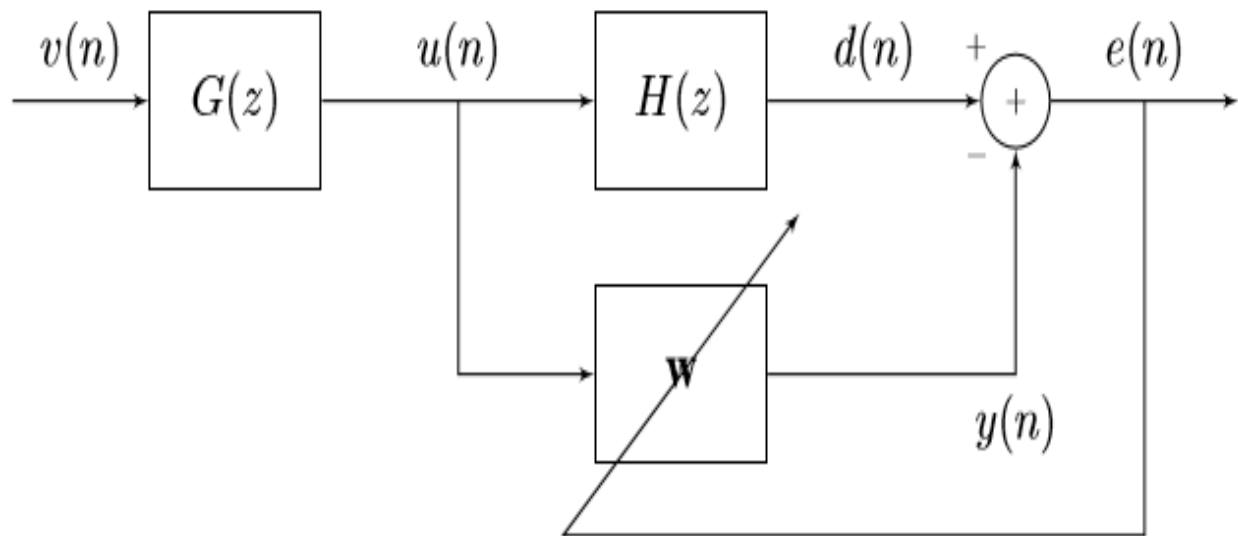


2<sup>η</sup> Εργασία στο μάθημα των  
Ψηφιακών Φίλτρων

Θέμα: Προσαρμογή στο Πεδίο της Συχνότητας



Διδάσκων: Πιτσιάνης Νικόλαος

Φοιτητής: Χρυσοβέργης Ηλίας (8009) - [iliachry@ece.auth.gr](mailto:iliachry@ece.auth.gr)

### 1<sup>ο</sup> ερώτημα:

Σε αυτό το ερώτημα ζητήθηκε να συμπληρωθεί ο κώδικας **fftproof.m** ώστε να επιβεβαιωθούν οι υπολογισμοί του **FFT** για ένα σήμα που είναι δύναμη του 2. Το αποτέλεσμα δίνεται στην συνέχεια:

```
>> fftproof
DFT : 9.316617e-15
split output top bottom : 9.316617e-15
split input even odd : 8.924011e-15
split input error : 2.563149e-15
done : 8.741905e-16
```

Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι το σφάλμα είναι της τάξης του  $10^{(-15)}$ .

Μπορείτε να δείτε τον κώδικα στον φάκελο **Scripts**.

### 2<sup>ο</sup> ερώτημα:

Σε αυτό το ερώτημα ζητήθηκε να γραφεί κώδικας σε Matlab ο οποίος αναδρομικά θα υπολογίζει τον **FFT** για μία οποιαδήποτε είσοδο με μήκος δύναμη του 2. Ο κώδικας βρίσκεται στο **recursive\_fft.m** ενώ για να τον καλέσετε μπορείτε να τρέξετε τον **call\_recursive.m**. Ο κώδικας αυτός υπολογίζει τον **FFT** καθώς και το υπολογιστικό του κόστος για μία τυχαία ακολουθία **1024** αριθμών.

Για επιβεβαίωση του υπολογιστικού κόστους μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τον **recursive\_fft\_cost.m**. Το υπολογιστικό κόστος για **n=1024** προκύπτει ίσο με **48128**.

Μπορείτε να βρείτε όλους τους σχετικούς κώδικες στον φάκελο **Scripts**.

