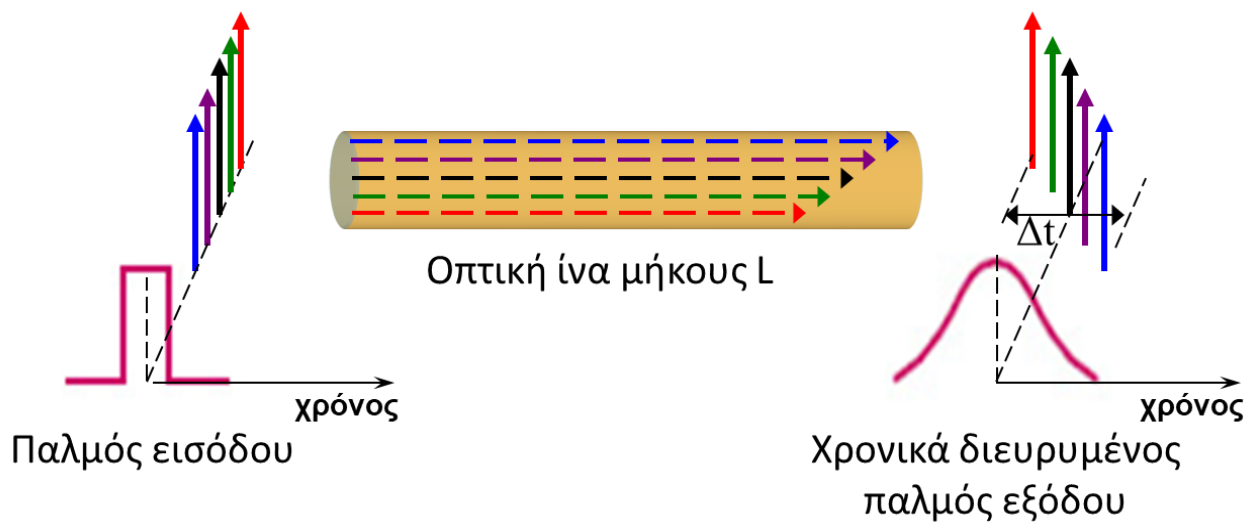


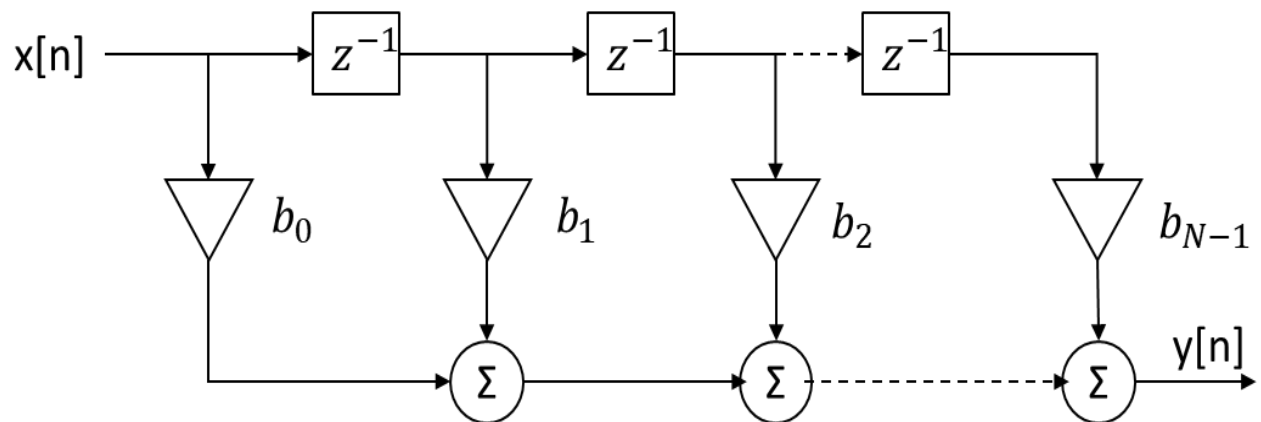
Ανάπτυξη αλγορίθμου για την αντιστάθμιση της χρωματικής διασποράς σε οπτικά συστήματα.

Χρωματική διασπορά ενός οπτικού μέσου μετάδοσης (π.χ. οπτικές ίνες) ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο ο δείκτης διάθλασης και συνεπώς η σταθερά διάδοσης ενός διαδιδόμενου κύματος εξαρτάται από την συχνότητα του ίδιου του κύματος. Στην περίπτωση μετάδοσης ενός οπτικού παλμού μέσα από μια οπτική ίνα, με μη-μηδενική διασπορά, οι διαφορετικές φασματικές συνιστώσες που αποτελούν τον οπτικό παλμό θα μεταδοθούν με ελαφρώς διαφορετικές ταχύτητες ομάδας, προκαλώντας την χρονική διαπλάτυνσή του. Άμεση συνέπεια του φαινομένου, είναι η εμφάνιση διασυμβολικής παρεμβολής, κατά την οποία γειτονικά σύμβολα αλληλοκαλύπτονται χρονικά, επιφέροντας αύξηση της πιθανότητας λάθους κατά τη διαδικασία της αποκωδικοποίησης στην πλευρά του δέκτη.



