جامعة المنارة

كلية الهندسة

قسم المعلوماتية

Information theory

نظرية المعلومات

مدرسة المقرر

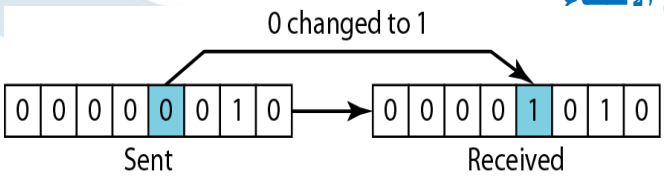
د.بشرى علي معلا

مفردات المحاضرة

- أنواع الأخطاء
- الحاجة إلى ترميز القناة
- ترميز القناة
- الترميزات على شكل بلوكات

MU-EPP-FM-005 Issue date 17November2025 issue no:1 https://manara.edu.sy

أنواع الأخطاء



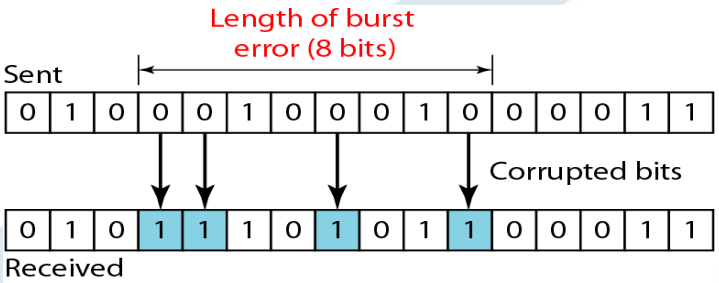
١ - خطأ في بت واحد(single-bit error):

يحدث التغيير في بت واحد فقط.

٢ - خطأ المفاجئ(burst error):

يحدث التغيير في بتين أو أكثر

وقد يحدث في مواقع متتالية أو بشكل عشوائي



٣-خطأ ممحي (erasure error) :

عندما يكون موقع الخطأ معروف ولكن قيمته غير معروفة

مثال : 1011?0011001?00001001

الحاجة إلى ترميز القناة

- نتيجة الضجيج وضعف نظام الإرسال تحدث أخطاء في الاستقبال
- إن أنظمة ترميز القناة تهدف إلى تحويل القناة ذات الضجيج إلى قناة موثوقة دون أخطاء
- أي هي أية خوارزمية تؤمن الاستقبال السليم للبيانات وتساعد في تصحيح الأخطاء الممكن حدوثها يتم ذلك عن طريق إضافة بتات.
- تختلف مرمزات القناة من حيث كشف الأخطاء وإمكانية تصحيحها تبعاً لعدد البتات المضافة للمعلومات
- لكن يجب دائماً تحقيق التوازن بين عدد البتات المضافة وعرض حزمة البيانات

✓ **ترميزات كشف/تصحيح الأخطاء:** هي عبارة عن المعلومات المرمزة بطريقة ما تسمح باكتشاف / تصحيح الأخطاء.

ترميز القناة

➢ تقسم ترامیز القناة إلى:

١- ترامیز كشف الأخطاء

٢- ترامیز تصحیح الأخطاء

كشف و تصحيح الأخطاء

➢ إن طريقة كشف و تصحيح الخطأ تختلف حسب خواص نظام الاتصال و نوع التطبيق.

❖ Forward error control (FEC):

تستخدم هذه التقنية عندما يكون الإرسال دائماً في نفس الاتجاه من المرسل إلى المستقبل .أي من أجل نظام وحيد الاتجاه (one way system)، حيث يتم استخدام ترميزات تصحيح الأخطاء التي تصحح الأخطاء المكتشفة بشكل اتوماتيكي عند المستقبل . مثال : البث الإذاعي أو التلفزيوني

❖ Automatic Repeat Request (ARQ):

عندما يكون الإرسال ذو اتجاهين (two -way system)أي أن المعلومات يمكن أن ترسل في اتجاهين، حيث يعمل المرسل أيضاً كمستقبل و العكس بالعكس. مثل الشبكات.

