

Τμήμα
Μηχανικών
Πληροφορικής τ.ε.

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα
Δυτικής Ελλάδας

Θεωρία Πληροφορίας

Διάλεξη 12:Κωδικοποίηση Καναλιού με Κώδικες Turbo

Δρ. Μιχάλης Παρασκευάς
Επίκουρος Καθηγητής

Ατζέντα

1. Κώδικες turbo

Κώδικες Turbo

- Η ιδέα για τους κώδικες turbo διατυπώθηκε για πρώτη φορά το 1993 από τον C. Berrou.
- Σήμερα, οι κώδικες Turbo θεωρούνται οι περισσότερο αποδοτικοί κώδικες FEC.
- Οι Turbo κώδικες είναι σχήματα που χρησιμοποιούν και συνδυάζουν γνωστούς κώδικες όπως συνελκτικούς ή block.
- Η απόδοση των Turbo κωδικών είναι κοντά στο όριο του Shannon Limit.
- Οι Turbo κώδικες συνήθως χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές χαμηλής ισχύος όπως δορυφορικές επικοινωνίες.

Κώδικες Turbo Χαρακτηριστικά

- Παράλληλη διαδοχική κωδικοποίηση
- Αναδρομικοί συνελκτικοί κωδικοποιητές
- Ψευδο-τυχαία διεμπλοκή
- Επαναληπτική αποκωδικοποίηση

Κώδικες Turbo Κίνητρο

- Η απόδοση των κωδίκων Turbo
- Σύγκριση
 - Ρυθμός $\frac{1}{2}$
 - $K=5$ κώδικας turbo
 - $K=14$ συνελκτικός κώδικας

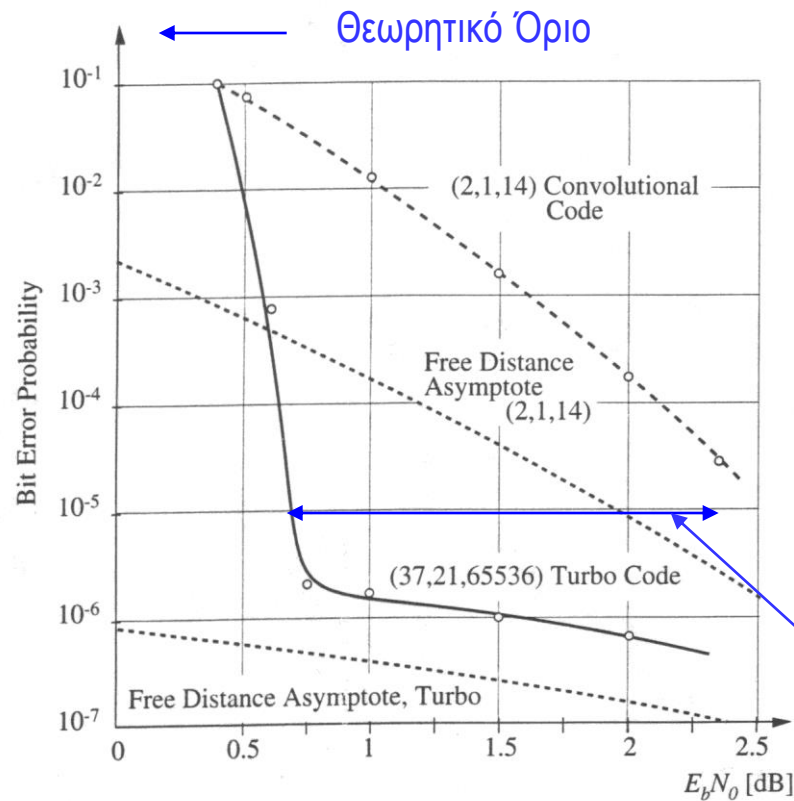


Figure 8.1 Simulated performance of the original Turbo code and the code's free-distance asymptote and the simulated performance of the (2, 1, 14) MFD convolutional code.