### 3<sup>ο</sup> ερώτημα:

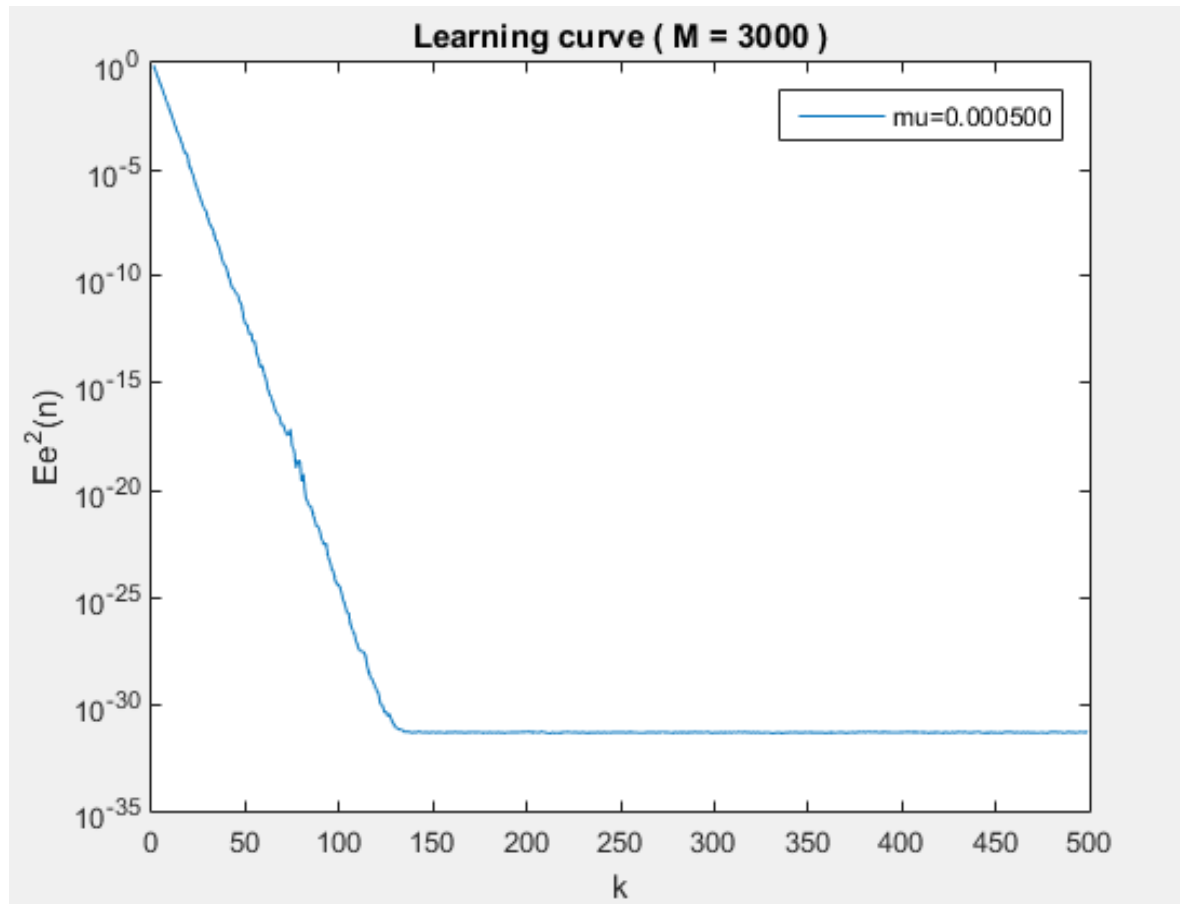
Σε αυτό το ερώτημα ζητήθηκε η μοντελοποίηση του αγνώστου συστήματος που βρίσκεται στο αρχείο **plant.p**. Αυτό επιτεύχθηκε με την χρήση προσαρμοζόμενου φίλτρου **3000** συντελεστών και του αλγορίθμου **Block LMS**.

Οι τέσσερις διαφορετικές υλοποιήσεις του αλγορίθμου δίνονται στην συνέχεια, μαζί με διαγράμματα που απεικονίζουν τις καμπύλες εκμάθησης (learning curves) του συστήματος καθώς και με σχόλια για την απόδοση και την ταχύτητα σύγκλισης τους:

(α) Με 2 εμφωλευμένους βρόχους:

Βρέθηκε ότι με την τιμή  $\mu = 0.0005$  έχουμε πολύ καλή σύγκλιση και για αυτό χρησιμοποιήθηκε αυτή.