حيث تصمم الترامیز من أجل كشف الخطأ لأن التصحيح سيعتمد على إعادة الإرسال

أي: عندما يكتشف الخطأ في ARQ عند المستقبل فإنه يتم إرسال طلب للمرسل لإعادة إرسال الرسالة و يستمر تكرار الطلب حتى يتم استقبال الرسالة بشكل صحيح .

كشف و تصحيح الأخطاء

➢ **الفكرة الرئيسة هي:**

إضافة بعض الفائض إلى الرسالة بحيث يستخدمه المستقبل من أجل فحص صحة الرسالة المرسلة و تحديد المعلومات الخاطئة.

تقسم طرائق اكتشاف الخطأ و تصحيح الخطأ إلى:

✓ **طرائق منتظمة:**

يرسل المرسل المعلومات الأصلية مرفقة في نهايتها بعدد ثابت من خانات الفحص و التي تشتق من بتات المعلومات باستخدام خوارزمية محددة.
عند اكتشاف الخطأ من قبل المستقبل،يقوم بتطبيق نفس الخوارزمية لاستقبال خانات المعلومات و مقارنة خرجها مع خانات الفحص المسقبلة.
في حال عدم التطابق، فهذا يدل أن الخطأ قد حدث عند نقطة ما خلال الإرسال.

✓ **طرائق غير منتظمة:**

تحول الرسالة الأصلية إلى رسالة مرمزة . بحيث يكون عدد خانات الرسالة المرمزة يساوي على الأقل عدد خانات الرسالة الأصلية.

طرائق كشف الخطأ

١. **تكرار الرموز (The repetition codes) :**

تعتمد هذه الطريقة على تكرار الخانة عبر القناة للحصول على اتصال خال من الأخطاء.

في تدفق من المعطيات المراد إرسالها، تقسم المعطيات إلى مجموعات من الخانات . ترسل كل مجموعة من الخانات عدد أمن المرات محدد سابقاً .

➢ **مثال:**

إذا كان لدينا مجموعة مكونة من 4 خانات كما يلي 1011 كيف سيتم إرسالها باستخدام طريقة تكرار الرموز لـ 3 مرات.

بتكرار هذه المجموعة ثلاث مرات يكون : 1011 1011 1011

في حال تم استقبال : 1011 1011 1010

سيلاحظ في جهة الاستقبال أن المجموعة الأولى مختلفة عن المجموعتين الباقيتين. أي أن هناك خطأ قد حدث.

➢ تعد هذه الطريقة غير فعالة جداً ،و ذلك لأنها قادرة على اكتشاف **خطأ واحد لا أكثر**. فهي غير قادرة على اكتشاف الخطأ إذا حدث في نفس الموقع على كل المجموعات

➢ **مثال:**

إذا كان التدفق المراد إرساله هو بالشكل : 1011 1011 1011

إذا حدث خطأ في الخانة الثانية من كل مجموعة، أي أن الرسالة تصبح بالشكل: 1001 1001 1001

هكذا لن يتم اكتشاف الخطأ الذي حدث،بل سيظن المستقبل أن الرسالة صحيحة و خالية من الخطأ.

➢ إن ما يميز هذه الطريقة أنها سهلة و بسيطة و تستخدم في للإرسال من قبل عدد من محطات الإرسال.

٢. **فحص الإنجابية (parity check) :**

يضاف في هذه الطريقة خانة بعد الخانة الأخيرة إلى الرسالة، لجعل عدد الخانات الواحدية إما زوجي أو فردي

خانات المعلومات	خانة الانجابية

➢ **إنجابية زوجية** : عدد الواحدات زوجي.

➢ **إنجابية فردية** : عدد الواحدات فردي .

