1.5 Técnicas de comunicaciones de datos

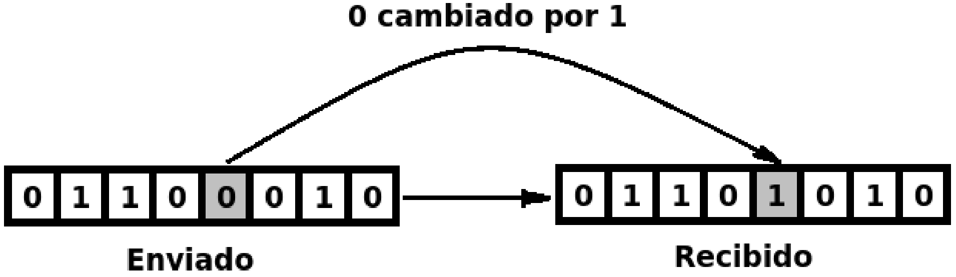
1.5.1 Control de errores

1.5.1.1 Detección y retransmisión (ARQ)

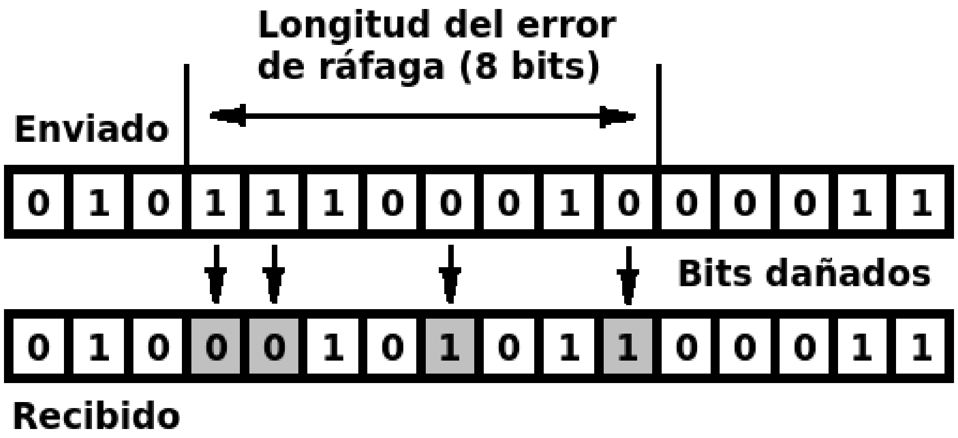
1.5.1.2 Corrección directa (FEC)

Control de Errores

Errores de bit



Errores de ráfagas



Control de Errores
Distancia de Hamming

d(v1, v2) de dos secuencias binarias v1 y v2 de **r** bits consiste en un valor numérico que indica el número de bits en los que v1 y v2 no coinciden

Para cada código válido se calcula la *distancia de Hamming* con todos los demás, y de entre ellas se obtiene la *mínima distancia de Hamming*, d_{min}. Esta distancia permite garantizar que, en una transmisión errónea:

- **Mínima distancia de Hamming**
  - » **se pueden detectar hasta *t* errores, siendo** $t = d_{min}-1$
  - » **se pueden corregir hasta *t* errores, siempre que** $d_{min} \geq 2t+1$

Control de Errores

Métodos

ARQ (*Automatic Repeat Request*)

- Sólo detectan errores de transmisión (bits cambiados)
- Requieren menos información adicional o redundancia
  - » *Códigos de paridad*
  - » *Polinómicos o CRC (Cyclic Redundancy Check)*
- Utilización en los protocolos de comunicaciones (TCP)

FEC (*Forward Error Correction*)

- Detectan y corrigen errores de transmisión (bits cambiados)
- Requieren mucha información adicional o redundancia
- Utilización en redes móviles (GSM, 3G)

