

ΒΕΣ 06 – Προσαρμοστικά Συστήματα στις Τηλεπικοινωνίες



Εφαρμογές Προσαρμοστικών Συστημάτων: Καταστολή ηχούς, Ισοστάθμιση καναλιού και ανίχνευση συμβόλων

- Εισαγωγή
- Δημιουργία Ηχούς
- Καταστολή Ηχούς
- Ισοστάθμιση Διαύλου σε Ψηφιακές Επικοινωνίες

Βιβλιογραφία Ενότητας



- *Benvenuto [2002]:*
 - Κεφάλαιο 8
 - Κεφάλαιο 3, Ενότητα 3.6
- *Haykin [2001]: Chapter 10*
- *Sayed [2003]: Chapter 9*
- *Boroujeny [1999]: Chapter 7*
- *Bose [2003]: Chapter 9*
- *Chassaing [2004]: Chapter 7*

- ★ Εισαγωγή
- Δημιουργία Ηχούς
- Καταστολή Ηχούς
- Ισοστάθμιση Διαύλου σε Ψηφιακές Επικοινωνίες

Εισαγωγή



- Τα προσαρμοστικά συστήματα είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα στις τηλεπικοινωνίες επειδή τα χαρακτηριστικά των τηλεπικοινωνιακών διαύλων αλλά και τα ίδια τα σήματα παρουσιάζουν μεταβολές με το χρόνο.
- Δύο ιδιαίτερα απαιτητικές εφαρμογές των προσαρμοστικών συστημάτων στις τηλεπικοινωνίες είναι η καταστολή ηχούς (echo cancellation) και η ισοστάθμιση τηλεπικοινωνιακού διαύλου σε ψηφιακή επικοινωνία
 - Στην πρώτη περίπτωση η τάξη του προσαρμοστικού φίλτρου είναι αντίστοιχη με το χρόνο μετάδοσης του σήματος από το πομπό στο δέκτη. Η τάξη αυτή είναι συνήθως αρκετά μεγάλη (>128) με αποτέλεσμα να χρειάζονται γρήγορες υλοποιήσεις των αλγορίθμων προσαρμογής. Ο καταλληλότερος αλγόριθμος σε αυτή την περίπτωση είναι ο FLMS (ή γενικότερα προσαρμοστικοί αλγόριθμοι στο πεδίο της συχνότητας)
 - Στη δεύτερη περίπτωση επειδή τα χαρακτηριστικά του διαύλου μπορεί να μεταβάλλονται χρονικά χρειάζεται κάποιος αλγόριθμος με ικανότητα παρακολούθησης των χρονικών αυτών μεταβολών. Επομένως μια συνήθης επιλογή είναι ο αλγόριθμος RLS

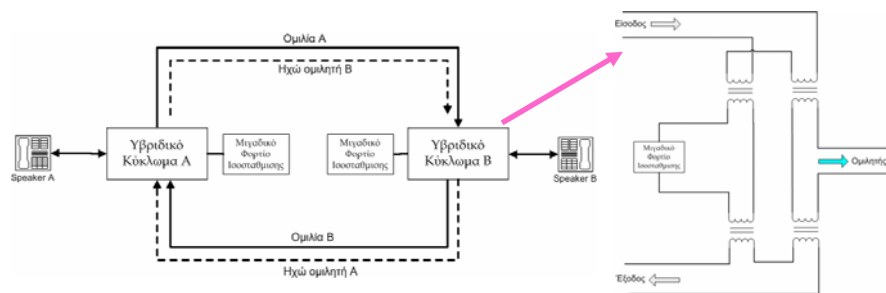
© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ☑ Εισαγωγή
- ★ Δημιουργία Ηχούς
- Καταστολή Ηχούς
- Ισοστάθμιση Διαύλου σε Ψηφιακές Επικοινωνίες

Δημιουργία Ηχούς



- Η ηχώ δημιουργείται:
 - Εξαιτίας κακής προσαρμογής του υβριδικού κυκλώματος του δέκτη σε περιβάλλον συμβατικής τηλεφωνίας
 - Εξαιτίας ανάκλασης των ηχητικών κυμάτων στο περιβάλλοντα χώρο σε εφαρμογές τηλεδιάσκεψης



