



ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ (Θ)

Ενότητα 4: ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Ευσταθίου Δημήτριος

Διδάκτορας Κινητών τηλεπικοινωνιών

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΤΕ





Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.





Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





Ενότητα 4

ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

**ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
ΔΙΔΑΚΤΟΡΑΣ ΚΙΝΗΤΩΝ
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**



Περιεχόμενα ενότητας

1. *Κυκλική Συνέλιξη και DFT*
2. *Κυκλικό πρόθεμα στην OFDM*



Σκοποί ενότητας



Ευρυζωνικά Δίκτυα

Ενότητα 4^η



Ορθογωνική Πολύπλεξη με Διαίρεση Συχνότητας

Κυκλική Συνέλιξη

Κυκλικό Πρόθεμα



Κυκλική Συνέλιξη and DFT

□ Ορίζουμε $x_2(n-m)_N$ να είναι η μετατόπιση κατά m δείγματα του σήματος $x_2(n)_N$ θεωρώντας όμως ότι το $x_2(n)_N$ είναι η περιοδική επέκταση του $x_2(n)$ με περίοδο N . Για παράδειγμα αν $x_2(n) = \{1, 2, 3, 4\}$ (μήκος $N = 4$), τότε

- $x_2(n-2)_4 = \{3, 4, 1, 2\}$

- $x_2(-n)_4 = \{1, 4, 3, 2\}$

□ Επίσης ορίζουμε την **κυκλική συνέλιξη** ως

$$x_1(n) \otimes_N x_2(n) = \sum_{m=0}^{N-1} x_1(m) x_2((n-m))_N \quad 0 \leq n \leq N-1$$



Κυκλική Συνέλιξη and DFT

□ Ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier DFT για την κυκλική συνέλιξη δίνεται ως

$$\text{DFT}[x_1(n) \otimes_N x_2(n)] = \text{DFT}[x_1(n)] \cdot \text{DFT}[x_2(n)]$$

Ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier της κυκλικής συνέλιξης δύο συναρτήσεων στο πεδίο του χρόνου, είναι ο πολλαπλασιασμός δύο N-σημείων DFT στο πεδίο συχνοτήτων.



Κυκλική Συνέλιξη and DFT

□ Παράδειγμα

Υπολογίστε την κυκλική συνέλιξη 4 σημείων για τα σήματα $x_1(n) = \{1, 2, 2, 0\}$ και $x_2(n) = \{1, 2, 3, 4\}$

$$x_1(n) \otimes_N x_2(n) = \sum_{m=0}^3 x_1(m) x_2((n-m))_4 \quad 0 \leq n \leq 3$$

$$x_1(n) = \{1, 2, 2, 0\}$$

$$x_2(n) = \{1, 2, 3, 4\}$$

□ Για $n=0$

$$\begin{aligned} \sum_{m=0}^3 x_1(m) x_2((0-m))_4 &= \sum_{m=0}^3 [\{1, 2, 2, 0\} \cdot \{1, 4, 3, 2\}] \\ &= \sum_{m=0}^3 \{1, 8, 6, 0\} = 15 \end{aligned}$$



Κυκλική Συνέλιξη and DFT

□ Παράδειγμα

□ Για $n=1$

$$\sum_{m=0}^3 x_1(m) x_2((1-m))_4 = \sum_{m=0}^3 [\{1, 2, 2, 0\} \cdot \{2, 1, 4, 3\}]$$
$$\sum_{m=0}^3 \{2, 2, 8, 0\} = 12$$

□ Για $n=2$

$$\sum_{m=0}^3 x_1(m) x_2((2-m))_4 = \sum_{m=0}^3 [\{1, 2, 2, 0\} \cdot \{3, 2, 1, 4\}]$$
$$\sum_{m=0}^3 \{3, 4, 2, 0\} = 9$$



Κυκλική Συνέλιξη and DFT

□ Παράδειγμα

□ Για $n=3$

$$\sum_{m=0}^3 x_1(m) x_2((3-m))_4 = \sum_{m=0}^3 [\{1, 2, 2, 0\} \cdot \{4, 3, 2, 1\}]$$
$$\sum_{m=0}^3 \{4, 6, 4, 0\} = 14$$

□ Επομένως

$$x_1(n) \otimes_4 x_2(n) = \{15, 12, 9, 14\}$$



Κυκλικό πρόθεμα στην OFDM

□ Έστω η είσοδος στο κανάλι είναι η ακολουθία εκπομπής

$$x[n] = x[0], \dots, x[N-1]$$

με μήκος N

και ένα διακριτού χρόνου κανάλι με κρουστική απόκριση

$$h[n] = h[0], \dots, h[M]$$

με μήκος $M+1 = T_m/T_s$, όπου T_m είναι η διασπορά καθυστέρησης λόγω πολλαπλών διακριτών διαδρομών και T_s είναι η περίοδος δειγματοληψίας των δειγμάτων της ακολουθίας εκπομπής $x[n]$.