Σχήμα 1. Κατά την μετάδοση ενός οπτικού παλμού μέσω μιας οπτικής ίνας, με μη-μηδενική διασπορά, οι διαφορετικές φασματικές συνιστώσες θα μεταδοθούν με διαφορετικές ταχύτητες, οδηγώντας στη χρονική διεύρυνση του οπτικού παλμού στην έξοδο της οπτικής ίνας.

Σκοπός της εξαμηνιαίας εργασίας είναι η μελέτη και η ανάπτυξη αλγορίθμου, στο προγραμματιστικό περιβάλλον της MATLAB ή της Python, για την αντιστάθμιση του φαινομένου της χρωματικής διασποράς. Ο αλγόριθμος βασίζεται στη δημιουργία ενός φίλτρου πεπερασμένης κρουστικής απόκρισης (Finite Impulse Response – FIR) με κρουστική συνάρτηση, τέτοια ώστε να αναιρεί το φαινόμενο της χρωματικής διασποράς.

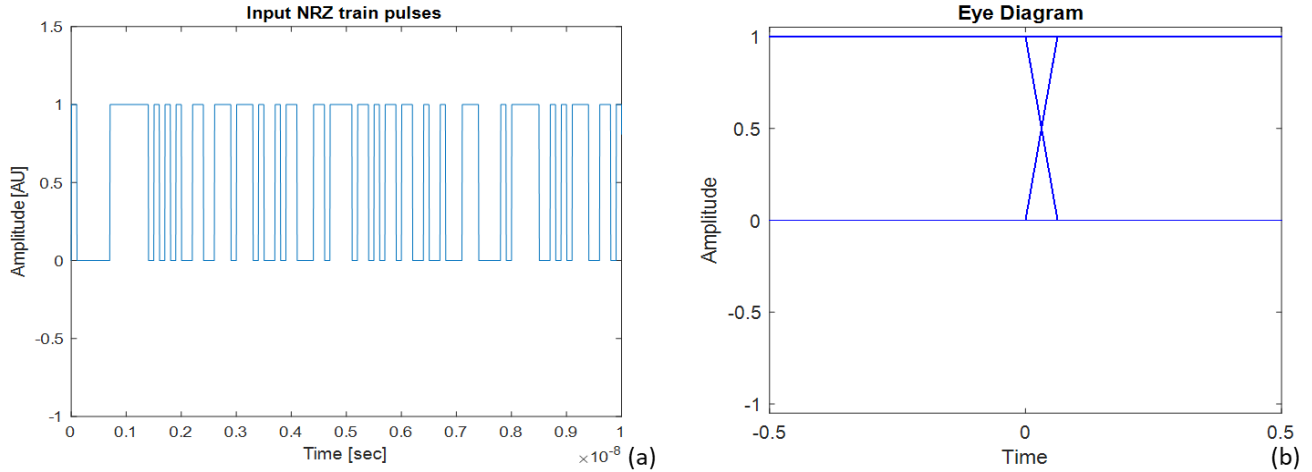


Σχήμα 2. Δομικό διάγραμμα φίλτρου πεπερασμένης κρουστικής συνάρτησης.

Συγκεκριμένα, τα βήματα για την υλοποίηση είναι τα ακόλουθα :

1. Δημιουργία διαμορφωμένου σήματος προς μετάδοση

Στο πρώτο βήμα δημιουργείται το διαμορφωμένο σήμα, το οποίο θα μεταδοθεί δια μέσου της οπτικής ίνας. Στα πλαίσια της εργασίας, θα αγνοήσουμε το οπτικό φέρον και θα επικεντρωθούμε στην περιβάλλουσα του διαμορφωμένου σήματος. Η επιλογή του σχήματος διαμόρφωσης είναι ελεύθερη, ωστόσο προτείνεται η επιλογή διαμόρφωσης πλάτους. Για την ορθή δημιουργία και αναπαράσταση του σήματος, κάθε σύμβολο πρέπει να αποτελείται από τουλάχιστον 2 δείγματα (samples).



Σχήμα 3. (a) Διαμορφωμένο κατά πλάτος σήμα με ρυθμό μετάδοσης ψηφίων 10 Gbit/s, (b) το αντίστοιχο διάγραμμα οφθαλμού.

