



ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

**ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

ΘΕΜΑ: ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ CRC

ΚΩΔΙΚΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ

Κυκλικοί κώδικες (Cyclic Redundancy Check, CRC)

- Για κάθε μπλοκ δεδομένων των k bits, ο μεταδότης δημιουργεί μια ακολουθία των $n < k$ bits (Frame Check Sequence, FCS)
 - τέτοια ώστε η συνολική ακολουθία των $k+n$ bits που προκύπτει να διαιρείται ακριβώς με κάποιον προκαθορισμένο αριθμό P των $n+1$ bits.
- Όταν η ακολουθία των $k+n$ bits φθάσει στον αποδέκτη,
 - τότε η ορθότητά της ελέγχεται διαιρώντας την με τον προκαθορισμένο αριθμό P .
 - Αν από τη διαίρεση αυτή δεν προκύψει υπόλοιπο,
 - τότε το πακέτο γίνεται αποδεκτό.
 - Αν προκύψει υπόλοιπο, τότε συνάγεται ότι το πακέτο έχει αλλοιωθεί και ζητείται η επαναμετάδοσή του.

ΚΩΔΙΚΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ

- Αξίζει να σημειωθεί ότι για τον υπολογισμό του FCS καθώς και για την εξακρίβωση της ορθότητας του ληφθέντος πλαισίου χρησιμοποιείται προσθεση σε **αριθμητική modulo-2**.
 - Δηλαδή δυαδική αριθμητική στην οποία όμως δεν υπάρχουν κρατούμενα bits.
- Λόγοι χρησιμοποίησης αριθμητικής modulo-2
 - η απλότητα που χαρακτηρίζει την αριθμητική αυτή
 - η συνεπαγόμενη ευκολία στην υλοποίησή της.

ΚΩΔΙΚΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ

modulo-2 αριθμητική

- Δυαδική πρόσθεση χωρίς κρατούμενο
 - Ουσιαστικά η πράξη XOR

$$\begin{array}{r} 1111 \\ +1010 \\ \hline 0101 \end{array}$$

ΚΩΔΙΚΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ

Υπολογισμός CRC

○ Έστω

- M το προς μετάδοση μήνυμα των k bits,
- F η ακολουθία FCS (n bits),
- T η ακολουθία των $k+n$ bits που πρόκειται να μεταδοθεί
- P ο προκαθορισμένος αριθμός των $n+1$ bits
 - Θα πρέπει προφανώς πρώτο και τελευταίο bit του να είναι 1
- Η ακολουθία T μπορεί να γραφτεί ως: $T = 2^n M + F$.
 - Πριν μεταδοθεί η ακολουθία T πρέπει να υπολογιστεί ακολουθία ελέγχου F .

ΚΩΔΙΚΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ

Υπολογισμός CRC

- Για τον υπολογισμό του F χρησιμοποιείται ο παρακάτω αλγόριθμος:
 - Τοποθετούμε n μηδενικά στα δεξιά του M έτσι ώστε να προκύψει το $2^n M$
 - Διαιρούμε το $2^n M$ με τον P
 - Χρησιμοποιούμε ως F το υπόλοιπο της παραπάνω διαίρεσης

ΚΩΔΙΚΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ

Υπολογισμός CRC

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ FCS F ΣΤΟ ΜΕΤΑΔΟΤΗ
ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΟΡΘΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΝ ΑΠΟΔΕΚΤΗ

Έστω:

$M = 1010001101$ (10 bits)

$P = 110101$ (6 bits)

$F = R = ?$ (5 bits)

ΜΕΤΑΔΟΤΗΣ: ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ R

ΚΩΔΙΚΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ

The message is multiplied by 2^5 , yielding 101000110100000.

This product is divided by P :

$P \rightarrow$	1	1	0	1	0	1													$\leftarrow Q$				
							1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	$\leftarrow 2^{55} M_1$
							1	1	0	1	0	1	<div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> </div>										

- The remainder is added to $2^5 M$ to give $T = 101000110101110$, which is transmitted.
- If there are no errors, the receiver receives T intact. The received frame is divided by P :

$P \rightarrow$	1	1	0	1	0	1													$\leftarrow Q$			
							1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	$\leftarrow M$
							<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>										
								<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>									
									<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>								
										<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>0</u>							
											<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>							
												<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>						
													<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>						
														<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>					
															<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>				
																<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>			

Because there is no remainder, it is assumed that there have been no errors.

ΕΚΦΩΝΗΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

- Στα πλαίσια της εργασίας, καλείστε να υλοποιήσετε τον αλγόριθμο ανίχνευσης λαθών CRC.
- Κατασκευάστε ένα πρόγραμμα στη γλώσσα προγραμματισμού της επιλογής σας, το οποίο θα περιλαμβάνει τις εξής λειτουργίες:
 - Δημιουργία τυχαία επιλεγμένων δυαδικών μηνυμάτων τών k bits, στο μεταδότη.
 - Υπολογισμός του CRC που αντιστοιχεί σε κάθε αριθμό. Ως πρότυπο για τον υπολογισμό του CRC θα χρησιμοποιηθεί ένας δυαδικός αριθμός P που θα δίνει ο χρήστης.
 - Μετάδοση του μηνύματος και του CRC μέσω ενός ενόρυβου καναλιού με Bit Error Rate E και παραλαβή του «αλλοιωμένου» μηνύματος στον αποδέκτη.
 - Έλεγχος του CRC στον αποδέκτη.

ΕΚΦΩΝΗΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

- Παραδοτέα: Αναφορά η οποία θα περιλαμβάνει:
 - α) Το πρόγραμμα που κατασκευάσατε, παραδειγματα λειτουργίας του και σύντομη περιγραφή των σημαντικότερων σημειών στο κωδικό σας.
 - β) Αν $k=10$, $P=110101$ και $E=10^{-3}$, να υπολογίσετε:
 - Το ποσοστό των μηνυμάτων που φθάνουν με σφάλμα 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.