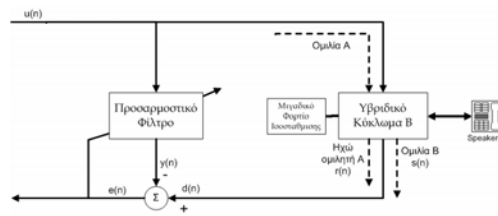
© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ☑ Εισαγωγή
- ☑ Δημιουργία Ηχούς
- ★ Καταστολή Ηχούς
- ☐ Ισοστάθμιση Διαύλου σε Ψηφιακές Επικοινωνίες

Καταστολή Ηχούς



- Για την καταστολή της ηχούς πρέπει το σήμα $r(n)$ (βλέπε σχήμα) να απομακρυνθεί από το σήμα $d(n)$ ώστε να παραμείνει μόνο το σήμα του ομιλητή Β (σήμα $s(n)$).
 - Για το σκοπό αυτό δημιουργείται στον δέκτη ένα 'αντίγραφο' της ηχούς $y(n)$ το οποίο και αφαιρείται από το σήμα $d(n)$.
 - Το σήμα $y(n) = \hat{r}(n)$ μπορεί να δημιουργηθεί από το σήμα $u(n)$ (σήμα ομιλητή Α) δεδομένου ότι αποτελεί μια καθυστερημένη και εξασθενημένη εκδοχή του
 - Αντίθετα το σήμα $s(n)$ (σήμα ομιλητή Β) είναι εντελώς ασυσχέτιστο με το σήμα $u(n)$ και επομένως δεν μπορεί να δημιουργηθεί από αυτό



© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ☑ Εισαγωγή
- ☑ Δημιουργία Ηχούς
- ★ Καταστολή Ηχούς
- ☐ Ισοστάθμιση Διαύλου σε Ψηφιακές Επικοινωνίες

Καταστολή ηχούς με προσαρμοστικά φίλτρα



- Το σήμα της ήχους φτάνει στον ομιλητή αφού διανύσει την απόσταση ομιλητής Α – ομιλητής Β – ομιλητής Α. Ο χρόνος που απαιτείται για το σκοπό αυτό συμβολίζεται συνήθως με τ .
- Παρόλο που επί της ουσίας είναι εύκολο να δημιουργηθεί ένα αντίγραφο της ηχούς στον ομιλητή (με δεδομένο το δικό του σήμα στο μικρόφωνο - $u(n)$) εντούτοις χρειάζεται φίλτρο με κρουστική απόκριση μεγάλης διάρκειας ώστε να μοντελοποιείται η καθυστέρηση τ .
- Με δεδομένο ότι στα προσαρμοστικά συστήματα δεν χρησιμοποιούνται IIR φίλτρα για λόγους ευστάθειας είναι φανερό ότι το FIR φίλτρο προσαρμογής πρέπει να έχει μεγάλο μήκος (αριθμό συντελεστών).
 - Μεγάλος αριθμός συντελεστών σημαίνει μεγάλη πολυπλοκότητα και πιθανότητα αδυναμίας εκτέλεσης της προσαρμογής σε πραγματικό χρόνο.
 - Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται τμηματικοί αλγόριθμοι (Block LMS, Fast LMS) ή άλλοι αλγόριθμοι στο πεδίο της συχνότητας (π.χ. ο FDAF)

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- Εισαγωγή
- Δημιουργία Ηχούς
- Καταστολή Ηχούς
- Ισοστάθμιση Διαύλου σε Ψηφιακές Επικοινωνίες

Καταστολή ηχούς με προσαρμοστικά φίλτρα (II)