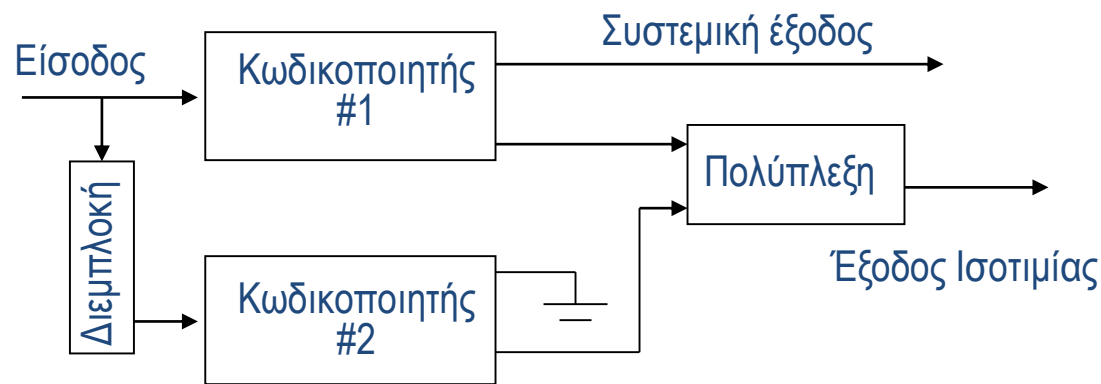
Κέρδος σχεδόν 2 dB!

Διαδοχική Κωδικοποίηση

- Ένας «μονος» κώδικας διόρθωσης λαθών δεν παρέχει πάντα αρκετή προστασία ενάντια στα λάθη (με συγκεκριμένη πολυπλοκότητα)
- Λύση: Χρήση δύο (ή περισσότερων) διαδοχικών κωδίκων
- Σειριακή Διαδοχή κωδίκων = Forney, 1966

Παράλληλοι διαδοχικοί κώδικες

- Αντί για διαδοχικούς κώδικες σε σειρά, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διαδοχικούς κώδικες παράλληλα.
- Ένας πρωτότυπος turbo κώδικας αποτελείται από την διαδοχή δύο αναδρομικών συστημικών συνελικτικών κωδίκων (*recursive systematic convolutional (RSC)*)
 - συστημικός: μία από τις εξόδους αποτελεί την είσοδο.

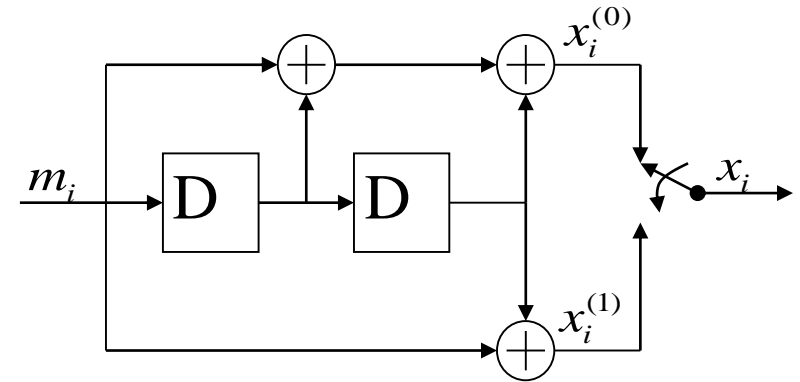


Ψευδο-τυχαία διεμπλοκή

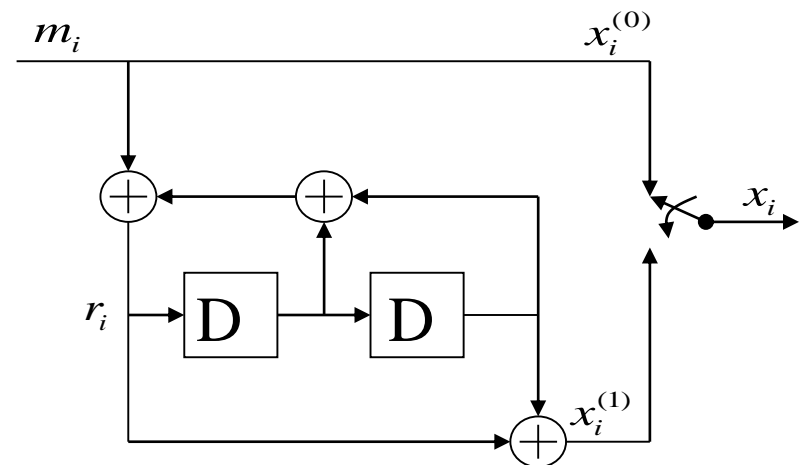
- Το δίλημμα κωδικοποίησης
 - Ο Shannon απέδειξε πως τυχαίοι κώδικες μεγάλου μήκους block επιτυγχάνουν την χωρητικότητα του καναλιού
 - Ωστόσο, οι κώδικες θα πρέπει να έχουν τέτοια δομή έτσι ώστε να επιτρέπεται η αποκωδικοποίηση με λογική πολυπλοκότητα
 - Οι δομημένοι κώδικες δεν έχουν τόσο καλή απόδοση όσο οι τυχαίοι κώδικες
- Λύση
 - Κάνε τον κώδικα να μοιάζει τυχαίος, αλλά διατήρησε αρκετή «δομή» για να επιτρέπεται η αποκωδικοποίηση
 - **Αυτός είναι ο στόχος της ψευδοτυχαίας διεμπλοκής**
 - Οι κώδικες turbo διαθέτουν ψευδοτυχαίες ιδιότητες
 - Αφού το σχήμα διεμπλοκής είναι γνωστό, η αποκωδικοποίηση είναι δυνατή