Κυκλικό πρόθεμα στην OFDM

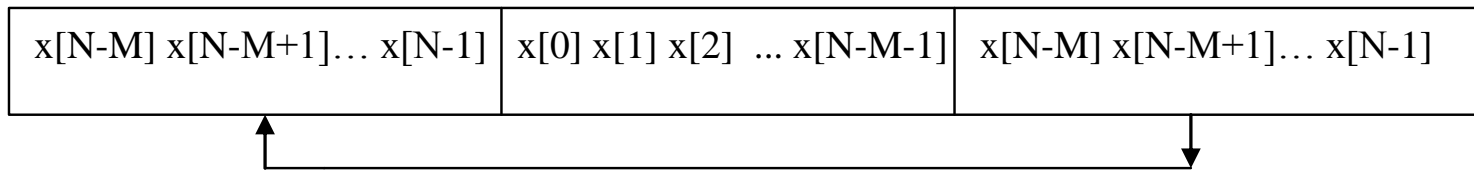
□ Το κυκλικό πρόθεμα του $x[n]$ ορίζεται ως

$$\{x[N-M], \dots, x[N-1]\}$$

δηλαδή αποτελείται από τις τελευταίες M τιμές του $x[n]$.

□ Για κάθε ακολουθία εκπομπής $x[n]$ μήκους N , αυτά τα M δείγματα μεταφέρονται στην αρχή της ακολουθίας εκπομπής.

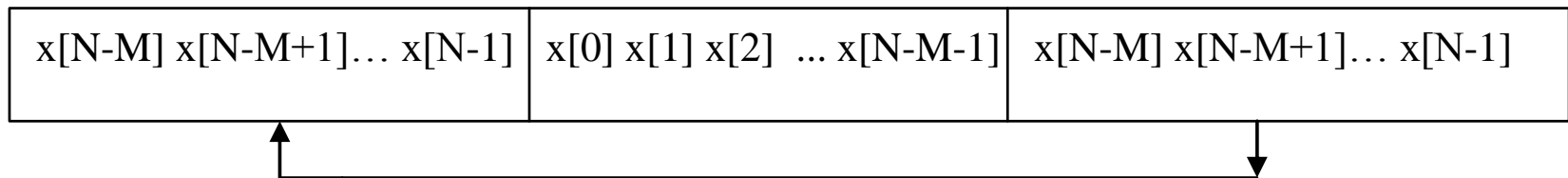
CYCLIC PREFIX





Κυκλικό πρόθεμα στην OFDM

CYCLIC PREFIX



□ Αυτό δημιουργεί μία νέα ακολουθία $\tilde{x}[n]$ μήκους $N+M$:

$$\tilde{x}[n] = x[N-M], \dots, x[N-1], x[0], \dots, x[N-1]$$



Κυκλικό πρόθεμα στην OFDM

□ Έστω ότι το $\tilde{x}[n]$ είναι είσοδος στο κανάλι πολλαπλών διακριτών διαδρομών (ισοδύναμο με FIR φίλτρο).

□ Η έξοδος θα είναι η συνέλιξη του σήματος εισόδου με την κρουστική απόκριση του καναλιού:

$$y[n] = \tilde{x}[n] * h[n] = \sum_{k=0}^M h[k] \tilde{x}[n-k] =$$

$$= \sum_{k=0}^M h[k] x[n-k]_N = x[n] \otimes_N h[n]$$

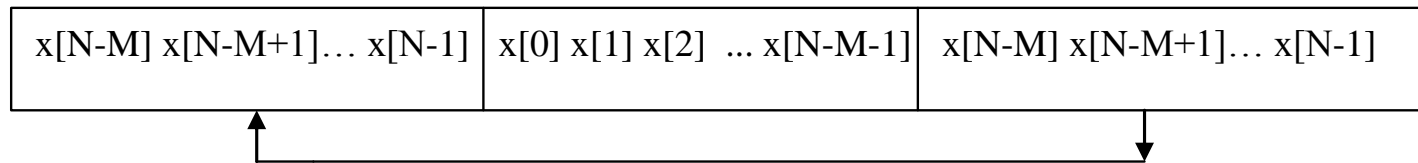
□ Όπου η τρίτη ισότητα προκύπτει επειδή για

$$0 \leq k \leq M-1, \quad \tilde{x}[n-k] = x[n-k]_N \quad \text{for } 0 \leq n \leq N-1.$$



Κυκλικό πρόθεμα στην OFDM

CYCLIC PREFIX



□ Με την προσθήκη του κυκλικού προθέματος στην αρχή του καναλιού, η γραμμική συνέλιξη $y(n)$ που δίνει την έξοδο για $0 \leq n \leq N-1$ γίνεται κυκλική συνέλιξη.