- Η τάξη M του προσαρμοστικού φίλτρου επιλέγεται με βάση τη σχέση
 - $M > \tau * F_s$
Όπου F_s είναι η συχνότητα δειγματοληψίας
- Σε συμβατικά τηλεφωνικά κυκλώματα ο χρόνος τ σπάνια υπερβαίνει τα 30 ms οπότε με συχνότητα δειγματοληψίας 8000 δείγματα/sec προκύπτει $M > 240$
 - Σε επικοινωνία μέσω δορυφόρου ο χρόνος τ φτάνει και τα 600 ms οπότε η τάξη του φίλτρου χρειάζεται να είναι μεγαλύτερη από 4800
 - Είναι φανερό ότι με τέτοιες τάξεις φίλτρου αλγόριθμοι με προσαρμογή ανά δείγμα είναι μη εφαρμόσιμοι

- Εισαγωγή
- Δημιουργία Ηχούς
- Καταστολή Ηχούς
- Ισοστάθμιση Διαύλου σε Ψηφιακές Επικοινωνίες

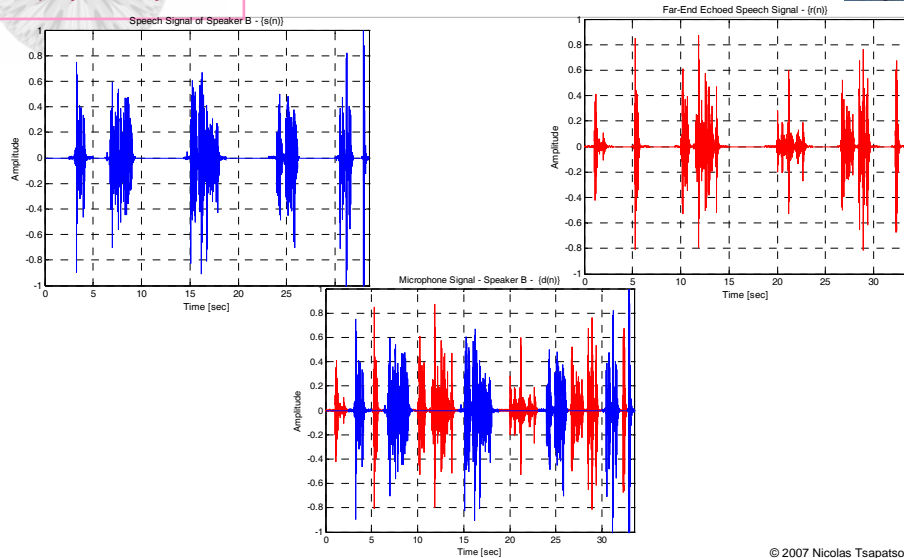
Παράδειγμα



- Ηχώ μπορεί να δημιουργηθεί εύκολα και σε περιβάλλοντα τηλεδιάσκεψης.
- Το σήμα του ομιλητή A το οποίο ακούγεται στα ηχεία ανακλάται στον περιβάλλοντα χώρο και ανατροφοδοτείται στο μικρόφωνο
 - Για να αποφευχθεί δημιουργία ηχούς κατά αυτό τον τρόπο είναι προτιμότερο η επικοινωνία να γίνεται με χρήση ακουστικών (headphones)
- Για τη καταστολή της ηχούς σε τέτοιες περιπτώσεις χρειάζονται φίλτρα αρκετά μεγάλης τάξης ($M > 1024$)
- Το επόμενο παράδειγμα μας δείχνει πόσο σημαντική είναι η επιλογή της τάξης του φίλτρου για την καταστολή της ηχούς