2. Εισαγωγή της χρωματικής διασποράς

Το φαινόμενο της χρωματικής διασποράς μπορεί να περιγραφεί στο πεδίο των συχνοτήτων με βάση την εξίσωση (1) και στο πεδίο του χρόνου από την εξίσωση (2).

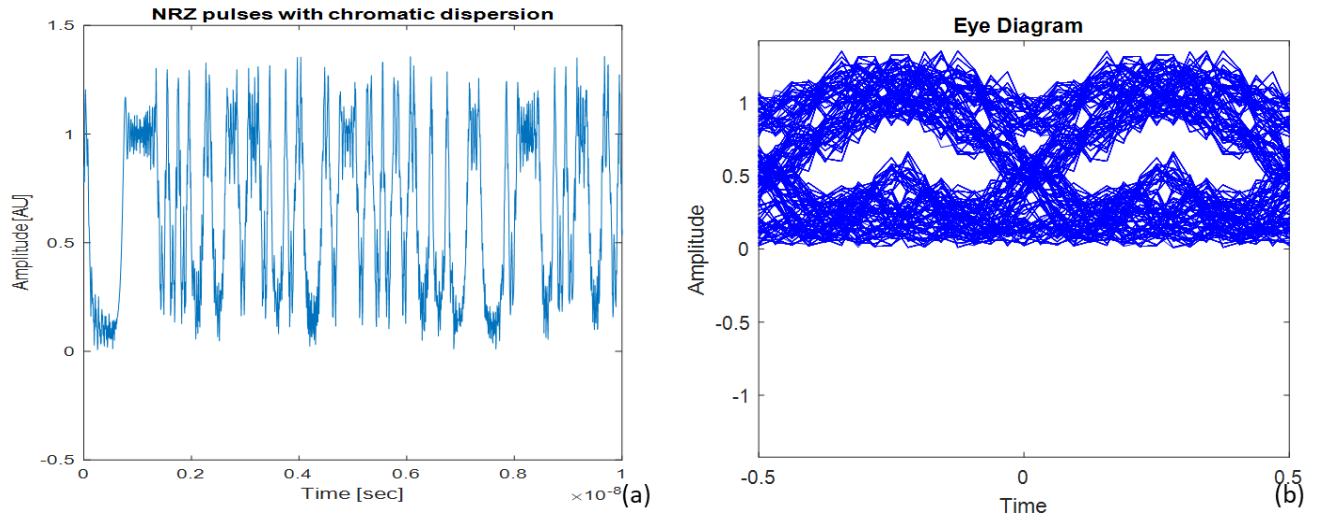
$$H(z, \omega) = e^{-j\frac{\beta_2 * z}{2} \omega^2} = e^{j\frac{D\lambda^2 z}{4\pi c} \omega^2} \quad (1)$$

$$h(z, t) = \sqrt{\frac{c}{jD\lambda^2 z}} e^{(j\frac{\pi c}{D\lambda^2 z} t^2)} \quad (2)$$

Όπου β_2 ορίζεται η παράμετρος διασποράς της ταχύτητας ομάδας, D η παράμετρος διασποράς, λ το μήκος κύματος, ω η γωνιακή ταχύτητα, c η ταχύτητα του φωτός στο κενό και z το μήκος της οπτικής ίνας. Η εισαγωγή της χρωματικής διασποράς στο σήμα του προηγούμενου βήματος, μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε στο πεδίο της συχνότητας, βρίσκοντας τον μετασχηματισμό Fourier του διαμορφωμένου σήματος και πολλαπλασιάζοντας τον με την συνάρτηση (1), είτε στο πεδίο του χρόνου υπολογίζοντας την συνέλιξη του διαμορφωμένου σήματος με την συνάρτηση (2). Εάν επιλεγεί η πρώτη τεχνική, μετατρέποντας το σήμα στο πεδίο των συχνοτήτων, πρέπει στο τέλος του βήματος, να χρησιμοποιηθεί ο αντίστροφος μετασχηματισμός Fourier, έτσι ώστε να επαναφέρουμε το σήμα στο πεδίο του χρόνου.

3. Εφαρμογή του φίλτρου για την αντιστάθμιση της χρωματικής διασποράς

Η εφαρμογή του φίλτρου, πραγματοποιείται στο πεδίο του χρόνου, συνεπώς πρέπει να διασφαλιστεί ότι το σήμα που προκύπτει μετά την εισαγωγή της χρωματικής διασποράς, βρίσκεται στο πεδίο του χρόνου. Τα βάρη του φίλτρου δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:



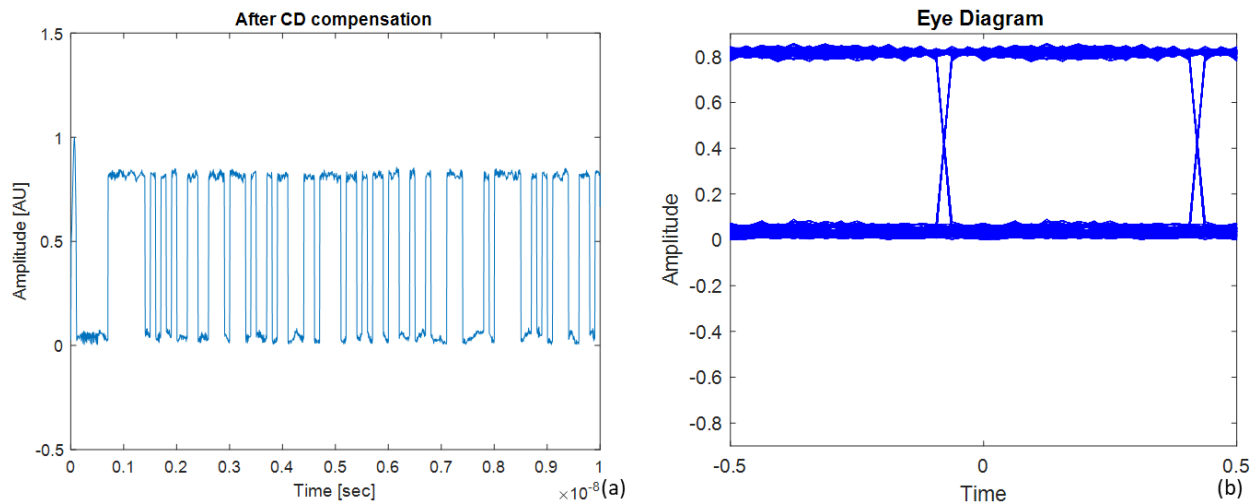
Σχήμα 4. (a) Διαμορφωμένο σήμα έπειτα από μετάδοση μέσω 50 km οπτικής ίνας με $D = 16 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ και (b) το αντίστοιχο διάγραμμα οφθαλμού.

$$b_k = \sqrt{\frac{jcT_s^2}{D\lambda^2z}} \exp\left(-j \frac{\pi cT_s^2}{D\lambda^2z} k^2\right) \quad (3)$$

$$\left[-\frac{N}{2}\right] \leq k \leq \left[\frac{N}{2}\right] \quad (4)$$

$$N = 2 \left\lfloor \frac{|D|\lambda^2z}{2cT_s^2} \right\rfloor + 1 \quad (5)$$

όπου $[\cdot]$ το ακέραιο μέρος ενός δεκαδικού αριθμού, T_s η περίοδος δειγματοληψίας και N ο αριθμός των βαρών. Η εφαρμογή του φίλτρου στο σήμα υλοποιείται με την built-in εντολή της MATLAB `filter(b,1,signal)`.



Σχήμα 5. (a) Διορθωμένο σήμα μετά την εφαρμογή του φίλτρου και (b) το αντίστοιχο διάγραμμα οφθαλμού.

Στο πλαίσιο της εργασίας θεωρούμε τις παρακάτω τιμές:

$$D = 17 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$$

$$\lambda = 1550 \text{ nm}$$

$$\text{Symbol Rate} = 25 \text{ Gbit/s}$$

$$\text{Sampling Rate} = 16 \cdot \text{Symbol Rate}$$

Όσον αφορά το μήκος της οπτικής ίνας, z , θεωρούμε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις στις οποίες θέτουμε διαδοχικά το μήκος 50 km, 100 km και 400 km.

Το πρώτο μέρος της παραδοτέας εργασίας πρέπει να περιλαμβάνει τη θεωρητική ανάλυση του φαινομένου της χρωματικής διασποράς καθώς και τις διάφορες τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί για την αντιστάθμιση της, ενώ το δεύτερο πρέπει να περιέχει τον πηγαίο κώδικα που υλοποιήθηκε και για τις τρεις περιπτώσεις με διαφορετικό μήκος μετάδοσης. Σε κάθε ένα από τα τρία βήματα του αλγορίθμου θα πρέπει να επισυνάπτονται τα διαγράμματα στο πεδίο του χρόνου και τα αντίστοιχα διαγράμματα οφθαλμού του σήματος.

Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την υλοποίηση του αλγορίθμου μπορείτε να ανατρέξετε στην παρακάτω επιστημονική δημοσίευση:

Savory, Seb J. "Digital filters for coherent optical receivers." *Optics express* 16.2 (2008): 804-817.

Η εργασία θα πρέπει να παραδοθεί σε ηλεκτρονική μορφή στην ηλεκτρονική διεύθυνση ctso@mail.ntua.gr και σε έντυπη μορφή στο εργαστήριο φωτονικών επικοινωνιών (Παλιά Κτίρια Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, Εργαστήριο 0.2.10ε), έως την ημέρα της εξέτασης του μαθήματος κατά εαρινή εξεταστική περίοδο 2019.