Αναδρομική Συστημική Συνελικτική Κωδικοποίηση

- Ένας RSC κωδικοποιητής μπορεί να κατασκευαστεί από έναν απλό συνελικτικό κωδικοποιητή επανατροφοδοτώντας μία από τις εξόδους
- Ένας RSC κωδικοποιητής έχει άπειρη παλμική απόκριση
- Μια αυθαίρετη είσοδος θα προκαλέσει μια «καλή» (μεγάλο βάρος) εξόδο με υψηλή πιθανότητα
- Μερικές εισοδοί θα προκαλέσουν «κακές» (χαμηλό βάρος) εξόδους.



Μήκος Περιορισμού $K=3$

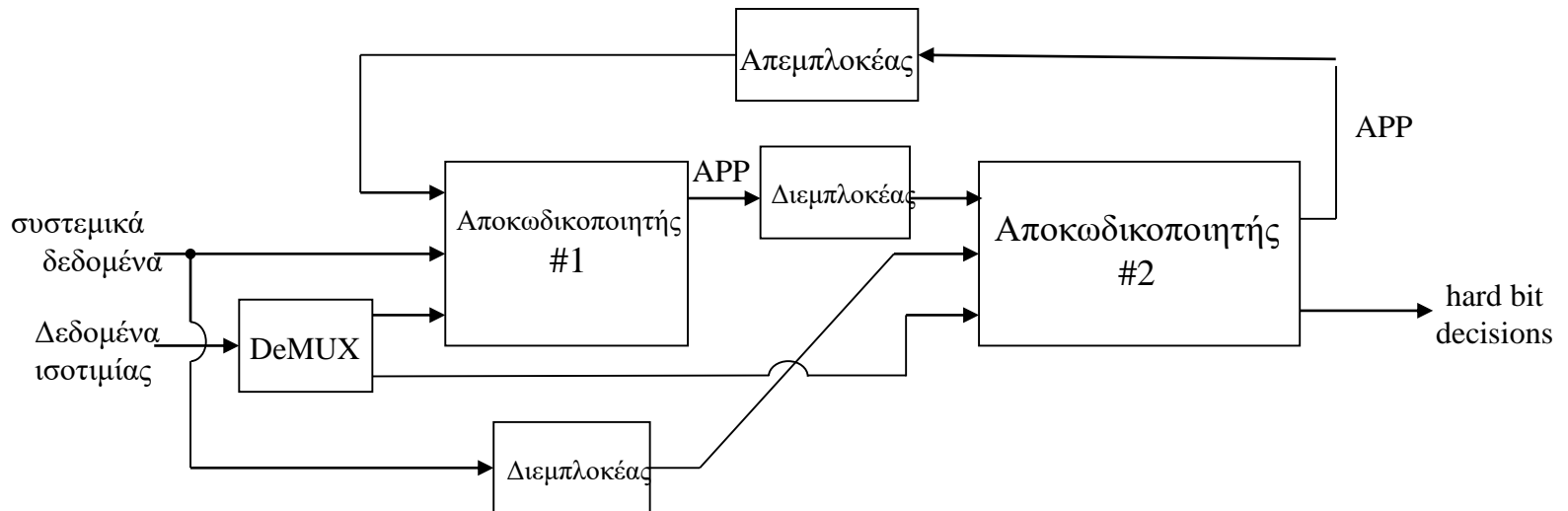


Γιατί διεμπλοκή και αναδρομική κωδικοποίηση;

- Σε κωδικοποιημένα συστήματα:
 - Οι επιδόσεις κυριαρχούνται από κωδικές λέξεις χαμηλού βάρους
- Ένας "καλός" κώδικας:
 - θα παράγει εξόδους χαμηλού βάρους με πολύ μικρή πιθανότητα
- Ένας RSC κώδικας:
 - Παράγει έξοδους χαμηλού βάρους με αρκετά χαμηλή πιθανότητα
 - Ωστόσο, ορισμένες είσοδοι ενδέχεται να παράγουν εξόδους χαμηλού βάρους.
- Λόγω του διεμπλοκέα:
 - Η πιθανότητα ότι και οι δύο κωδικοποιητές έχουν εισόδους που προκαλούν εξόδους χαμηλού βάρους είναι πολύ χαμηλή
 - Ως εκ τούτου, η παράλληλη παράθεση των δύο κωδικοποιητών θα παράγει έναν "καλό" κώδικα

