الجامعة الافتراضية السورية
SYRIAN VIRTUAL UNIVERSITY

تراسل البيانات

الدكتور خالد يزبك

CC BY ND

ISSN: 2617-989X

Books & Refrences

تراسل البيانات

الدكتور خالد يزبك

من منشورات الجامعة الافتراضية السورية

الجمهورية العربية السورية ٢٠٢٠

هذا الكتاب منشور تحت رخصة المشاع المبدع – النسب للمؤلف – حظر الاشتقاق (CC– BY– ND 4.0)

https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/legalcode.ar

يحق للمستخدم بموجب هذه الرخصة نسخ هذا الكتاب ومشاركته وإعادة نشره أو توزيعه بأية صيغة وبأية وسيلة للنشر ولأية غاية تجارية أو غير تجارية، وذلك شريطة عدم التعديل على الكتاب وعدم الاشتقاق منه وعلى أن ينسب للمؤلف الأصلي على الشكل التالي حصراً :

خالد يزبك، الإجازة في تقانة الاتصالات، من منشورات الجامعة الافتراضية السورية، الجمهورية العربية السورية، ٢٠٢٠

متوفر للتحميل من موسوعة الجامعة https://pedia.svuonline.org/

Data Communications

Khaled Yazbek

Publications of the Syrian Virtual University (SVU)

Syrian Arab Republic, 2020

Published under the license:

Creative Commons Attributions- NoDerivatives 4.0

International (CC-BY-ND 4.0)

https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/legalcode

Available for download at: https://pedia.svuonline.org/

الفهرس

الفصل الأول: مفاهيم أساسية Concepts Fundamental..... 1

1. مقدمة..... 3

2. تراسل البيانات..... 3

3. الشبكات..... 9

4. مذاكرة 13

الفصل الثاني: البيانات والإشارات Data and Signals 15

1. مقدمة..... 17

2. البيانات التمثيلية والرقمية..... 17

3. الإشارات التمثيلية والرقمية..... 17

4. الإشارات التمثيلية الدورية..... 20

5. الإشارات في المجالين الزمني والترددي..... 25

6. الإشارات المركبة 27

7. عرض حزمة الإشارة..... 29

7. 1. عرض الحزمة الفعلي..... 30

7. 2. عرض الحزمة الفعلي..... 31

8. الخلاصة..... 33

9. مذاكرة 33

الفصل الثالث: الإشارات الرقمية ومعدل النقل Digital Signals and Bit Rate 36

1. مقدمة..... 38

2. الإشارة الرقمية..... 38

3. تعريف معدل النقل 39

4. إرسال الإشارات الرقمية..... 39

4. 1. إرسال الحزمة القاعدية 40

4. 2. إرسال تمرير الحزمة 43
5. عيوب الرسال 44
5. 1. التخميد 45
5. 2. التشويه 46
5. 3. الضجيج 47
6. معدل النقل العظمي 49
7. مذاكرة 53
الفصل الرابع: النقل الرقمي Digital Transmission 56
1. مقدمة 58
2. تعاريف ومفاهيم أساسية 58
3. خواص الإشارة الرقمية 61
4. ترميز الخط 62
4. 1. الترميز الأحادي القطبية 63
4. 2. التراميز القطبية 64
4. 3. التراميز الثنائية الطور 66
4. 4. التراميز الثنائية القطبية 67
4. 5. التراميز المتعددة المستويات 68
5. تقنيات تحسين الأداء 69
5. 1. الترميز الكتلي 69
5. 2. الخلط 70
6. التبديل التماثلي - الرقمي 72
6. 1. تعديل ترميز النبضة 72
6. 2. تعديل دلتا 75
7. أنماط الإرسال 76
7. 1. الإرسال التفرعي 77

7. 2. الإرسال التسلسلي 78
8. الخلاصة 80
9. مذاكرة 81

الفصل الأول:
مفاهيم أساسية Concepts Fundamental

عنوان الموضوع:

مفاهيم أساسية Fundamental Concepts

الكلمات المفتاحية:

تراسل البيانات Data Communications، نمط وحيد الاتجاه Simplex، نمط Half–Duplex، نمط مزدوج الاتجاه Full Duplex، نقطة لنقطة point to point، متعددة النقاط Multipoint، بنية البيانات Syntax، دلالة الخانات Semantics، التوقيت Timing، المعايير De facto، المعايير De jure.