➢ **مثال عن إرسال إنجابية زوجية:**

A يريد أن يرسل 1001

A يحسب قيمة خانة الانجابية (باستخدام بوابة XOR) :0 = 1^0^0^1

A يضيف خانة الانجابية و يرسل: 10010

B يستقبل : 10010

B يحسب الانجابية :0=0^ 1^0^0^1

بملاحظة النتيجة ، يقرر المستقبل B صحة النتيجة.

0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

XOR

➢ **مثال عن إرسال إنجابية زوجية في حال حدوث خطأ:**

A يريد أن يرسل 1001

A يحسب قيمة خانة الانجابية :0 = 1^0^0^1

A يضيف خانة الانجابية و يرسل: 10010

حال حدوث خطأ أثناء الإرسال

B يستقبل : 11010

B يحسب الانجابية :1=0^ 1^0^1^1

يقرر المستقبل B عدم صحة الإرسال، و ذلك بعد ملاحظة نتيجة فردية غير متوقعة.

➢ **مثال عن إرسال إنجابية فردية:**

A يريد أن يرسل 1001

A يحسب قيمة خانة الانجابية :1 = (1^0^0^1)~

A يضيف خانة الانجابية و يرسل: 10011

B يستقبل : 10011

B يحسب الانجابية :1=1^ 1^0^0^1

بملاحظة النتيجة ، يقرر المستقبل B صحة النتيجة.

➢ **مثال عن إرسال إنجابية زوجية:**

A يريد أن يرسل 1001

A يحسب قيمة خانة الانجابية :0 = 1^0^0^1

A يضيف خانة الانجابية و يرسل: 10010

في حال حدوث خطأ أثناء الإرسال

B يستقبل : 11011

B يحسب الانجابية 0=1^ 1^1^0^1

بملاحظة النتيجة ،يقرر المستقبل B صحة النتيجة و أنه لا يوجد خطأ في الإرسال . إذاً **الإنجابية غير قادرة على اكتشاف الأخطاء الزوجية.**

الترميزات على شكل بلوكات (Block Codes) (1/2)

➢ **في الترميز على شكل بلوكات $C_b(n,K)$:**

يقسم تدفق المعلومات الثنائية إلى بلوكات ذات طول ثابت (K خانة) ، و التي تدعى خانات الرسالة. و من ثم تدخل المرمز الذي يحولها إلى بلوكات أطول مكونة n خانة (n>K)تدعى خانات كلمة الترميز.

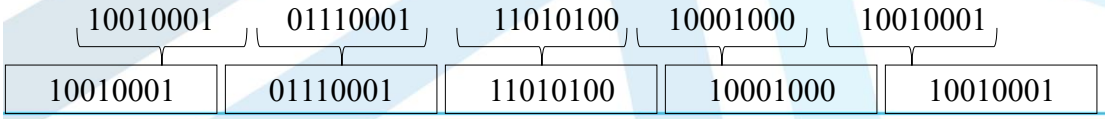
تدعى الخانات (n-K)المضافة إلى الرسالة من قبل المرمز بـ((خانات فحص الإنجابية))

➢ **مثال:**

بفرض التدفق الآتي:

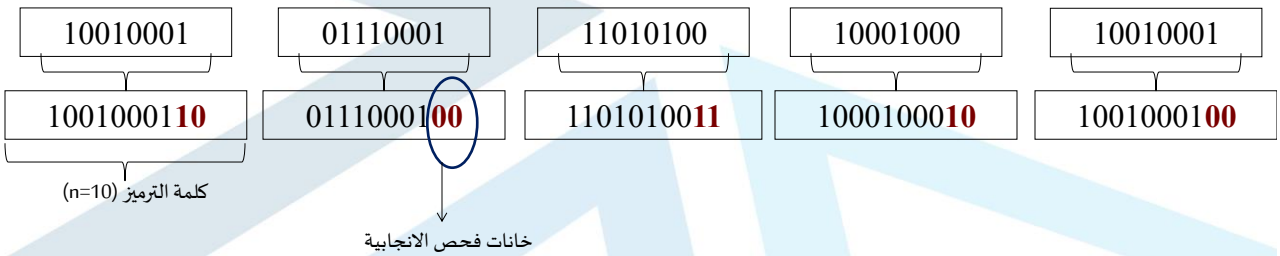
1001000101110001110101001000100010010001

إذا قسم إلى بلوكات ذات طول K=8



➢ فإذا كان طول كلمة الترميز n=10 يكون عدد الخانات فحص الإنجابية المضافة (2).