Η καμπύλη μάθησης που δίνεται στην συνέχεια υπολογίστηκε για  $n = 1.500.000$  ( $k_{max} = 500$ ) και  $T = 10$  :



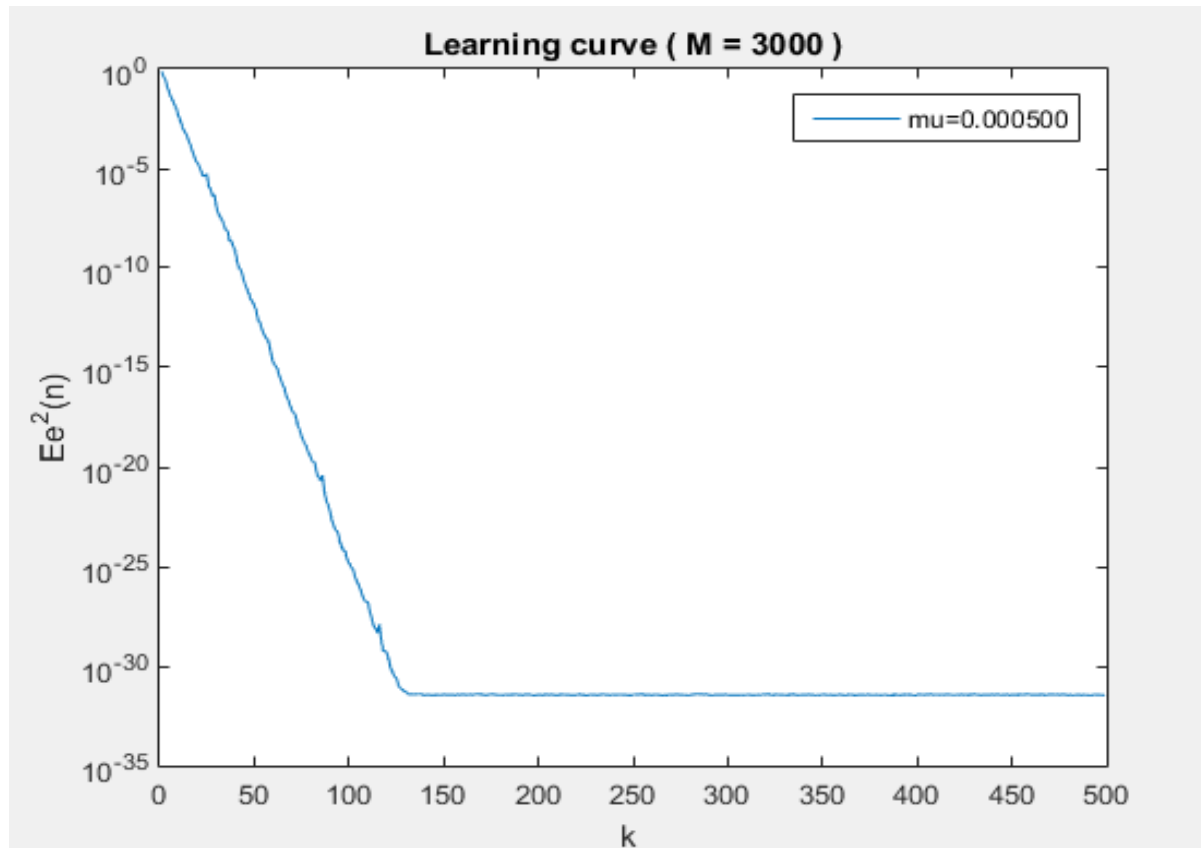
Βλέπουμε ότι ο αλγόριθμος συγκλίνει αρκετά γρήγορα και έχει πολύ μικρό σφάλμα καθώς χρειάστηκε μόλις περί τα **130** βήματα για να έχει σφάλμα της τάξης του  $10^{(-30)}$ .

Μπορείτε να βρείτε τον κώδικα στο script **block\_LMS\_a.m** στον φάκελο **Scripts**.

(β) Με ένα βρόχο και πράξεις πινάκων:

Βρέθηκε ότι με την τιμή  $\mu = 0.0005$  έχουμε πολύ καλή σύγκλιση και για αυτό χρησιμοποιήθηκε η συγκεκριμένη.