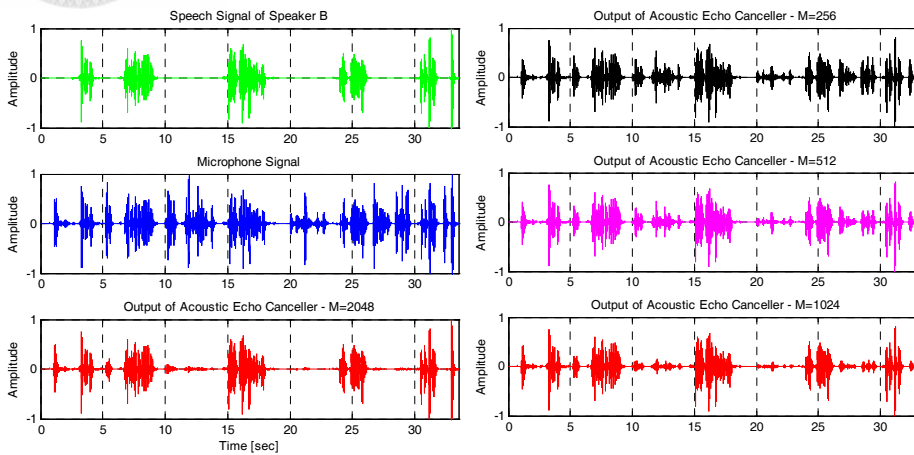
- ☑ Εισαγωγή
- ☑ Δημιουργία Ηχούς
- ★ Καταστολή Ηχούς
- ☐ Ισοστάθμιση Διαύλου σε Ψηφιακές Επικοινωνίες

Παράδειγμα (συν.)



- ☑ Εισαγωγή
- ☑ Δημιουργία Ηχούς
- ★ Καταστολή Ηχούς
- ☐ Ισοστάθμιση Διαύλου σε Ψηφιακές Επικοινωνίες

Παράδειγμα (συν.)

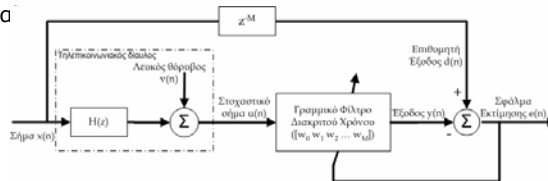


- ☑ Εισαγωγή
- ☑ Δημιουργία Ηχούς
- ☑ Καταστολή Ηχούς
- ★ Ισοστάθμιση Διαύλου σε Ψηφιακές Επικοινωνίες

Ισοστάθμιση Διαύλου σε Ψηφιακές Επικοινωνίες



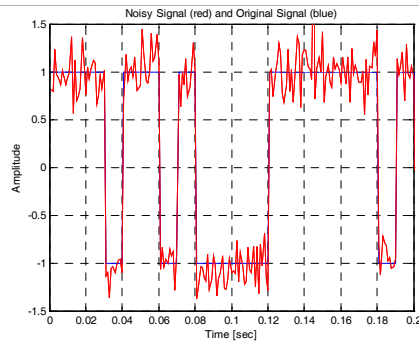
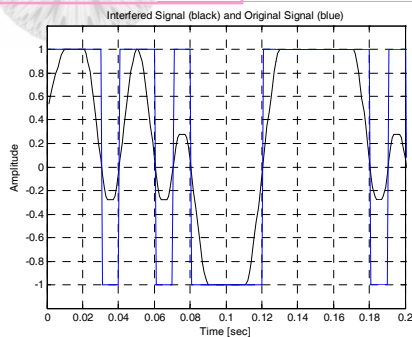
- Κατά τη μετάδοση ενός σήματος μέσω ενός τηλεπικοινωνιακού διαύλου (τηλεφωνική γραμμή, ασύρματη ζεύξη, οπτική ίνα, κλπ) έχουμε δύο βασικές παραμέτρους παραμόρφωσης:
 - Σκέδαση (dispersion) - Η σκέδαση είναι υπεύθυνη για το φαινόμενο της διασυμβολικής παρεμβολής (Inter-Symbol Interference - ISI)
 - Προσθήκη αθροιστικού θορύβου
- Αμφότερες οι ανωτέρω παραμορφώσεις δεν έχουν σταθερή χρονική συμπεριφορά και για την αντιμετώπιση τους χρησιμοποιούνται προσαρμοστικά φίλτρα
 - Η αντιμετώπιση τους είναι γνωστή ως Ισοστάθμιση τηλεπικοινωνιακού διαύλου (βλέπε σχήμα)



© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ☑ Εισαγωγή
- ☑ Δημιουργία Ηχούς
- ☑ Καταστολή Ηχούς
- ★ Ισοστάθμιση Διαύλου σε Ψηφιακές Επικοινωνίες