➢ مثلاً يكون خرج المرمز كما يلي:



الترميزات على شكل بلوكات (Block Codes) (2/2)

➢ **معدل الترميز :** يعبر عن قياس مستوى الفائض المطبق على الترميز المعطى:

$$R_c = \frac{K}{n} = \frac{number\,\text{of information bits}}{number\,\text{of coded bits}}$$

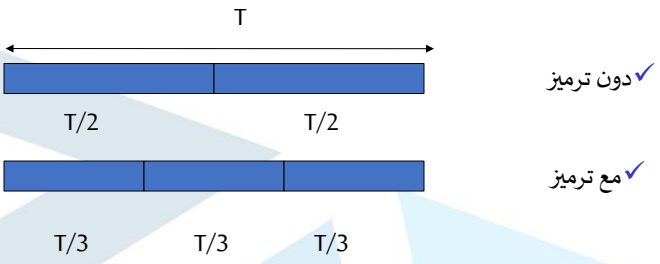
➢ **مثال:** $R_C = \frac{2}{3}$

هذا يعني أنه خلال الفترة الزمنية T :

دون ترميز : كان يتم إرسال إشارتين تمثلان خانات رسالتين مرسلتين

مع ترميز: فإن يتم إرسال ثلاث إشارات .

أي أن: كل إشارة لها مدة، هذه المدة تغيرت من T/2 في حال عدم الترميز إلى T/3 في حال الترميز.



✓ دون ترميز

✓ مع ترميز

➢ أي أن الانشغال الطيفي أعلى في حال الترميز. بالإضافة إلى أن تخزين المعلومات المرمزة يحتاج حيز فيزيائي أكبر منه في حال عدم الترميز. لذا يجب أن نأخذ بالحسبان هذه المعطيات من أجل الحفاظ على معدل الترميز عند مستوى معقول.

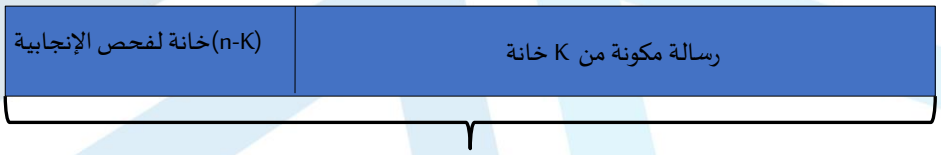
الترميزات الخطية المنتظمة على شكل بلوكات

(Symmetric Linear Block Codes)

الترميز الخطي المنتظم على شكل بلوكات:

تتكون كلمة الترميز من (n-K) خانة لفحص الإنجابية متبوعة بـK خانة من الرسالة.

فيكون شكل كلمة الترميز كما يلي:



يتميز هذا الترميز بمصفوفة مولدة G(k x n) كالآتي:

$$G = \begin{bmatrix} g_0 \\ . \\ . \\ . \\ g_{k-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{00} & \cdots\cdots & P_{0,n-k-1} & 1\ 0\ 0\ \cdots\cdots 0 \\ . & & . & . \\ . & & . & . \\ . & & . & . \\ P_{k-1,0} & \cdots\cdots & P_{k-1,n-k-1} & 0\ 0\ 0\ \cdots\cdots 1 \end{bmatrix}$$

P(K x (n-K))
مصفوفة بتات الانجابية

I(K x K)
مصفوفة قطرية

$$\Rightarrow \quad G_{(K\times n)} = \begin{bmatrix} P_{K\times(n-K)} & I_K \end{bmatrix}$$