ملخص:

نقدم في هذا الفصل المفاهيم الأساسية في نظام تراسل البيانات والشبكات. نبدأ بتعريف المكونات الأساسية لهذا النظام، وكيفية تمثيل البيانات وآليات جريانها في نظام التراسل. ثم نذكر بالمفاهيم الأساسية للشبكات، والبروتوكولات Protocols والمعايير Standards التي تنظم عملية تراسل البيانات.

أهداف تعليمية:

يتعرف الطالب في هذا الفصل على:

- نظام تراسل البيانات.
- المكونات الأساسية لنظام تراسل البيانات.
- كيفية تمثيل البيانات في نظام تراسل البيانات.
- آليات دفق البيانات في نظام تراسل البيانات.
- البروتوكولات Protocols والمعايير Standards التي تنظم عملية تراسل البيانات.

المخطط:

1. مقدمة Introduction.
2. تراسل البيانات Data Communications.
   - أ. مكونات تراسل البيانات Data Communications Components.
   - ب. تمثيل البيانات Data Representation.
   - ج. دفق البيانات Data flow.
   - د. أنواع الوصلات Types of Connections.
   - هـ. البروتوكول Protocol.
   - و. المعايير Standards.

1. مقدمة Introduction:

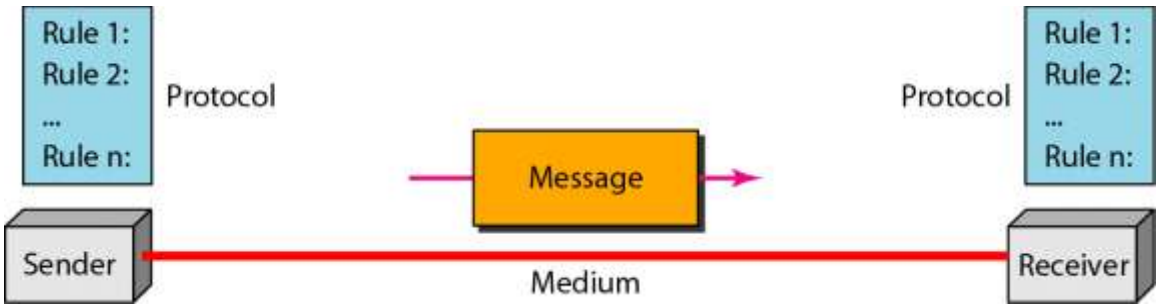
أدى التطور السريع الذي نشهده في أيامنا هذه لعالم الاتصالات، إلى تغيير طريقة حياتنا، والطريقة التي ندير وننظم بها أعمالنا. فالتغييرات الهائلة التي نتجت عن تطوير الحاسوب الشخصي في مختلف مجالات العلوم والتربية والتعليم والاقتصاد وإدارة الأعمال والصناعة وغيرها، حصل ما يشبه هذه التغييرات في تراسل البيانات وشبكات الاتصالات بمختلف أنواعها. وسمح التقدم التقاني المستمر حتى يومنا هذا بنقل البيانات بمعدلات أعلى فأعلى.

2. تراسل البيانات Data Communications:

يمثل تراسل البيانات عملية تبادل المعلومات والمعطيات بين جهازين يربط بينهما وسط إرسال مثل الأسلاك أوالكوابل أوغيرها من وسائط النقل. وحتى يحصل تراسل البيانات، يجب أن تشكل الأجهزة[1] المتصلة جزءاً من نظام اتصالات مكون من تجهيزات (البنيان الصلب hardware) وبرمجيات (البنيان المرن software).