Σκέδαση και Προσθετικός Θόρυβος

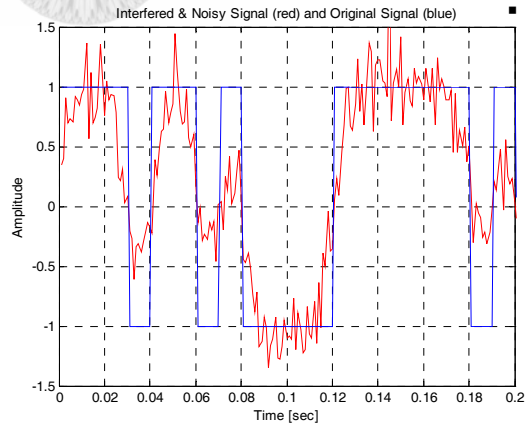


- Σχήμα αριστερά:
 - Φαινόμενο διασυμβολικής παρεμβολής
- Σχήμα δεξιά
 - Προσθήκη λευκού θορύβου

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ✓ Εισαγωγή
- ✓ Δημιουργία Ηχούς
- ✓ Καταστολή Ηχούς
- ★ Ισοστάθμιση Διαύλου σε Ψηφιακές Επικοινωνίες

Σκέδαση και Προσθετικός Θόρυβος (II)



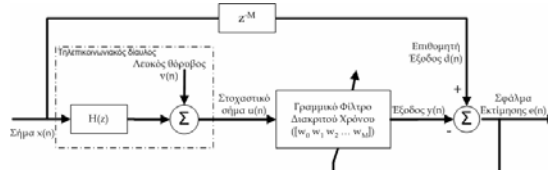
- Η σύνθεση του φαινομένου της διασυμβολικής παρεμβολής με τη προσθήκη λευκού θορύβου δημιουργεί μεγάλη δυσκολία αναγνώρισης των συμβόλων στο δέκτη
 - Στο σχήμα έχουμε (μέσω μια υποθετικής κωδικοποίησης γραμμής $-1 \Rightarrow 0, 1 \Rightarrow 1$) τη μετάδοση των δυαδικών συμβόλων $[1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1]$
 - Πόσο εύκολο είναι για το δέκτη από το κόκκινο σήμα να καταγράψει τα ανωτέρω σύμβολα;

- ✓ Εισαγωγή
- ✓ Δημιουργία Ηχούς
- ✓ Καταστολή Ηχούς
- ★ Ισοστάθμιση Διαύλου σε Ψηφιακές Επικοινωνίες

Προσαρμοστικά φίλτρα για την ισοστάθμιση καναλιού

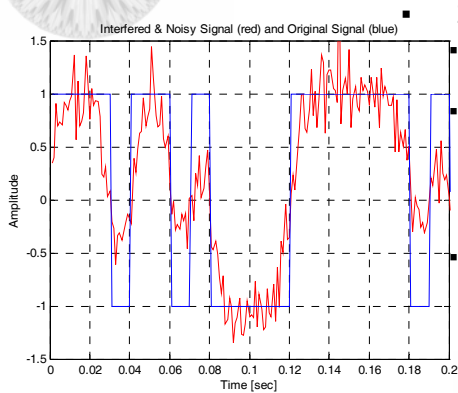


- Το βασικό πρόβλημα για την ισοστάθμιση καναλιού είναι ότι το επιθυμητό σήμα $d(n)$ δεν είναι γνωστό στο δέκτη
- Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτό υπάρχει μια περίοδος εκπαίδευσης (δοκιμαστικής μετάδοσης) κατά την οποία μεταδίδεται κάποιο σήμα $x(n)$ το οποίο είναι εκ των προτέρων γνωστό στο δέκτη
- Αφού εκτιμηθεί η καθυστέρηση μετάδοσης (M) το προσαρμοστικό φίλτρο έχει προσαρμοστεί στα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου καναλιού μετάδοσης
- Μετά το τέλος της περιόδου εκπαίδευσης το επιθυμητό σήμα εξαγεται με βάση το σήμα που έχει ληφθεί ($y(n)$). Έτσι η προσαρμογή συνεχίζεται