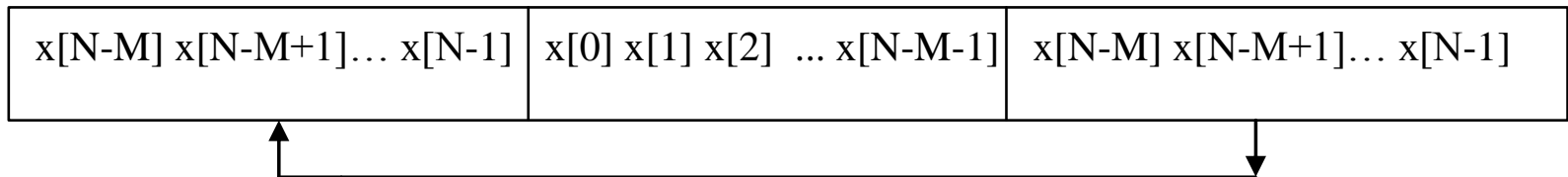
□ Παίρνοντας το διακριτό μετασχηματισμό Fourier DFT της εξόδου έχουμε:

$$Y[k] = \text{DFT} \{ y[n] = x[n] \otimes_N h[n] \} = X[k] H[k], \quad 0 \leq k \leq N-1$$



Κυκλικό πρόθεμα στην OFDM

CYCLIC PREFIX



□ και επομένως η ακολουθία $x[n]$ for $0 \leq n \leq N-1$ μπορεί να βρεθεί από την έξοδο του καναλιού $y[n]$ $0 \leq n \leq N-1$ αν γνωρίζουμε το $h[n]$, ως

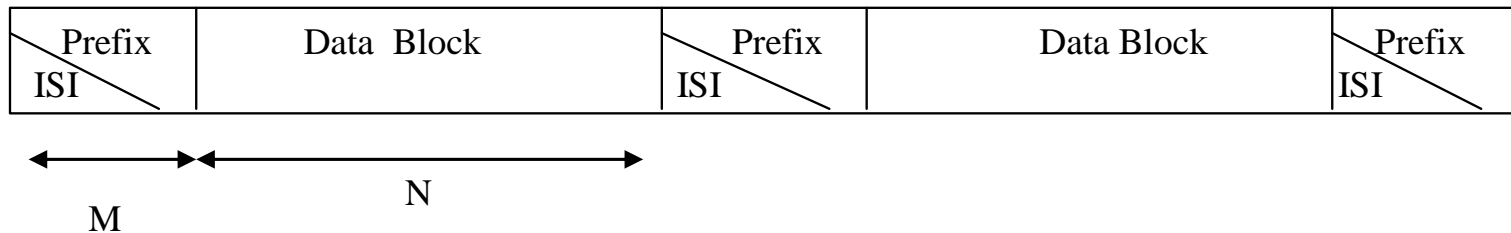
$$x[n] = \text{IDFT} \left\{ \frac{Y[k]}{H[k]} \right\} = \text{IDFT} \left\{ \frac{\text{DFT} \{y[n]\}}{\text{DFT} \{y[n]\}} \right\}$$



Κυκλικό πρόθεμα στην OFDM

Το κυκλικό πρόθεμα στη μετάδοση OFDM χρησιμεύει και στην **εξάλειψη του ISI μεταξύ των μπλοκ δεδομένων** αφού τα πρώτα M δείγματα εξόδου του καναλιού έχουν ISI και πρέπει να αφαιρεθούν.

□ Δεν επηρεάζεται η αρχική ακολουθία πληροφορίας.

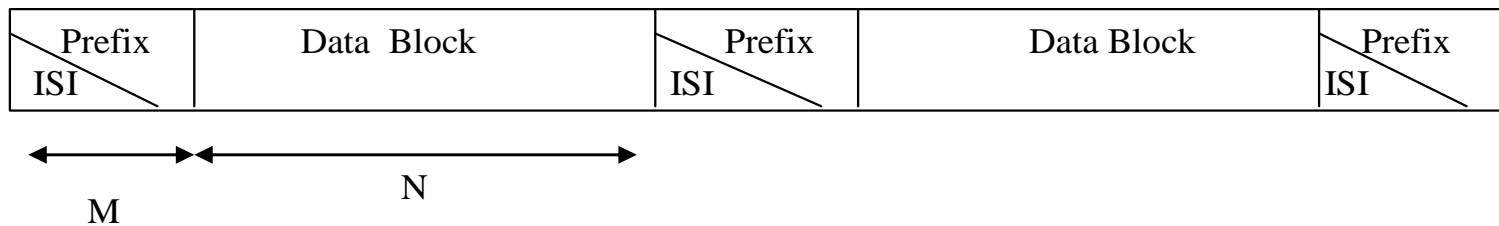




Κυκλικό πρόθεμα στην OFDM

□ Κάθε σύμβολο αποτελείται από δύο μέρη. Η συνολική διάρκεια συμβόλων είναι $T_{\text{total}} = T_g + T_s$, όπου T_g είναι το guard interval.

□ Όταν το διάστημα φύλαξης είναι μεγαλύτερο από την μέγιστη καθυστέρηση πολλαπλών διαδρομών, η επίδραση ISI μπορεί να εξαλειφθεί.





Τέλος Ενότητας