أ. مكونات تراسل البيانات Data Communications Components

يتكون نظام تراسل البيانات المبين في الشكل-1 من خمسة عناصر هي:



الشكل 1: مكونات نظام تراسل البيانات

[1] لا يقتصر مفهوم الأجهزة على الأجهزة الحاسوبية. في الحقيقة، إن الحاجة إلى الربط تجاوزت بكثير الأجهزة الحاسوبية التقليدية لتصل إلى أجهزة الهاتف الخلوي (وخاصة الهواتف الذكية smart phones)، وآلات البيع بأشكالها المختلفة، والصرافات الآلية، والمركبات، وكاميرات المراقبة، لا بل تعدت الإطار الاحترافي التقليدي لتصل إلى الأجهزة المنزلية وكل ما يمكن أن نتصور أنه يحتاج إلى نقل للبيانات سواء كانت صادرة عن الجهاز أو واردة إليه. وهناك العديد من الجهود الدولية لإنتاج مقاييس ومعايير تسهل هذا الربط ضمن ما يعرف بـ Internet of things.

- الرسالة Message: هي المعلومات Information أوالبيانات Data المراد إرسالها. هذه المعلومات أوالبيانات لها أشكال مختلفة، فيمكن أن تكون على شكل نصوص من أحرف وأعداد، أوصور، أوصوت، أومقاطع فيديو.
- المرسل Sender or Transmitter: هوالجهاز المسؤول عن إرسال الرسالة التي تحمل البيانات أوالمعلومات المراد إرسالها. يمكن أن يكون هذا الجهاز باشكال مختلفة مثل الحاسوب الشخصي، أوجهاز الهاتف، أوكاميرا تلتقط صور أوتسجل مقاطع فيديو، أومحطة بث، أوغير ذلك من الأجهزة.
- المستقبل Receiver: هوالجهاز المسؤول عن استقبال الرسالة المرسلة من جهة المرسل. يمكن أن يكون هذا الجهاز بأشكال مختلفة مثل الحاسوب الشخصي، أوجهاز الهاتف، أوجهاز التلفاز، أوجهاز الراديو، أوغير ذلك من الأجهزة.
- وسط الإرسال Transmission Medium: هوالمسار الفيزيائي لنقل الرسالة من المرسل إلى المستقبل. من الأمثلة التي يمكن ذكرها: الأسلاك النحاسية، الكوابل المحورية Coaxial cables، الألياف البصرية Fiber-optic cables، الهواء لنقل الأمواج الراديوية Radio waves.
- البروتوكول Protocol: هومجموعة من القواعد التي تحكم تراسل البيانات. ويكون البروتوكول بمثابة الاتفاق بين الأجهزة التي تتبادل البيانات، وبدونه يمكن أن تكون الأجهزة مرتبطة فيما بينها، لكن لا يمكنها الاتصال لتراسل البيانات. إن البروتوكول بمثابة اللغة المشتركة التي يمكن أن يتفاهم بها الناس بين بعضهم البعض.

