



Κυκλικοί κώδικες – Cyclic Redundancy Check (CRC)

Η προγραμματιστική εργασία υλοποιήθηκε στη γλώσσα προγραμματισμού **Python**. Ο κώδικας υλοποιεί τον αλγόριθμο ανίχνευσης λαθών **CRC**.

A) Παραδείγματα λειτουργίας του προγράμματος και σύντομη περιγραφή των σημαντικότερων σημείων στο κώδικα

Κατά την εκτέλεση του προγράμματος, το πρόγραμμα ζητάει από τον χρήστη

- τον αριθμό των δυαδικών μηνυμάτων που θέλει να στείλει (**numOfMessages**)
- το μήκος (**k**) του κάθε μηνύματος
- τον αριθμό **P** με τον οποίο θα διαιρεθούν οι ακολουθίες που θα σταλούν και
- το Bit Error Rate (**BER**) που καθορίζει το «αλλοιωμένο» μήνυμα που θα φτάσει στον αποδέκτη

Κατά την εισαγωγή των δεδομένων, θεωρούμε πως ο χρήστης θα εισάγει δεδομένα εντός των επιτρεπτών τιμών.

1. Αν ο χρήστης ζητήσει από το πρόγραμμα να στείλει **ένα** τυχαίο δυαδικό μήνυμα (και όχι πολλαπλά) τότε το πρόγραμμα θα εμφανίσει

- την παραγόμενη δυαδική ακολουθία **D**
- την ακολουθία ελέγχου **FCS**
- την ακολουθία **T** που πρόκειται να σταλεί
- την ακολουθία **T_r** που θα φτάσει στον αποδέκτη και
- το **υπόλοιπο** που προκύπτει από την διαίρεση της **T_r** με τον **P**, το οποίο μας δείχνει αν εντοπίστηκε σφάλμα ή όχι

Για παράδειγμα, για τις εισόδους **numOfMessages=1**, **k=10**, **P=101011** και **BER=0.01**, το πρόγραμμα δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:

```
Enter number of random messages you want to send: 1
Enter number of bits (k): 10
Enter binary number (P): 101011
Enter bit error rate (BER): 0.01
Desired length random binary string is (D): 0110010100
FCS (F): 11110
Sent data (T):      011001010011110
Received data (Tr): 011001010011110

Remainder: 00000
No error found in received data
>>>
```

2. Αν ο χρήστης ζητήσει από το πρόγραμμα να στείλει **πολλαπλά** τυχαία δυαδικά μηνύματα (και όχι 1) τότε το πρόγραμμα θα εμφανίσει

- Τον αριθμό των μηνυμάτων που φθάνουν με σφάλμα (στο block δεδομένων ή στο CRC) στον αποδέκτη
- Τον αριθμό των μηνυμάτων που ανιχνεύονται ως εσφαλμένα από το CRC.
- Τον αριθμό των μηνυμάτων που φθάνουν με σφάλμα στο αποδέκτη και δεν ανιχνεύονται από το CRC

Και αντίστοιχα,

- Το ποσοστό των μηνυμάτων που φθάνουν με σφάλμα (στο block δεδομένων ή στο CRC) στον αποδέκτη.
- Το ποσοστό των μηνυμάτων που ανιχνεύονται ως εσφαλμένα από το CRC.
- Το ποσοστό των μηνυμάτων που φθάνουν με σφάλμα στο αποδέκτη και δεν ανιχνεύονται από το CRC

Για παράδειγμα, για τις εισόδους **numOfMessages=100**, **k=15**, **P=10011** και **BER=0.01**, το πρόγραμμα δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:

```
Enter number of random messages you want to send: 100
Enter number of bits (k): 15
Enter binary number (P): 10011
Enter bit error rate (BER): 0.01
Received incorrectly: 18
Detected: 18
Undetected: 0
Ποσοστό των μηνυμάτων που φθάνουν με σφάλμα στον αποδέκτη: 18.0 %
ποσοστό των μηνυμάτων που ανιχνεύονται ως εσφαλμένα από το CRC: 18.0 %
Το ποσοστό των μηνυμάτων που φθάνουν με σφάλμα στο αποδέκτη και δεν ανιχνεύονται από το CRC: 0.0 %
>>>
```

Όσον αφορά στον κώδικα, ο κώδικας περιλαμβάνει τις εξής συναρτήσεις:

- **random_message(n)**
η οποία επιστρέφει ένα string που παριστάνει μία δυαδική ακολουθία μήκους **n** bits με τυχαία '0' και '1'.
- **xor(a,b)**
η οποία δέχεται δύο strings **a** και **b**, που παριστάνουν δυαδικές ακολουθίες ίσου μήκους και επιστρέφει ένα string που παριστάνει την ακολουθία που προκύπτει αν εφαρμοστεί η πράξη **a XOR b**.
- **mod2div(dividend, divisor)**
η οποία δέχεται δύο strings **dividend** και **divisor**, που παριστάνουν δυαδικές ακολουθίες και εφαρμόζει modulo2 διαίρεση μεταξύ των δυαδικών αριθμών, επιστρέφοντας το υπόλοιπο αυτής της πράξης.
- **encodeData(data, p, printDetails)**
η οποία δέχεται την παράμετρο **data**, που παριστάνει τη δυαδική ακολουθία **D** και την παράμετρο **p**, που παριστάνει τον προκαθορισμένο δυαδικό αριθμό **P** και επιστρέφει ένα string που παριστάνει τη δυαδική ακολουθία που θα σταλεί, καλώντας τη συνάρτηση **mod2div**. Η παράμετρος **printDetails** προσδιορίζει αν η συνάρτηση θα εμφανίσει την ακολουθία **FCS** που προκύπτει.

- **receiveData(sentData, ber)**
δέχεται σαν παράμετρο το string **sentData**, που παριστάνει την ακολουθία προς αποστολή και επιστρέφει την «αλλοιωμένη» ακολουθία που θα φτάσει στον αποδέκτη βάσει του **BER**, το οποίο περνάει σαν παράμετρος και εκφράζει το Bit Error Rate.
- **decodeData(receivedData, p, printDetails)**
η οποία δέχεται σαν παράμετρο το string **receivedData**, που παριστάνει την ακολουθία που έφτασε στον αποδέκτη και επιστρέφει True αν βρέθηκε σφάλμα, κάνοντας έλεγχο του CRC στον αποδέκτη, διαφορετικά επιστρέφει False. Αν **printDetails** == True, εμφανίζει και το υπόλοιπο που προκύπτει από την διαίρεση της ακολουθίας, που έφτασε στον αποδέκτη, με το **P**.

B) Αποτελέσματα για k=20, P=110101 και BER=10⁻³

Για numOfMessages=100.000:

```
Enter number of random messages you want to send: 100000
Enter number of bits (k): 20
Enter binary number (P): 110101
Enter bit error rate (BER): 0.001
Received incorrectly: 2435
Detected: 2435
Undetected: 0
Ποσοστό των μηνυμάτων που φθάνουν με σφάλμα στον αποδέκτη: 2.435 %
ποσοστό των μηνυμάτων που ανιχνεύονται ως εσφαλμένα από το CRC: 2.435 %
Το ποσοστό των μηνυμάτων που φθάνουν με σφάλμα στο αποδέκτη και δεν ανιχνεύονται από το CRC: 0.0 %
>>>
```

Για numOfMessages=1.000.000:

```
Enter number of random messages you want to send: 1000000
Enter number of bits (k): 20
Enter binary number (P): 110101
Enter bit error rate (BER): 0.001
Received incorrectly: 24544
Detected: 24538
Undetected: 6
Ποσοστό των μηνυμάτων που φθάνουν με σφάλμα στον αποδέκτη: 2.4544 %
ποσοστό των μηνυμάτων που ανιχνεύονται ως εσφαλμένα από το CRC: 2.4538 %
Το ποσοστό των μηνυμάτων που φθάνουν με σφάλμα στο αποδέκτη και δεν ανιχνεύονται από το CRC: 0.0006 %
>>>
```

Για numOfMessages=10.000.000:

```
Enter number of random messages you want to send: 10000000
Enter number of bits (k): 20
Enter binary number (P): 110101
Enter bit error rate (BER): 0.001
Received incorrectly: 246527
Detected: 246422
Undetected: 105
Ποσοστό των μηνυμάτων που φθάνουν με σφάλμα στον αποδέκτη: 2.46527 %
ποσοστό των μηνυμάτων που ανιχνεύονται ως εσφαλμένα από το CRC: 2.46422 %
Το ποσοστό των μηνυμάτων που φθάνουν με σφάλμα στο αποδέκτη και δεν ανιχνεύονται από το CRC: 0.00105 %
>>>
```

Φαίνεται, λοιπόν, πως το ποσοστό των μηνυμάτων που φθάνουν με σφάλμα στον αποδέκτη για τα παραπάνω δεδομένα είναι περίπου το 2.45% των συνολικών μηνυμάτων. Παρατηρούμε, επίσης, πως τα εσφαλμένα μηνύματα εντοπίζονται σχεδόν όλα από το CRC, καθώς το να φθάσει μήνυμα με σφάλμα στο να αποδέκτη και να μην ανιχνευθεί από το CRC είναι αρκετά σπάνιο και εμφανίζεται μετά τα 1.000.000 μηνύματα.