جامعة المنارة

قسم هندسة المعلوماتية

Information theory and coding

نظرية المعلومات و الترميز

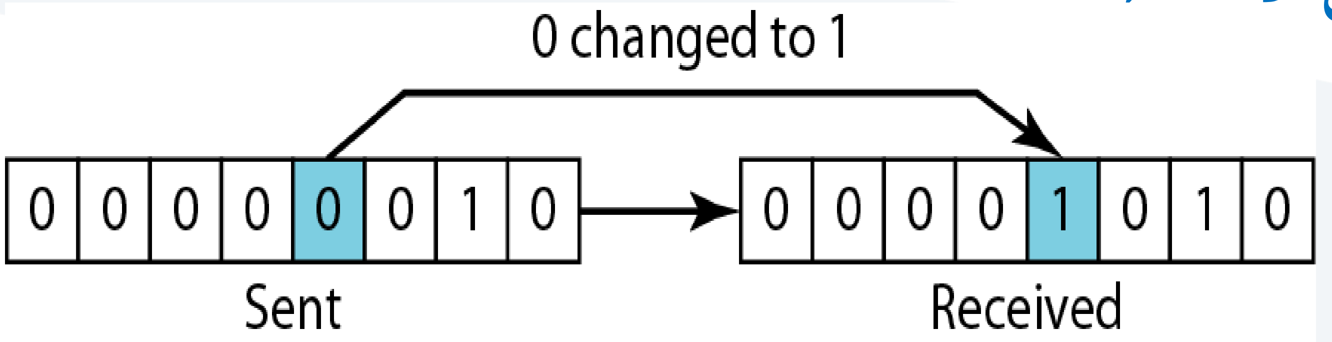
مدرسة المقرر

د.بشرى علي معلا

مفردات المحاضرة

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

أنواع الأخطاء



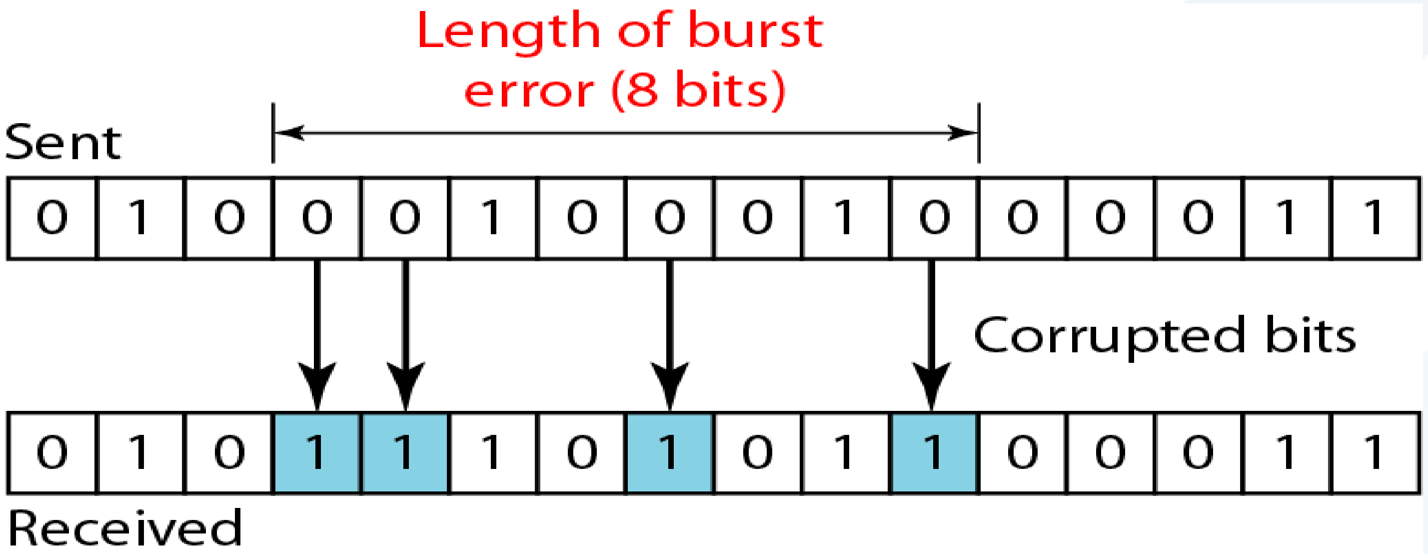
1- خطأ في بت واحد(single-bit error):

يحدث التغيير في بت واحد فقط.