تستخدم المصفوفة المولدة من أجل توليد كلمات الترميز كالآتي :

$$C = m \circ G = (m_0\, m_1 \ldots . m_{k-1}) \circ \begin{bmatrix} g_0 \\ . \\ . \\ . \\ g_{k-1} \end{bmatrix} = \mathrm{m}_0 \bullet g_0 \oplus \mathrm{m}_1 \bullet g_1 \oplus \cdots \oplus \mathrm{m}_{k-1} \bullet g_{k-1}$$

✓حيث $m = (m_0, m_1, \ldots\ldots, m_{k-1})$ شعاع الرسالة

$g_0, \ldots \ldots g_{k-1}$:سطر من سطور المصفوفة G

توليد معادلات فحص الإنجابية :

$$C = m \circ G = (m_0\, m_1 \ldots . m_{k-1}) \circ \begin{bmatrix} P_{00} & \ldots\ldots & P_{0,n-k-1} & 1\ 0\ 0 \ldots\ldots 0 \\ . & & . & . \\ . & & . & . \\ . & & . & . \\ P_{k-1,0} & \ldots\ldots & P_{k-1,n-k-1} & 0\ 0\ 0 \ldots\ldots 1 \end{bmatrix}$$

✓في حال كان شعاع الرسالة : $m = (m_0, m_1, \ldots\ldots, m_{k-1})$

✓ كلمة الترميز: $c = (c_0, c_1, \ldots\ldots, c_{n-1})$

✓عندها يكون :

$C_{n-k+i} = m_i \quad 0 \le \mathrm{i} < \mathrm{k}$ **خانات الرسالة**

$$C_j = m_0 \bullet P_{0j} \oplus m_1 \bullet P_{1j} \oplus \ldots\ldots \oplus m_{k-1} \bullet P_{k-1,j} \; ; \quad 0 \le j < n-k$$

تدعى الـ(n-K) معادلة بمعادلات فحص الانجابية

مصفوفة فحص الانجابية H

الشكل المنتظم لمصفوفة فحص الانجابية H(n-k)xk للترميز $C_b(n,K)$ المولد من قبل المصفوفة المولدة G هو:

$$H=\left[I_{((n-k)\times(n-k))} \quad \mathrm{P}^{\mathrm{T}}((n-k)\times k)\right]=\begin{bmatrix} 1\ 0\ 0.....0 & P_{00} & ..... & P_{k-1,0} \\ . & . & & . \\ . & . & & . \\ 0\ 0\ 0.....1 & P_{0,n-k-1} & ..... & P_{k-1,n-k-1} \end{bmatrix}$$

$$I_{((n-K)\times(n-K))} \qquad P^T((n-K)\times K)$$

حيث P^T هو منقول المصفوفة P

✓ تولد المصفوفة H بحيث تحقق الشرط :

$$G \circ H^T = 0$$

كشف الأخطاء و الأعراض المتزامنة (٢/١)

❖ **نعرف الأعراض المتزامنة(Syndrome) بأنها :**

نتيجة فحص الإنجابية الذي يجرى على الشعاع المستقبل (r) لتحديد فيما إذا كان (r) هو أحد كلمات الترميز أم لا.

و تعرف بالعلاقة:

$$S = r \circ H^T = (s_0, s_1, ..., s_{n-k-1}) \qquad (١)$$

و هذا يدعى **بالأعراض المتزامنة لـ r** (Syndrome)

كشف الأخطاء و الأعراض المتزامنة (٢/٢)

➢ انطلاقاً من العلاقة السابقة نلاحظ أن :

$S = r \circ H^T = 0$ إذا و فقط إذا كان الشعاع المستقبل هو كلمة الترميز المرسلة

$S = r \circ H^T \neq 0$ إذا وفقط إذا كان الشعاع المستقبل r مختلف عن كلمة الترميز المرسلة

✓ **ملاحظة :** من الممكن أن تكون الأخطاء في بعض أشعة الخطأ غير قابلة للكشف أي أنها تحتوي أخطاء بحيث ينتج:

$$S = r \circ H^T = 0$$

يدعى هذا النوع من الأخطاء بـ **الأخطاء غير القابلة للكشف.**

✓ بما أنه يوجد هناك $(2^k - 1)$ كلمة ترميز غير صفرية ، فإنه يوجد $(2^k - 1)$ شعاع خطأ غير قابل للكشف.