Η καμπύλη μάθησης που δίνεται στην συνέχεια υπολογίστηκε για  $n = 1.500.000$  ( $k_{max} = 500$ ) και  $T = 10$  :



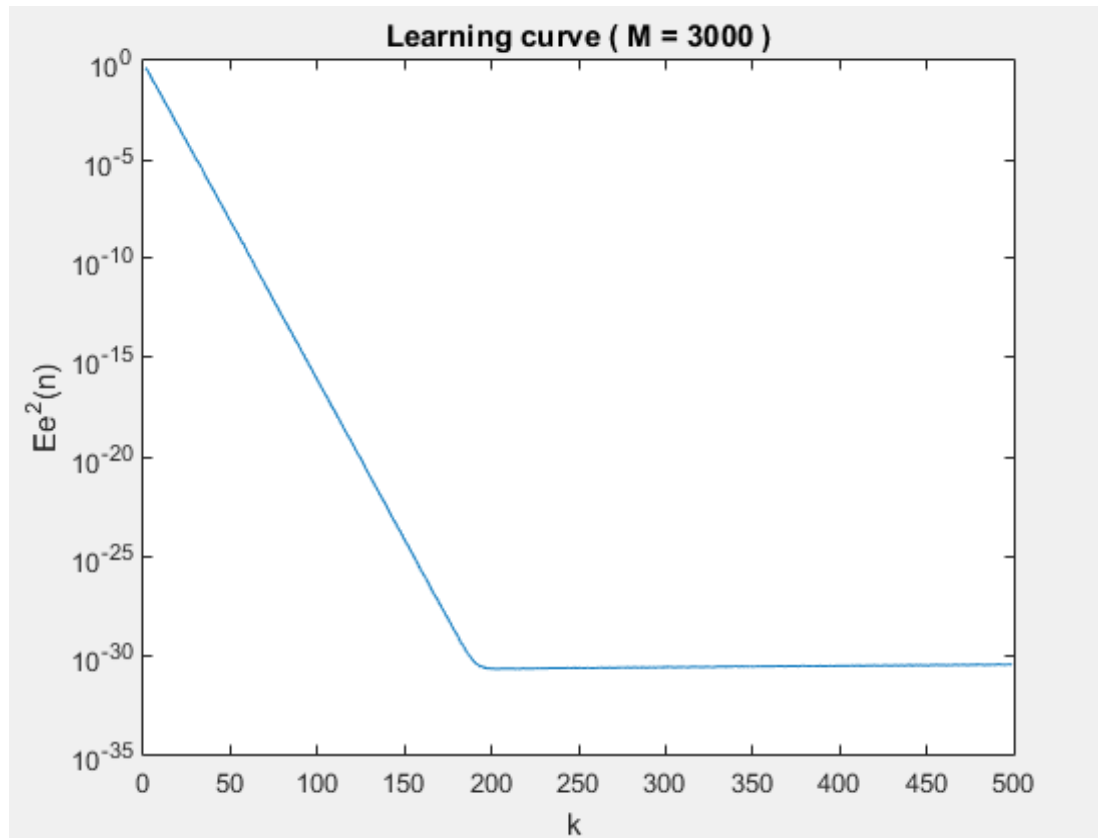
Βλέπουμε ότι και αυτός ο αλγόριθμος συγκλίνει αρκετά γρήγορα και έχει πολύ μικρό σφάλμα. Αξίζει να παρατηρήσουμε ακόμη την μεγάλη ομοιότητα με τον προηγούμενο.

Μπορείτε να βρείτε τον κώδικα στο script **block\_LMS\_b.m** στον φάκελο **Scripts**.

(γ) Με προσαρμογή στο πεδίο της συχνότητας κάνοντας χρήση του FFT:

Σε αυτή την περίπτωση το  $\mu$  υπολογίζεται σε κάθε επανάληψη οπότε δεν χρειάστηκε να το διαλέξουμε εμείς.

Η καμπύλη μάθησης που δίνεται στην συνέχεια υπολογίστηκε για  $n = 1.500.000$  ( $k_{max} = 500$ ) και  $T = 10$  :



Αξίζει να παρατηρήσουμε το πόσο λεία φθίνει η καμπύλη σε σχέση με τις προηγούμενες 2 καμπύλες όπου έχουμε σημαντικές κυματώσεις, πράγμα που σημαίνει ότι συνεχώς φθίνει. Ακόμη, βλέπουμε ότι και αυτός ο αλγόριθμος είναι αποδοτικός παρόλο που χρειάστηκε λίγα περισσότερα βήματα για να συγκλίνει. Αυτό είναι κάτι που φαίνεται περίεργο διότι θα περιμέναμε αυτός ο αλγόριθμος να είναι ο γρηγορότερος από τους προηγούμενους.

