασκευής από τη σελίδα του μαθήματος.

### Βήμα 1

Ανάλυση αρχείων ήχου με το Praat (το οποίο πρέπει να εγκαταστήσετε από το παραπάνω link): Ανοίξτε τα αρχεία *onetwothree1.wav* και *onetwothree8.wav* με το πρόγραμμα Praat. Τα αρχεία αυτά περιέχουν την πρόταση “one two three” από τους ομιλητές 1 και 8, οι οποίοι είναι άντρας και γυναίκα αντίστοιχα. Παρατηρήστε τις κυματομορφές και τα spectrograms και έπειτα εξάγετε τη μέση τιμή του pitch στα φωνήεντα “α”, “ου”, “ι” για τα 3 ψηφία και για κάθε ομιλητή. Έπειτα, εξάγετε τα 3 πρώτα formants του κάθε φωνήεντος. Παρουσιάστε τα αποτελέσματα και γράψτε τις παρατηρήσεις σας.

Χρησιμοποιώντας Python 3, εκτελέστε τα παρακάτω βήματα:

### Βήμα 2

Φτιάξτε μία συνάρτηση (data parser) που να διαβάζει όλα τα αρχεία ήχου που δίνονται μέσα στο φάκελο *digits/* και να επιστρέφει 3 λίστες Python, που να περιέχουν: Το wav που διαβάστηκε με librosa, τον αντίστοιχο ομιλητή και το ψηφίο.

### Βήμα 3

Εξάγετε με το librosa τα Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCCs) για κάθε αρχείο ήχου. Εξάγετε 13 χαρακτηριστικά ανά αρχείο. Χρησιμοποιήστε μήκος παραθύρου 25 ms και βήμα 10 ms. Επίσης, υπολογίστε και την πρώτη και δεύτερη τοπική παράγωγο των χαρακτηριστικών, τις λεγόμενες deltas και delta-deltas (hint: υπάρχει έτοιμη υλοποίηση στο librosa).

### Βήμα 4

Αναπαραστήστε τα ιστογράμματα του 1ου και του 2ου MFCC των ψηφίων n1 και n2 για όλες τους τις εκφωνήσεις. Πόση απόκλιση υπάρχει?

Εξάγετε για 2 εκφωνήσεις των n1 και n2 από 2 διαφορετικούς ομιλητές τα Mel Filterbank Spectral Coefficients (MFSCs), δηλαδή τα χαρακτηριστικά που εξάγονται αφού εφαρμοστεί η συστοιχία φίλτρων της κλίμακας Mel πάνω στο φάσμα του σήματος φωνής αλλά χωρίς να εφαρμοστεί στο τέλος ο μετασχηματισμός DCT (εξάγετε και πάλι χαρακτηριστικά διάστασης 13). Αναπαραστήστε γραφικά τη συσχέτιση των MFSCs για την κάθε εκφώνηση. Σε ξεχωριστά διαγράμματα πραγματοποιήστε το ίδιο για τα MFCCs. Τι παρατηρείτε? Γιατί χρησιμοποιούμε τα MFCCs αντί των MFSCs?

### Βήμα 5

Μια πρώτη προσέγγιση για την αναγνώριση των ψηφίων είναι η εξαγωγή ενός μοναδικού διανύσματος χαρακτηριστικών για κάθε εκφώνηση.

Ενώστε τα mfccs – deltas – delta-deltas και έπειτα για κάθε εκφώνηση δημιουργείστε ένα διάνυσμα παίρνοντας τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση κάθε χαρακτηριστικού για όλα τα παράθυρα της εκφώνησης. Αναπαραστήστε με scatter plot τις 2 πρώτες διαστάσεις των διανυσμάτων αυτών, χρησιμοποιώντας διαφορετικό χρώμα και σύμβολο για κάθε ψηφίο. Σχολιάστε το διάγραμμα.

### Βήμα 6

Μια καλή τακτική για απεικόνιση πολυδιάστατων διανυσμάτων είναι η μείωση των διαστάσεών τους με Principal Component Analysis (PCA). Μειώστε σε 2 τις διαστάσεις των διανυσμάτων του προηγούμενου βήματος με PCA και δημιουργείστε εκ νέου το scatter plot. Σχολιάστε και επαναλάβετε τη διαδικασία για 3 διαστάσεις και τρισδιάστατο scatter plot.