علاقة الأعراض المتزامنة بشعاع الخطأ

يمكن كتابة علاقة الأعراض المتزامنة كما يلي:

$$S = r \circ H^T = (C_i \oplus e_j) \circ H^T = C_i \circ H^T \oplus e_j \circ H^T$$

بما أن C_i هي كلمة الترميز الحقيقية المرسلة (دون أخطاء) فإن:

$$C_i \circ H^T = 0$$

$$\boxed{\Rightarrow S = r \circ H^T = e_j \circ H^T}$$

أي يمكن تشكيل فحص الأعراض المتزامنة إما بكلمة ترميز خاطئة (r) أو شعاع الخطأ المسبب لذلك(e)

تحديد قيمة شعاع الخطأ

لدينا أن :

$$S = e_j \circ H^T$$

بما أن e_j هو شعاع الخطأ بخانة واحدة فقط

- نحصل على قيمة شعاع الخطأ من إنشاء جدول يربط الأعراض المتزامنة مع مقابلاتها من أشعة الخطأ والذي يمثل عملياً منقول المصفوفة H
- ففي حال اختبار وجود خطأ في الشعاع المستقبل من خلال قيمة عرض متزامن لا تساوي الصفر $S = r \circ H^T \neq 0$ يمكن تحديد موقع الخطأ من خلال هذا الجدول .

قيمة العرض المتزامن المقابل له Si	شعاع الخطأ ej
0.....0(no error)	0 0.....0
السطر الأول في المصفوفة H^T	1 0.....0
السطر الثاني في المصفوفة H^T	0 1.....0
:	: :
السطر الأخير في المصفوفة H^T	0 0 1

مثال

إذا كانت الترميز الخطي على شكل بلوكات $C_b(6,3)$ الذي يملك مصفوفة فحص الإنجابية الآتية:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

١. حدد جدول قيم أشعة الخطأ وقيم الأعراض المتزامنة المقابلة لها .

٢. إذا كان الشعاع المستقبل هو r=001110. هل كلمة الترميز المستقبلة هي نفسها كلمة الترميز المرسلة؟ صحح الخطأ إن وجد

الحل :

١. نبني جدول الأعراض المتزامنة ومقابلاتها من أشعة الخطأ للترميز المعطى اعتماداً على العلاقة: $S = e_j \circ H^T$

e	syndrome
0 0 0 0 0 0	000
1 0 0 0 0 0	100
0 1 0 0 0 0	010
0 0 1 0 0 0	001
0 0 0 1 0 0	110
0 0 0 0 1 0	011
0 0 0 0 0 1	101

٢. نحسب الأعراض المتزامنة لـ r كما يلي:

$$\Rightarrow S = r \circ H^T = [0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0] \circ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} = 100$$

قيمة S لا تساوي الصفر أي هناك خطأ في الاستقبال

بالعودة إلى جدول قيمة العرض هذا يدل أن الخطأ حدث في الخانة الأولى للشعاع المستقبل أي شعاع الخطأ هو eo=100000

فيكون الشعاع المستقبل الصحيح هو : 101110

e	syndrome
0 0 0 0 0 0	000
1 0 0 0 0 0	100
0 1 0 0 0 0	010
0 0 1 0 0 0	001
0 0 0 1 0 0	110
0 0 0 0 1 0	011
0 0 0 0 0 1	101

جَـامعة
المَـنارة
MANARA UNIVERSITY

نهاية المحاضرة