2 - خطأ المفاجئ(burst error):

يحدث التغيير في بتين أو أكثر

وقد يحدث في مواقع متتالية أو بشكل عشوائي



3-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:

1- ترامیز کشف الأخطاء

2- 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 .

❖ 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 التراميز 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 غيرمنتظمة:**

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

طرائق كشف الخطأ

1. 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 : 1010 1011 1011

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.

2. 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): 1^0^0^1 = 0

A يضيف خانة الانجابية و يرسل: 10010

B يستقبل : 10010

B يحسب الانجابية: 1^0^0^1 ^0=0

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 : **1**1011

B يحسب الانجابية 1^1^0^1 ^1=0

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 الترميزعلى 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:

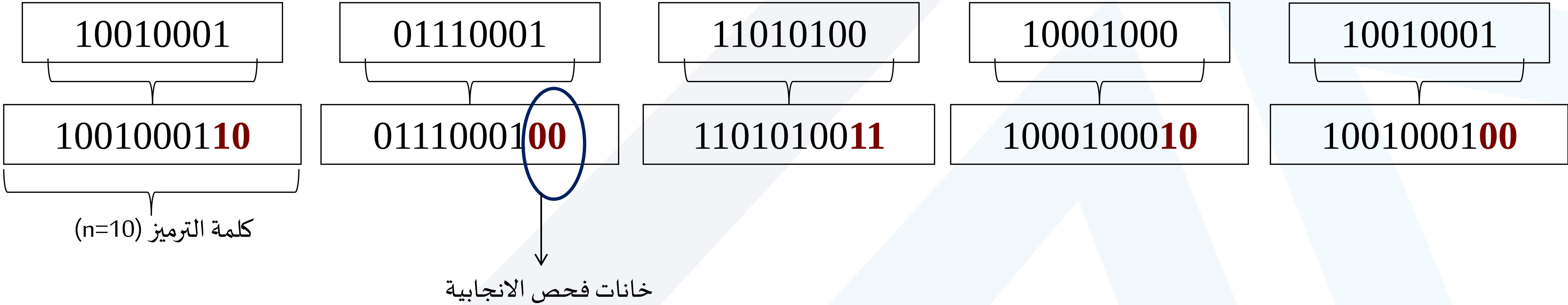
1001000101110001110101001000100010010001

إذا قسم إلى بلوكات ذات طول K=8

10010001	01110001	11010100	10001000	10010001
10010001	01110001	11010100	10001000	10010001

جَـامعة
المَـنارة
MANARA UNIVERSITY

- 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:** $R_C = \frac{2}{3}$

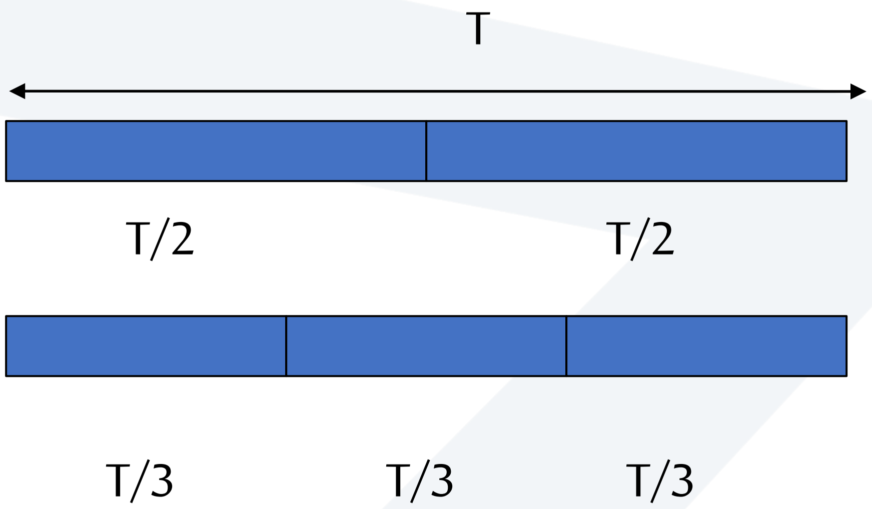
هذا يعني أنه خلال الفترة الزمنية T :

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:

(n-K)خانة لفحص الإنجابية	رسالة مكونة من K خانة

كلمة ترميز مكونة من n خانة

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

$$G = \begin{bmatrix} g_0 \\ . \\ . \\ . \\ g_{k-1} \end{bmatrix} = \left[\underbrace{\begin{matrix} P_{00} & \ldots\ldots & P_{0,n-k-1} \\ . & . & \\ . & . & \\ . & . & \\ P_{k-1,0} & \ldots & P_{k-1,n-k-1} \end{matrix}}_{P(K \times (n-K))} \; \begin{matrix} . \\ . \\ . \end{matrix} \; \underbrace{\begin{matrix} 1 \;\; 0 \;\; 0 \ldots\ldots 0 \\ . \\ . \\ . \\ 0 \;\; 0 \;\; 0 \ldots\ldots 1 \end{matrix}}_{I(K \times K)} \right]$$

مصفوفة بتات الانجابية   مصفوفة قطرية

$$\boxed{\Rightarrow \;\; G_{(K\times n)} = \left[P_{K\times(n-K)} \quad \mathrm{I}_{\mathrm{K}} \right]}$$

تستخدم المصفوفة المولدة من أجل توليد كلمات الترميز كالآتي :

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

✓في حال كان شعاع الرسالة :

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

✓ كلمة الترميز:

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

✓عندها يكون :

$$C_{n-k+i} = m_i \qquad 0 \leq \mathrm{i} < \mathrm{k}$$

خانات الرسالة

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

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:

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

حيث P^{T} هو منقول المصفوفة P

✓ تولد المصفوفة H بحيث تحقق الشرط :

$$\boxed{G\circ H^{T}=0}$$

بناء دارة المرمز الخطي المنتظم (1/2)

- بالاعتماد على المعادلات:

$$C_{n-k+i} = m_i \qquad 0 \leq \mathrm{i} < \mathrm{k}$$

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

- تظهر المعادلة الأولى الـ K خانة اليمينية من كلمة الترميز C و التي هي خانات المعلومات $m = (m_0, \ldots. m_{k-1})$

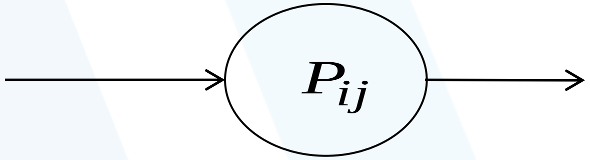
- تظهر المعادلة الثانية الـ n- K خانة يسارية من كلمة الترميز C و التي هي خانات إضافية ناتجة عن المجموع الخطي لخانات المعلومات

(n-K)خانة لفحص الإنجابية	رسالة مكونة من K خانة
المعادلة الثانية	المعادلة الأولى

بناء دارة المرمز الخطي المنتظم (2/2)

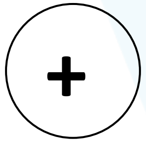
- يمكن أن تنفذ دارة المرمز الخطي المنتظم $C_b(n, K)$ بالاعتماد على :