Τι ποσοστό της αρχικής διασποράς διατηρούν οι συνιστώσεις που προέκυψαν? Τι πληροφορία δίνουν αυτά τα νούμερα για τα principal components? Είναι επιτυχημένη η μείωση διαστάσεων?

## Βήμα 7

Χωρίστε τα δεδομένα σε train-test με αναλογία 70%-30%. Ταξινομήστε με χρήση του Bayesian ταξινομητή της πρώτης εργαστηριακής άσκησης, καθώς και του Naive Bayes του scikit-learn. Χρησιμοποιήστε επίσης, άλλους 3 ταξινομητές της επιλογής σας. Αναφέρετε το ποσοστό επιτυχίας στο test set και συγκρίνετε τα αποτελέσματα. Σημείωση: Τα δεδομένα πριν την ταξινόμηση πρέπει να κανονικοποιηθούν.

(Bonus: Θα αυξηθεί το ποσοστό επιτυχίας αν προσθέσω επιπλέον ηχητικά χαρακτηριστικά στο διάνουσμά μου, όπως π.χ. zero-crossing rate? Χρησιμοποιήστε ελεύθερα τέτοια επιπλέον χαρακτηριστικά και εάν αυξηθεί το ποσοστό επιτυχίας αναφέρετε τη σχετική αύξηση, διαφορετικά αναφέρετε τους λόγους που απέτυχε η προσπάθειά σας)

## Βήμα 8

### Εξοικείωση με το PyTorch:

Δημιουργείτε ακολουθίες 10 σημείων ενός ημιτόνου και ενός συνημιτόνου με συχνότητα  $f = 40 \text{ Hz}$ . Σκοπός είναι η πρόβλεψη του συνημιτόνου με δεδομένη την ακολουθία του ημιτόνου. Επιλέξτε σταθερή και μικρή απόσταση ανάμεσα στα διαδοχικά σημεία.

Εκπαιδεύστε ένα Αναδρομικό Νευρωνικό Δίκτυο (Recurrent Neural Network – RNN), το οποίο θα δέχεται ως είσοδο τις ακολουθίες του ημιτόνου και θα πρέπει να προβλέπει τις αντίστοιχες ακολουθίες συνημιτόνου. Αντί για χρήση του απλού RNN μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι μονάδες LSTM και GRU (δώστε το λόγο που τις χρησιμοποιήσατε και γιατί είναι τόσο διαδεδομένες).

Προχωρήστε σε κατ'οίκον ολοκλήρωση των βημάτων εκείνων που δεν προλάβετε κατά τη διεξαγωγή του εργαστηρίου.

## ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Τα ψηφία  $n_1$  και  $n_2$  που αναφέρονται παραπάνω, είναι το προτελευταίο και το τελευταίο ψηφίο του Α.Μ. σας αντίστοιχα. Αν συμμετέχουν δύο συνεργάτες διαλέξτε το τελευταίο ψηφίο κάθε ΑΜ. Αν κάποιο είναι το 0 ή είναι ίδια τα ψηφία, τότε ορίστε το ως το προηγούμενο ή επόμενο του άλλου ψηφίου, το οποίο δεν είναι μηδενικό

## ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ

1. Γραπτή αναφορά σε .pdf και γραμμένη στο Latex / Word / Google Docs etc. (OXI .ipynb / .html)
2. Κώδικας python για την υλοποίηση σε .py (OXI .ipynb / .html). Αν χρησιμοποιήσατε notebooks για την υλοποίηση θα πρέπει να κάνετε export σε .py πριν την υποβολή.

Για την υποβολή, δημιουργείτε ένα .zip (OXI rar, / tar.\* / .7z) με τα παραδοτέα (1) και (2) και με όνομα ("patrec1\_ΑριθμόςΜητρώου1ουΣυνεργάτη\_ΑριθμόςΜητρώου2ουΣυνεργάτη.zip").

Για τις ομαδικές υποβολές, πρέπει να υποβάλλει ένας εκ των δύο συνεργατών και να αναγράφονται τα στοιχεία και των δύο στην πρώτη σελίδα της αναφοράς καθώς και στο όνομα του zip, όπως αναφέρεται παραπάνω.

Αν δεν έχετε διαθέσιμο ιδρυματικό e-mail / δεν μπορείτε να πραγματοποιήσετε την υποβολή, μπορείτε να επικοινωνήσετε με τους βοηθούς του μαθήματος [efthygeo]