Control de Errores

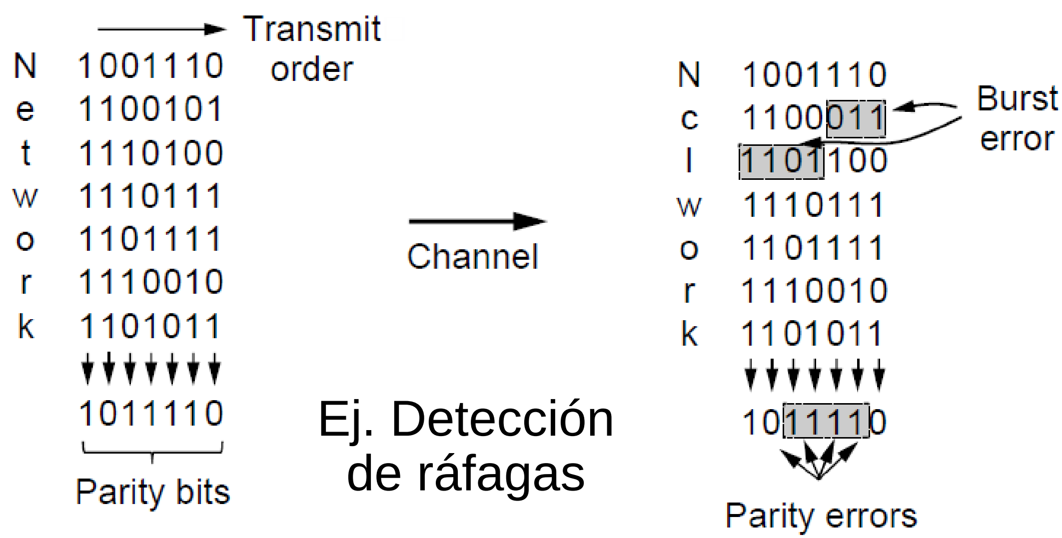
ARQ-Detección de Errores

- La protección de errores consiste en la adición de redundancia a los mensajes para detectar errores y la recuperación se realiza mediante retransmisión
- Técnicas de detección de errores:
    - **Comprobación de la paridad**
    - **Comprobación de redundancia cíclica (CRC)**

Control de Errores
Comprobación de la Paridad

- Añadir un bit de paridad al final del bloque de datos
  - Paridad impar: El valor del bit añadido se determina de modo que el número total de 1´s sea impar
  - Paridad par: El valor del bit añadido se determina de modo que el número total de 1´s sea par

- <u>Errores detectados</u>:
  - Número impar de errores



Ej. Detección de ráfagas

[TANE11]

Control de Errores
Códigos de Redundancia Cíclica (CRC)

- Dado un mensaje de *m* bits, el emisor genera una secuencia de *r* bits (SVT)
- La trama resultante (*m*+*r* bits) será divisible por algún número determinado
- El receptor divide la trama por ese número y si no hay resto, se supone que no hay errores
- Códigos polinómicos:
  - Representa las ristras de bits como polinomios con coeficientes binarios
  - Las operaciones se realizan en módulo 2 (XOR)

Control de Errores
CRC

- Sea:
  - M(x): mensaje original (*m* bits)
  - G(x): polinomio generador de grado r (*r+1* bits)
  - T(x): mensaje a transmitir (*m+r* bits)
- En emisión:

$$T(x) = M(x) \cdot x^r + R(x)$$ siendo $$R(x) = \mathrm{mod}\left(\frac{M(x) \cdot x^r}{G(x)}\right)$$

- En recepción:

$$R'(x) = \mathrm{mod}\left(\frac{T(x)}{G(x)}\right)$$

Si R'(x) = 0, no hay errores

Si R'(x) $\neq$ 0, hay errores

Control de Errores
CRC

- Errores detectados:
  - Errores de un único bit
  - Errores dobles, siempre que G(x) tenga al menos tres 1´s
  - Número impar de errores, siempre que G(x) tenga el factor (x+1)
  - Ráfagas de errores de longitud menor que la longitud de G(x)
  - La mayoría de las ráfagas de longitud mayor
- Polinomios generadores frecuentes:
  - CRC-12: $x^{12}+ x^{11}+ x^3+ x^2+ x + 1$
  - CRC-16: $x^{16}+ x^{15}+ x^2+ 1$
  - CRC-CCITT: $x^{16}+ x^{12}+ x^5+ 1$
  - CRC-32: $x^{32}+ x^{26}+ x^{23}+ x^{22}+ x^{16}+ x^{12}+ x^{11}+ x^{10}+ x^8+ x^7+ x^5+ x^4+ x^2+ x+1$

Calcular la probabilidad de detectar una ráfaga de longitud 17 bits

Control de Errores CRC

$M(X) = X^6 + X^3 + 1$ $G(X) = X^3 + X + 1$

```
 1001001000 | 1011
 1011       |-----------
 ----       | 1010110
 0010000
   1011
   ----
   0011110
     1011
     ----
     01010
      1011
      ----
      00010 =R(X)
```