- ✓ Εισαγωγή
- ✓ Δημιουργία Ηχούς
- ✓ Καταστολή Ηχούς
- ★ Ισοστάθμιση Διαύλου σε Ψηφιακές Επικοινωνίες

Προσαρμοστικά φίλτρα για την ισοστάθμιση καναλιού (II)

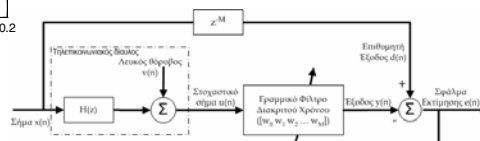


■ Στο παράδειγμα του σχήματος έχουμε:

$$d(n) = [1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1]$$

$$y(n) = [0.7302 \ 0.7007 \ 0.7841 \ -0.3109 \ 0.6273 \ 0.7022 \ -0.2768 \ 0.4129 \ -0.7352 \ -0.9284 \ -0.8867 \ -1.0119 \ 0.6818 \ 0.9354 \ 1.7746 \ 0.8389 \ 0.6776 \ 0.4489 \ -0.0925 \ -0.0306]$$

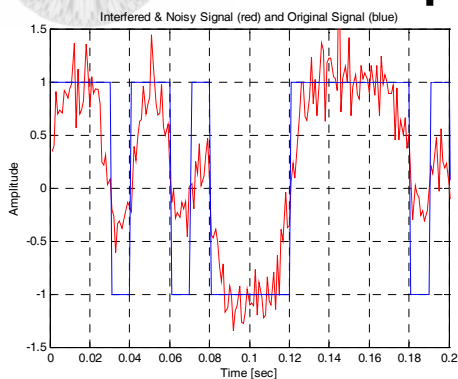
Το σφάλμα $e(n)$ είναι $d(n)-y(n)$ και χρησιμοποιείται για την προσαρμογή των συντελεστών του φίλτρου



© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ✓ Εισαγωγή
- ✓ Δημιουργία Ηχούς
- ✓ Καταστολή Ηχούς
- ★ Ισοστάθμιση Διαύλου σε Ψηφιακές Επικοινωνίες

Προσαρμοστικά φίλτρα για την ισοστάθμιση καναλιού (III)



■ Στη περίπτωση της μη ύπαρξης του σήματος $d(n)$ αυτό εκτιμάται από το σήμα $y(n)$ με κβαντισμό του με βάση τις υπάρχουσες στάθμες (στο συγκεκριμένο παράδειγμα οι στάθμες είναι 1, -1)

$$d(n) = \text{sign}(y(n)) = [1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1]$$

Η ανωτέρω μεθοδολογία είναι αποτελεσματική όταν δεν υπάρχουν σημαντικά σφάλματα μετάδοσης (έχει προηγηθεί περίοδος εκπαίδευσης)

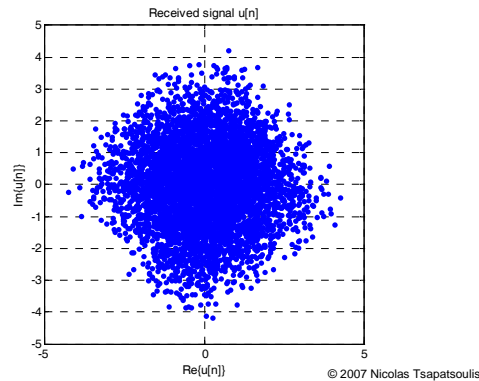
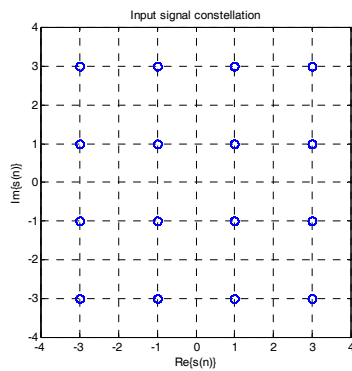
© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ☑ Εισαγωγή
- ☑ Δημιουργία Ηχούς
- ☑ Καταστολή Ηχούς
- ★ Ισοστάθμιση Διαύλου σε Ψηφιακές Επικοινωνίες