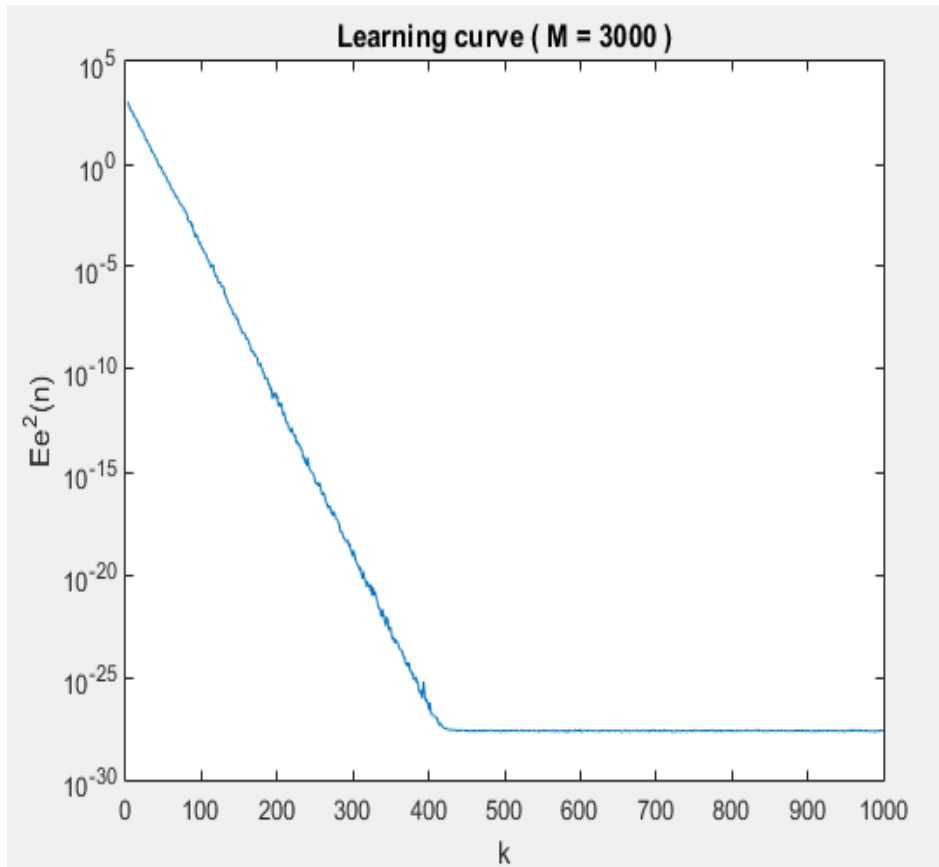
Μπορείτε να βρείτε τον κώδικα στο script **block\_LMS\_c.m** στον φάκελο **Scripts**.

(δ) Με μη περιορισμένη προσαρμογή στο πεδίο της συχνότητας:

Και σε αυτή την περίπτωση το  $\mu$  υπολογίζεται σε κάθε επανάληψη, οπότε πάλι δεν χρειάστηκε να διαλέξουμε εμείς κάποιο.

Ακόμη, αξίζει να σημειωθεί ότι για αυτόν τον αλγόριθμο δεν χρησιμοποιήθηκε ως βάση ο **adaptLMS.m** και για αυτόν τον λόγο μάλλον προέκυψε χειρότερη ταχύτητα σύγκλισης σε σχέση με πριν, όπως θα δούμε στην συνέχεια.

Η καμπύλη μάθησης που δίνεται στην συνέχεια υπολογίστηκε για **kmax = 1000** :



Και αυτός ο αλγόριθμος είναι αρκετά αποδοτικός, εφόσον συγκλίνει σε πολύ μικρό σφάλμα της τάξης του  **$10^{-25}$** . Ακόμη, παρατηρούμε ότι ο αλγόριθμος αυτός έχει την χειρότερη ταχύτητα σύγκλισης σε σχέση με τους προηγούμενους, καθώς χρειάζονται **400** περίπου βήματα για να συγκλίνει.

Μπορείτε να βρείτε τον κώδικα στο script **block\_LMS\_d.m** στον φάκελο **Scripts**.