M(X)=1001001

$M(X)*X^3$=1001001000

T(X) =1001001010

REDES DE
COMPUTADORES

Control de Errores
CRC

```
1001 00 10 1 0   | 1011
 1011            |---------
-----------        1010110
 001000
   1011
-----------
   001110
     1011
-----------
     01011
       1011
-----------
       000 00  =R'(X) ⟶ CORRECTO!!!
```

Control de Errores
CRC

100100 00 10 | 1011
1011 | 1010110
001000
1011
001100
1011
01111
1011
01000

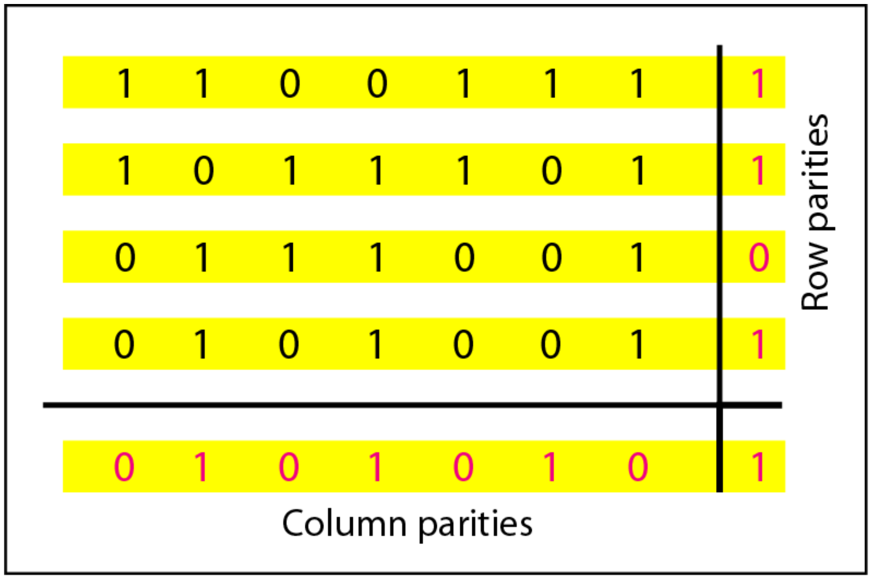
ERROR!!!

Control de Errores
FEC-Correción de Errores

- La protección de errores consiste en la adición de redundancia a los mensajes para detectar y corregir errores
- Técnicas de corrección de errores:
  - **Códigos de la paridad**
  - **Códigos de Hamming**

Control de Errores
FEC (*Forward Error Correction*)

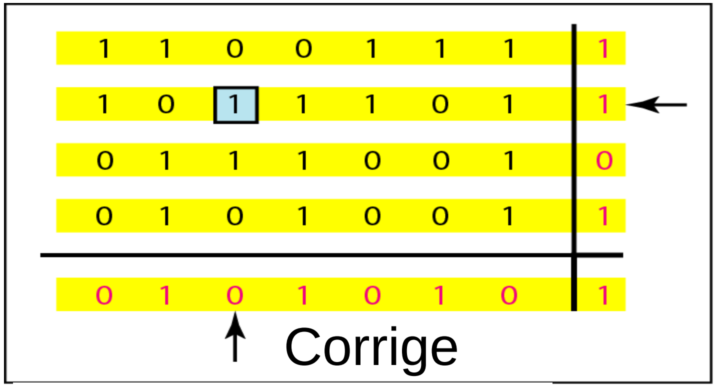
- **Códigos de Doble paridad**



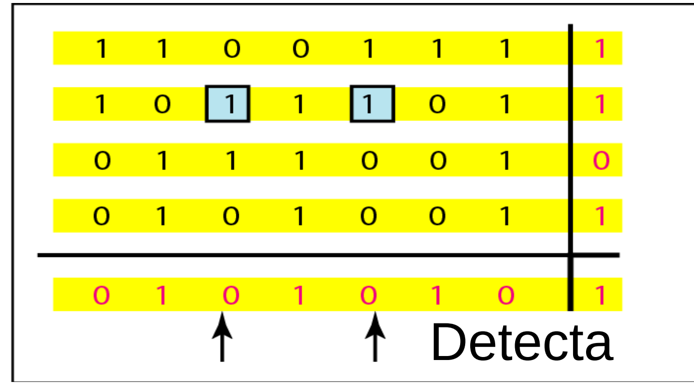
a. Design of row and column parities

[Forouzan13]