Παράδειγμα



- Έστω ότι έχουμε ψηφιακή μετάδοση βασικής ζώνης με διαμόρφωση 16QAM
 - Οι διάφορες στάθμες φαίνονται στο σχήμα αριστερά. Στα δεξιά έχουμε τη λήψη 5000 συμβόλων στο δέκτη χωρίς αντιστάθμιση καναλιού (Ποσοστό συμβόλων που μεταδόθηκαν εσφαλμένα 93.46%):



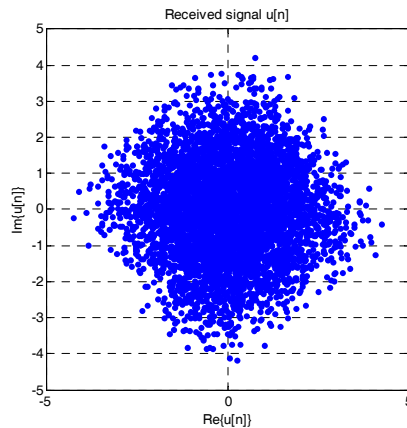
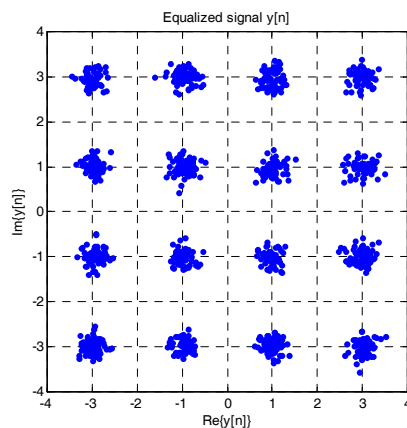
© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ☑ Εισαγωγή
- ☑ Δημιουργία Ηχούς
- ☑ Καταστολή Ηχούς
- ★ Ισοστάθμιση Διαύλου σε Ψηφιακές Επικοινωνίες

Παράδειγμα (συν.)



- Στο σχήμα αριστερά έχουμε τις τιμές 2000 συμβόλων μετά από την ισοστάθμιση καναλιού και κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης



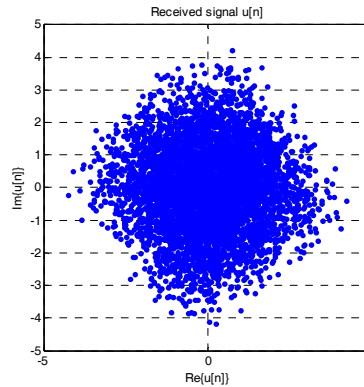
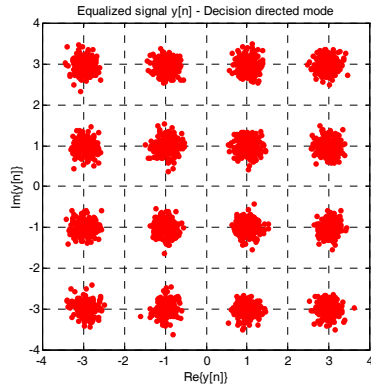
© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ☑ Εισαγωγή
- ☑ Δημιουργία Ηχούς
- ☑ Καταστολή Ηχούς
- ★ Ισοστάθμιση Διαύλου σε Ψηφιακές Επικοινωνίες

Παράδειγμα (συν.)



- Στο σχήμα αριστερά έχουμε τις τιμές 3000 συμβόλων σε κανονική λειτουργία (έχει προηγηθεί η διαδικασία της εκπαίδευσης) και με εκτίμηση της επιθυμητής εξόδου από το σήμα $y(n)$.
 - Ποσοστό σφαλμάτων κατά τη μετάδοση 0%



© 2007 Nicolas Tsapatsoulis