خطوة مسجل إزاحة



$P_{ij} = 0$ ليس هناك اتصال

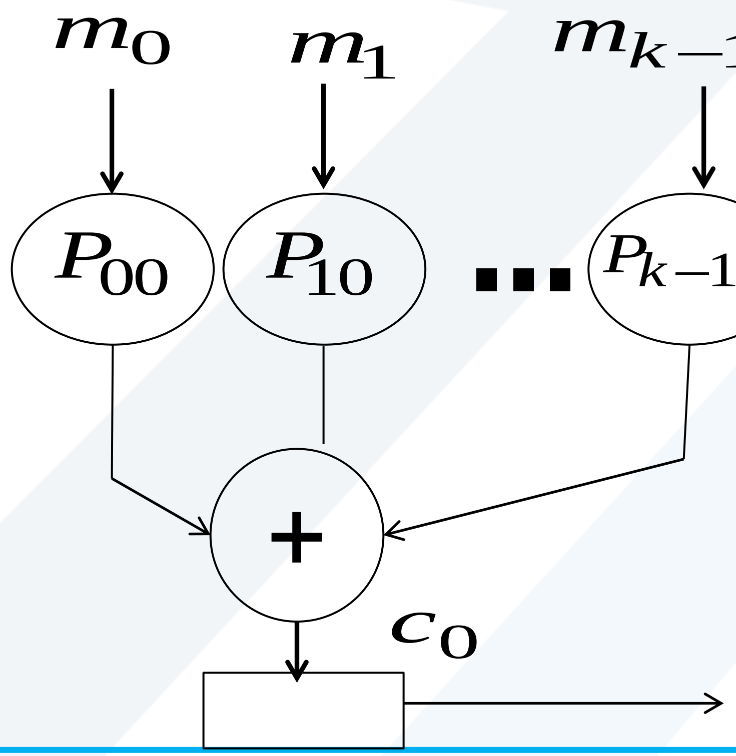
$P_{ij} = 1$ هناك اتصال

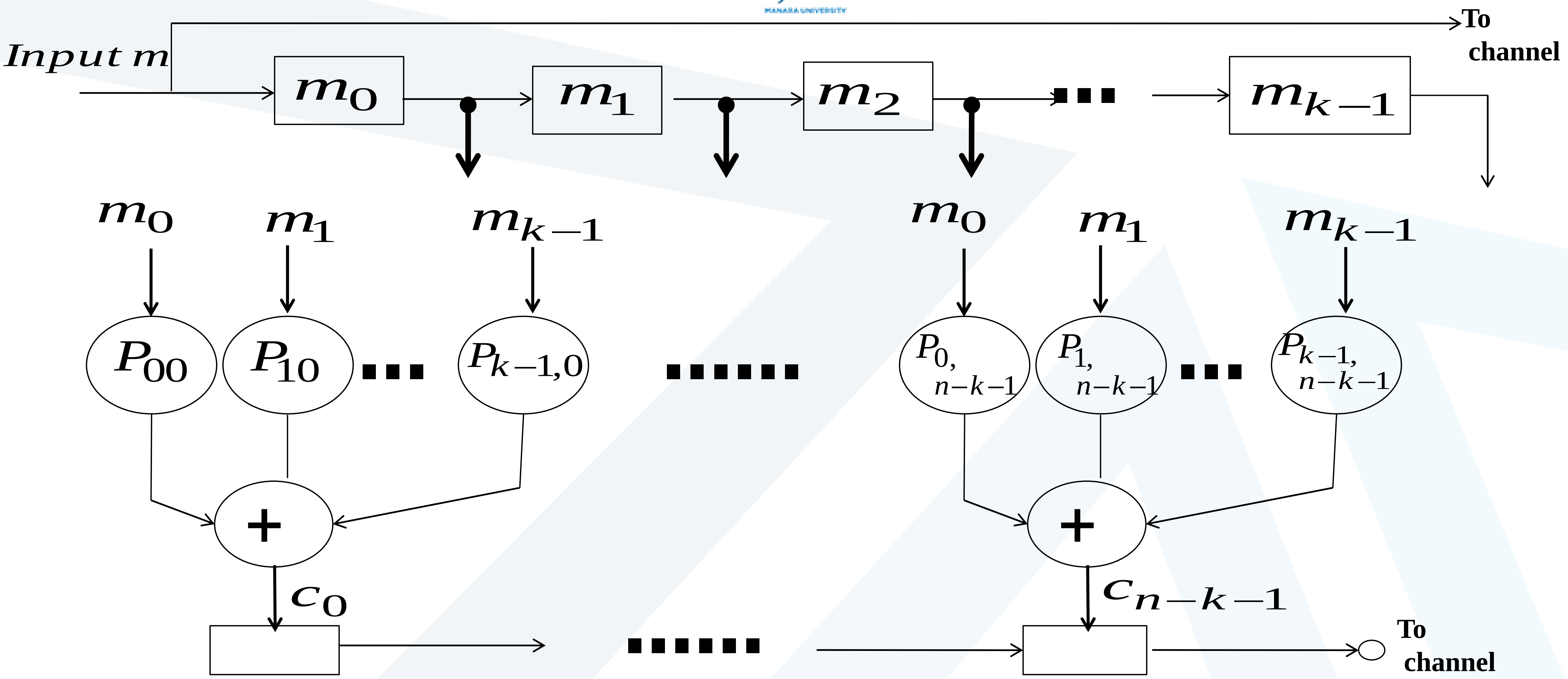


الجمع ببوابة XOR

❖ مثال عن كيفية رسم معادلة فحص الانجابية :

$$C_0 = m_0 \bullet P_{00} \oplus m_1 \bullet P_{10} \oplus ..... \oplus m_{k-1} \bullet P_{k-1,0}$$





Input m
m_0
m_1
m_2
m_{k-1}
To channel
m_0
m_1
m_{k-1}
P_{00}
P_{10}
$P_{k-1,0}$
m_0
m_1
m_{k-1}
$P_{0,n-k-1}$
$P_{1,n-k-1}$
$P_{k-1,n-k-1}$
+
+
c_0
c_{n-k-1}
To channel

نهاية المحاضرة السابعة