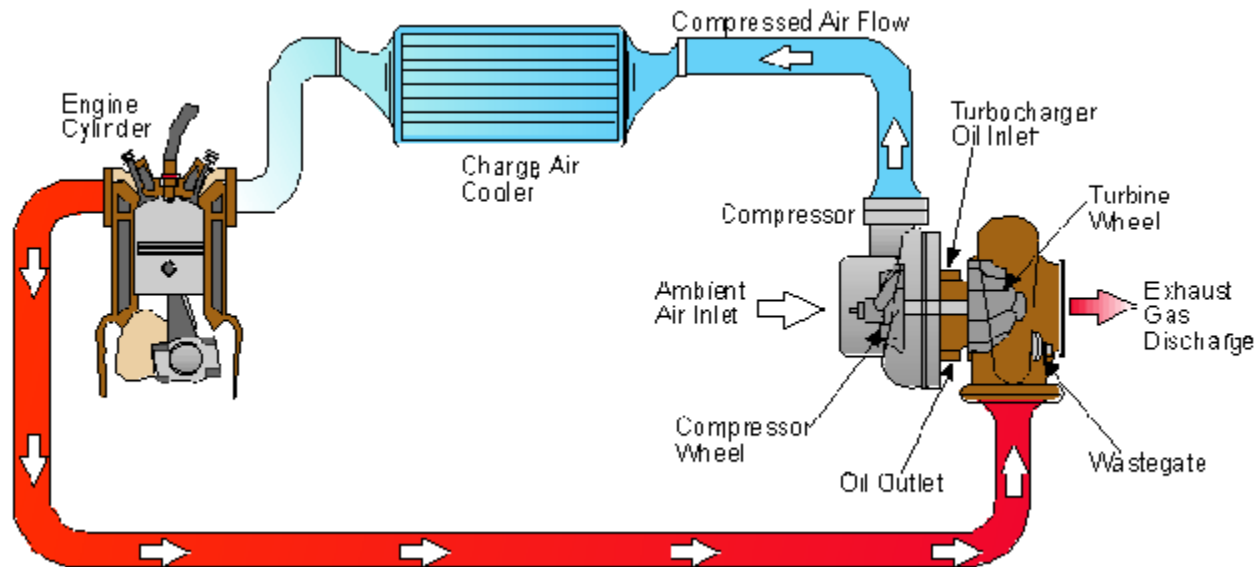
Επαναληπτική αποκωδικοποίηση

- Υπάρχει ένας αποκωδικοποιητής για κάθε στοιχειώδες κωδικοποιητή
- Κάθε αποκωδικοποιητής εκτιμά την πιθανότητα εκ των υστέρων (*a posteriori probability* - APP) για κάθε bit δεδομένων.
- Οι πιθανότητες APP χρησιμοποιούνται ως priori πληροφορίες από τον άλλο αποκωδικοποιητή
- Αποκωδικοποίηση συνεχίζεται για ένα προκαθορισμένο αριθμό επαναλήψεων
 - Η επίδοση γενικά βελτιώνεται από επανάληψη σε επανάληψη, αλλά ακολουθεί ένα νόμο φθίνουσας απόδοσης