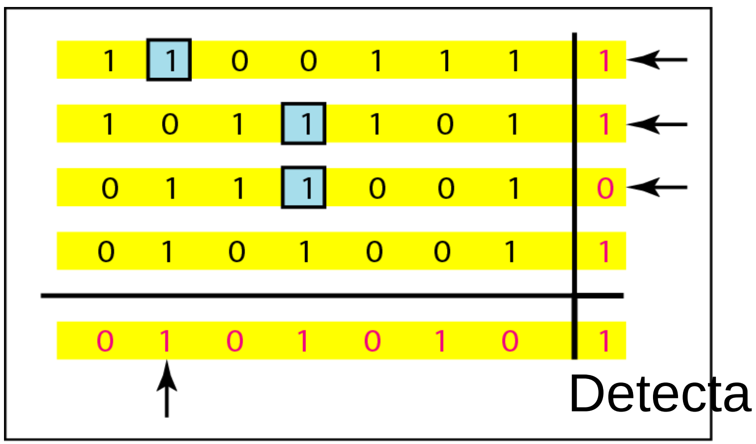
FEC (*Forward Error Correction*) Doble paridad



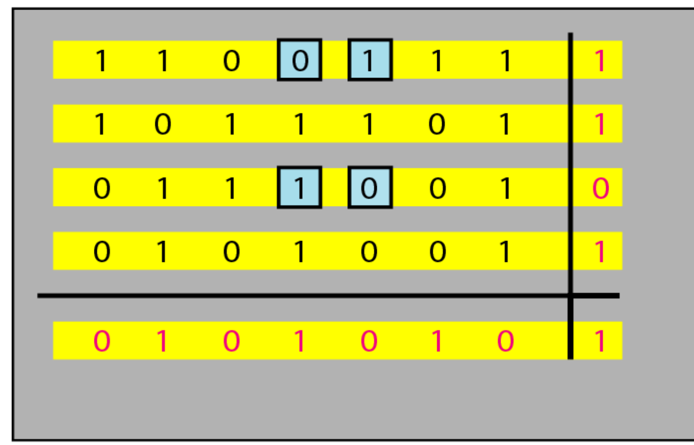
Corrige errores simples



Detecta errores dobles



Detecta errores triples



Ni detecta, ni corrige

[Forouzan13]

Control de Errores
FEC (*Forward Error Correction*)

Códigos de Hamming

Detectan y corrigen errores de transmisión (bits cambiados)

Requieren mucha información adicional o redundancia

» **se pueden detectar hasta t errores, siendo $t = d_{min}-1$**

» **se pueden corregir hasta t errores, siempre que $d_{min} \geq 2t+1$**

Palabra	Código
000	000111
001	001100
010	010001
011	011010
100	100010
101	101001
110	110100
111	111111

d (mínima) = 3

Detecta hasta dos bits erróneos

Corrige 1

Control de Errores

FEC (*Forward Error Correction*)

Códigos de Hamming

$$m + r + 1 <= 2^r$$

- Los bits cuya posición es potencia de dos se utilizan como bits de paridad
- Los bits del resto de posiciones son utilizados como bits de datos

r1 r2 m1 r3 m2 m3 m4 r4………

La posición 1, comprobaría los bits 1, 3, 5, 7 ……

La posición 2, comprobaría los bits 2, 3, 6, 7 ……

La posición 4, comprobaría los bits 4, 5, 6, 7 ……

Test

Indique, ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta?

a) Los códigos cíclicos de comprobación de errores, corrigen todos los errores dobles (afectan a dos bits) con independencia del polinomio generador empleado

b) Las comprobaciones de errores mediante paridad par, permiten corregir todos los errores triples.

c) Los códigos cíclicos de comprobación de errores, detectan todos los errores simples (afecten a un único bit)

d) Los códigos cíclicos de comprobación de errores, corrigen todos los errores simples (afecten a un único bit)

Test

Un código cuya distancia Hamming es 3 permite…..

a) corregir errores dobles

b) corregir ráfagas de longitud 3

c) detectar ráfagas de longitud 3

d) Permite corregir errores simples

La técnica de corrección de errores de transmisión más adecuada para transmisión de voz en el acceso radio de las redes móviles es:

a) FEC (Forward Error Control)

b) El empleo de bits de paridad y retransmisión

c) El empleo de códigos cíclicos de 2 bytes

d) El empleo de códigos cíclicos de 4 bytes