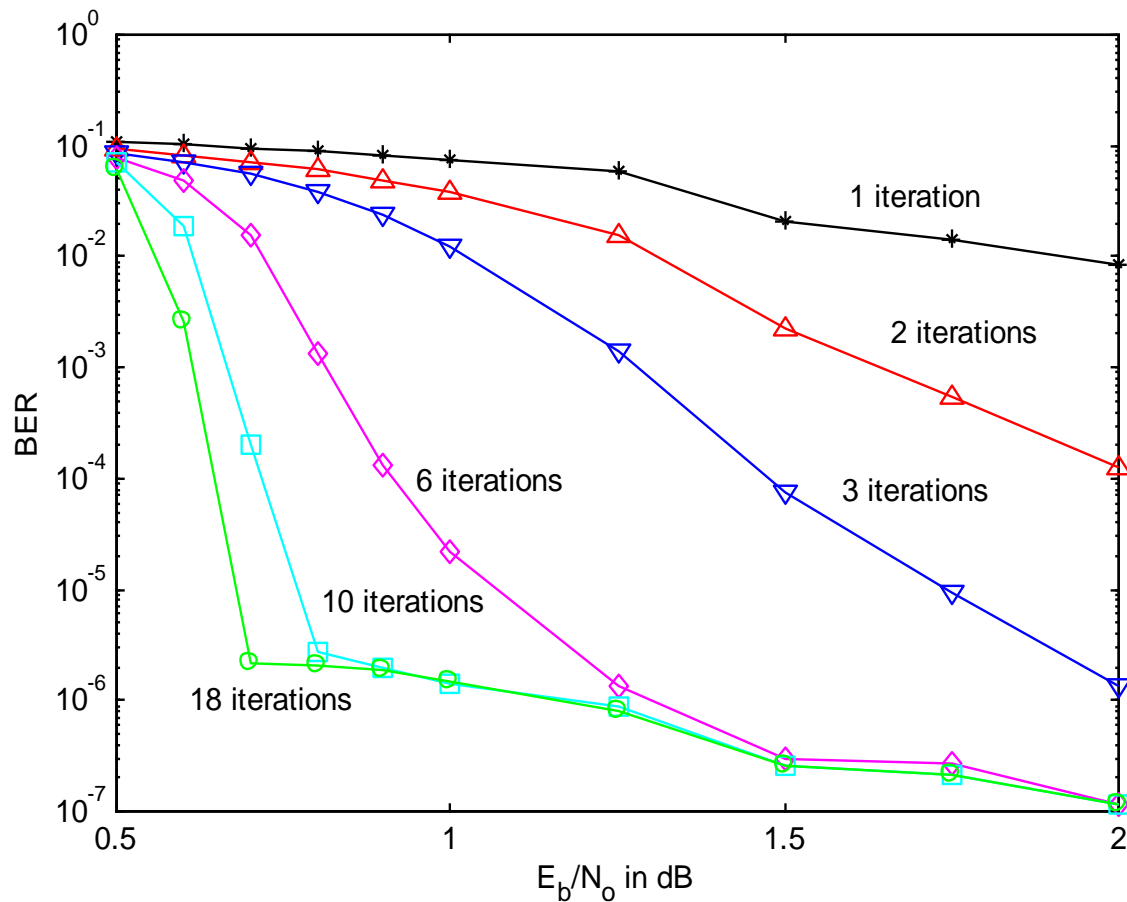
Η αρχή λειτουργίας των turbo κωδίκων

- Οι κώδικες Turbo έχουν πάρει το όνομά τους από το γεγονός πως ο αποκωδικοποιητής χρησιμοποιεί ανάδραση, όπως ένας turbo κινητήρα.



Απόδοση ως συνάρτηση του πλήθους επαναλήψεων

- $K=5, r=1/2, L=65,536$

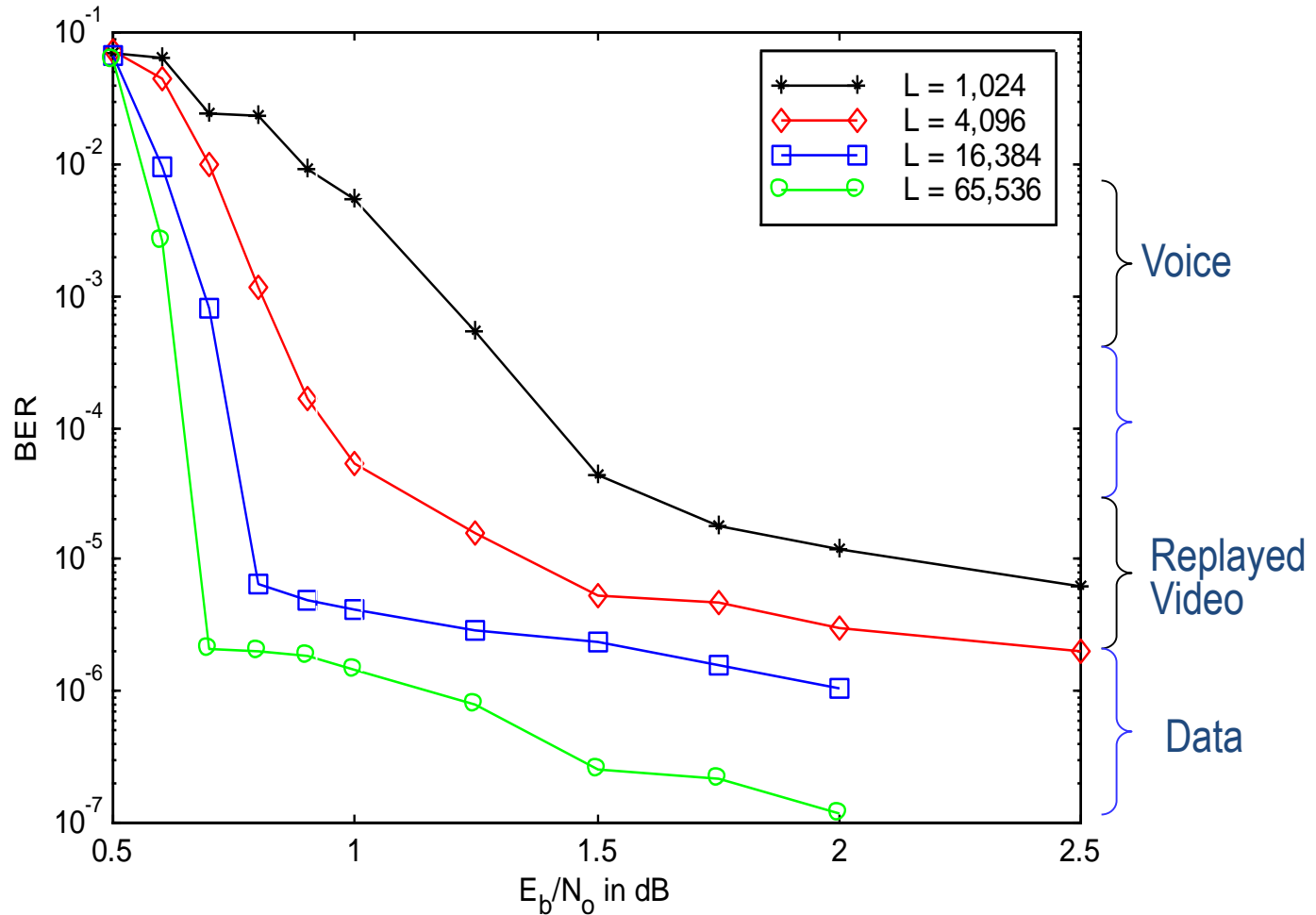


Μετρικά απόδοσης και Tradeoffs

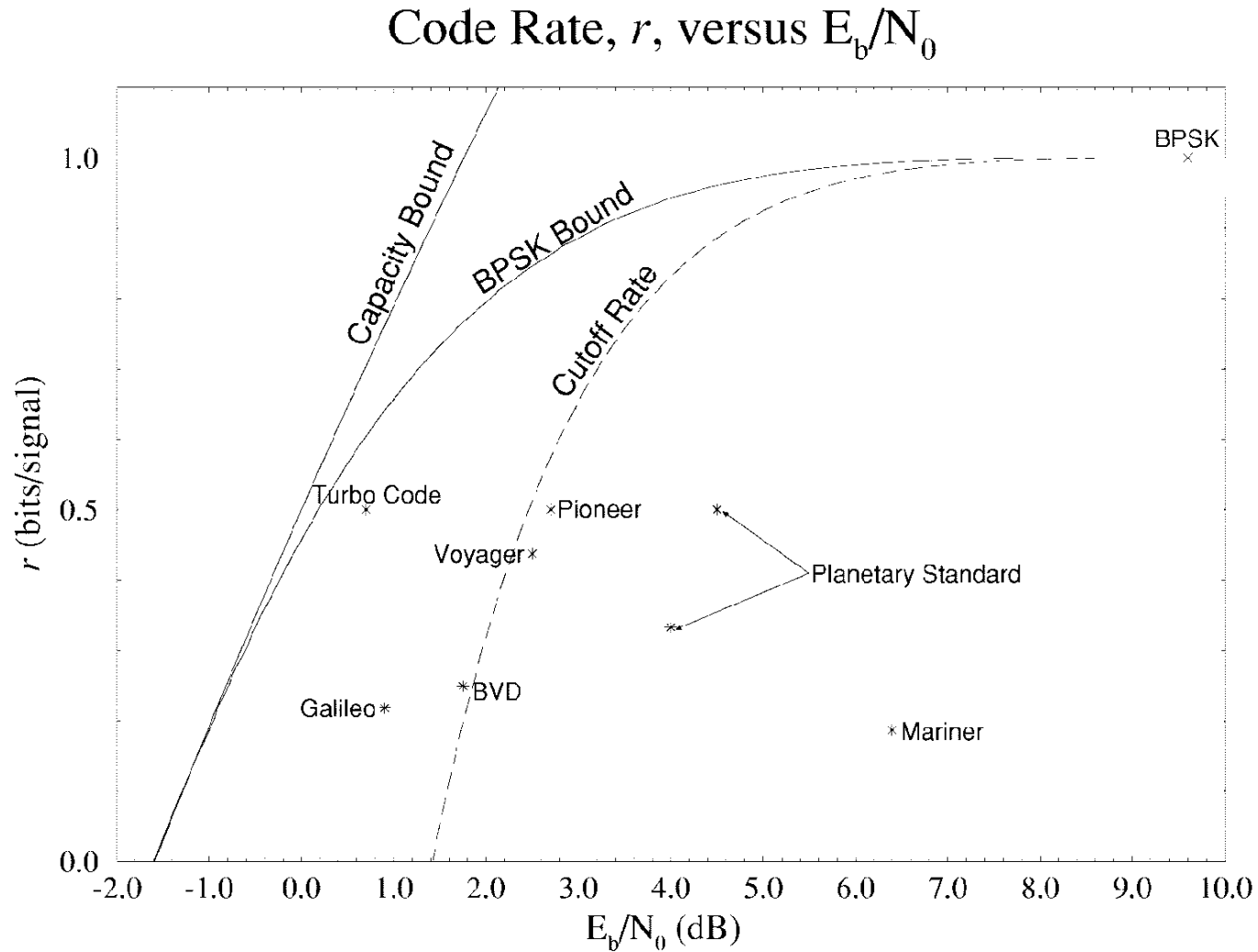
- Πολυπλοκότητα vs. απόδοσης
 - αλγόριθμος αποκωδικοποίησης
 - αριθμός επαναλήψεων
 - μήκους περιορισμού κωδικοποιητή
- Καθυστέρηση vs. απόδοση
 - μέγεθος πλαισίου
- Φασματική απόδοση vs. επιδόσης
 - Συνολικός ρυθμός κώδικα
- Άλλοι παράγοντες
 - σχεδίαση διεμπλεκέα
 - Τερματισμός Trellis

Επίδραση του μεγέθους του διεμπλοκέα

- $K=5$
- Ρυθμός $r = 1/2$.
- 18 επαναλήψεις.
- Κανάλι AWGN



Επίδοση ισχύος υπαρχόντων προτύπων

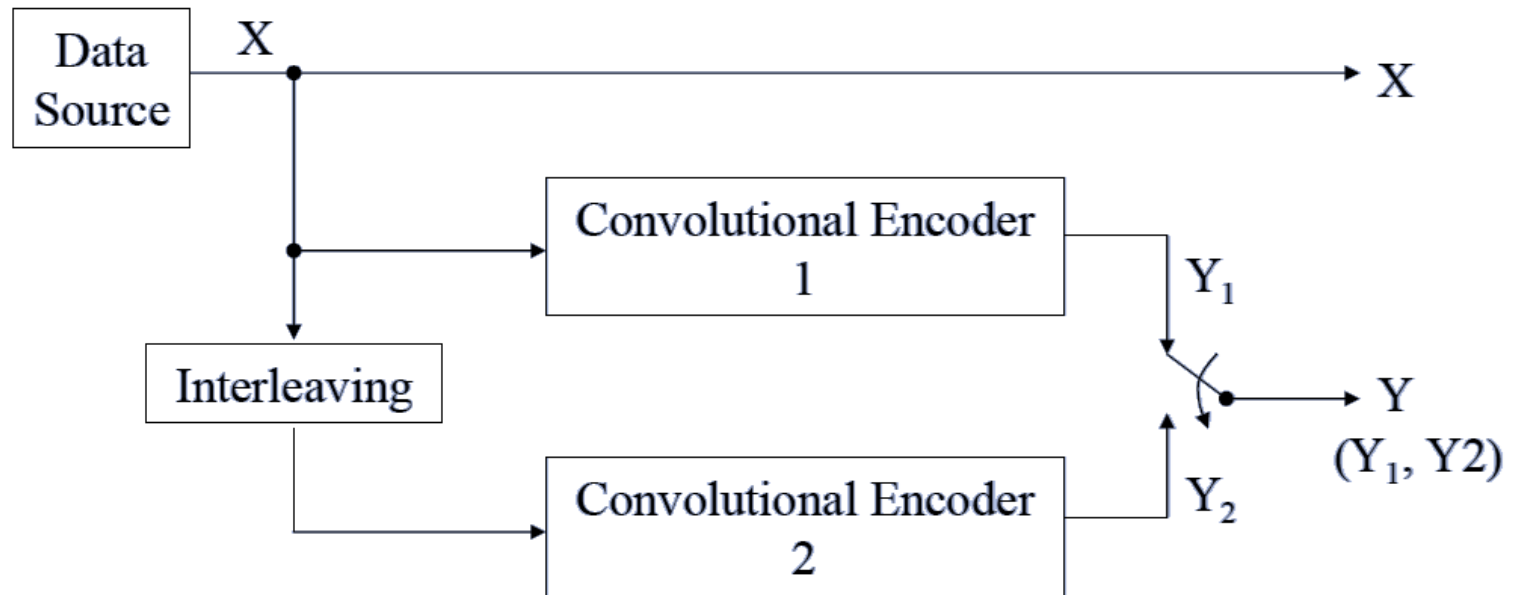


Κώδικες Turbo

Σύνοψη

- Πλεονεκτήματα κωδίκων Turbo
 - Αξιοσημείωτη απόδοση ισχύος σε AWGN και flat-fading κανάλια για μετρίως χαμηλό BER.
 - Κατάλληλοι για την παροχή υπηρεσιών πολυμέσων.
- Μειονεκτήματα κωδίκων Turbo:
 - Μεγάλη καθυστέρηση
 - Κακή απόδοση σε πολύ χαμηλό BER.
 - Επειδή οι κώδικες turbo λειτουργούν σε πολύ χαμηλό SNR, η εκτίμηση καναλιού και η παρακολούθηση είναι ένα κρίσιμο ζήτημα.
- Η αρχή της επαναληπτικής λειτουργίας (ή "Turbo" λειτουργίας) μπορεί να εφαρμοστεί και σε άλλα προβλήματα
 - Η ανίχνευση Turbo πολλών χρηστών μπορεί να βελτιώσει την απόδοση των κωδικοποιημένων συστημάτων πολλαπλής πρόσβασης.

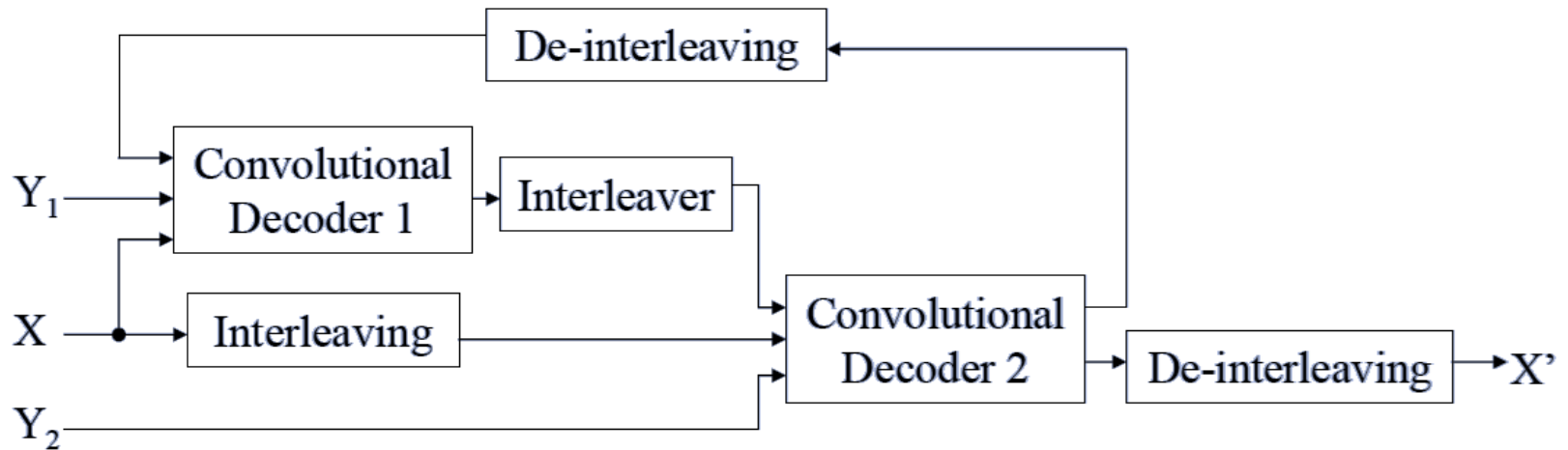
Κωδικοποιητής Turbo



X: Information

Y_i : Redundancy Information

Αποκωδικοποιητής Turbo



X' : Decoded Information