ب. تمثيل البيانات Data Representation

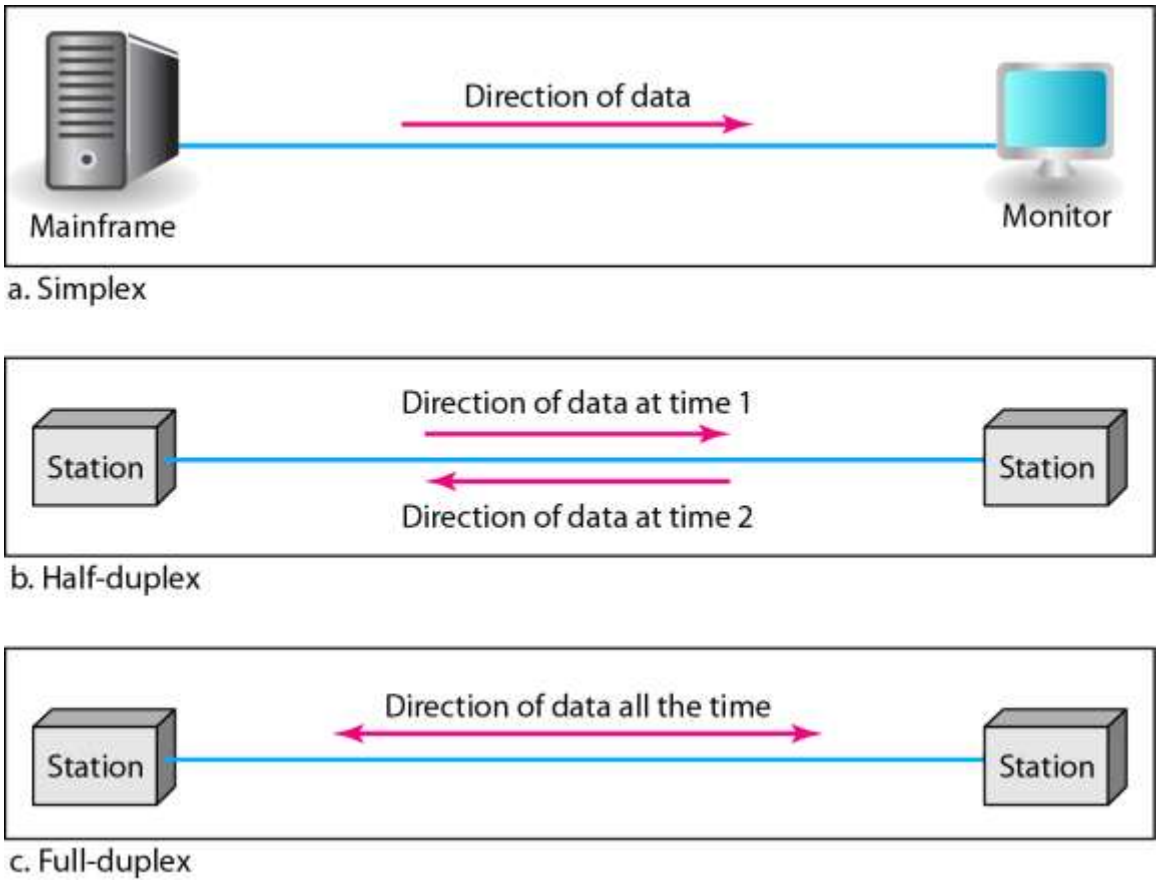
تأخذ البيانات أوالمعلومات أشكالاً مختلفة في يومنا هذا نذكر منها:

- النص Text: نمثل النص في نظام تراسل البيانات على شكل تتالي من الخانات bits (أصفار وواحدات 0s and 1s). وهناك نماذج مختلفة لهذا التمثيل تسمى رماز Code، وكل رماز يجري تشكيله بآلية محددة ومعرفة تسمى الترميز Coding. نظام الترميز السائد للحروف والرموز يسمى Unicode، ويستخدم 32 خانة لتمثيل المحرف في اي لغة من العالم. يشكل رماز ASCII المعروف أول 127 محرفاً من رماز Unicode للأحرف اللاتينية الأساسية.
- الأعداد Numbers: وهي على شكل تتالي من الخانات bits بالنظام الإثناني Binary system.
- الصور Images: ممثلة أيضاً على شكل تتالي من الخانات bits. وهي مكونة من مصفوفة من العناصر التناهية في الصغر تسمى Pixels. عدد هذه العناصر في الصورة يحدد الدقة Resolution. يعتمد الرماز المستخدم لتمثيل عناصر الصورة على طبيعة الصورة (أبيض وأسود أوملونة).

- السمعيات Audio: وتشمل الصوت Sound أوالموسيقا Music المسجل أوالذي يُبث عبر محطات بث الراديو FM or AM. تختلف السمعيات بطبيعتها عن النصوص والأعداد والصور. إنها مستمرة Continuous وليست متقطعة Discrete.
- الفيديو Video: ويشمل الصورة المتحركة والأفلام المسجلة أوالتي تُبث عبر محطات البث. يمكن أن تكون مقاطع الفيديومستمرة عندما يجري تسجيلها بكاميرا التلفاز مثلاً، أوتركيب من صور، تشكل كل صورة وحدة متقطعة، لكن يجري عرضها بشكل يوحي بالحركية (بمعدل 24 صورة في الدقيقة على الأقل).

ج. دفق البيانات Data flow

يأخذ الاتصال بين جهازين لتراسل البيانات الأنماط المبينة في الشكل-2.



الشكل 2: أنماط تدفق البيانات

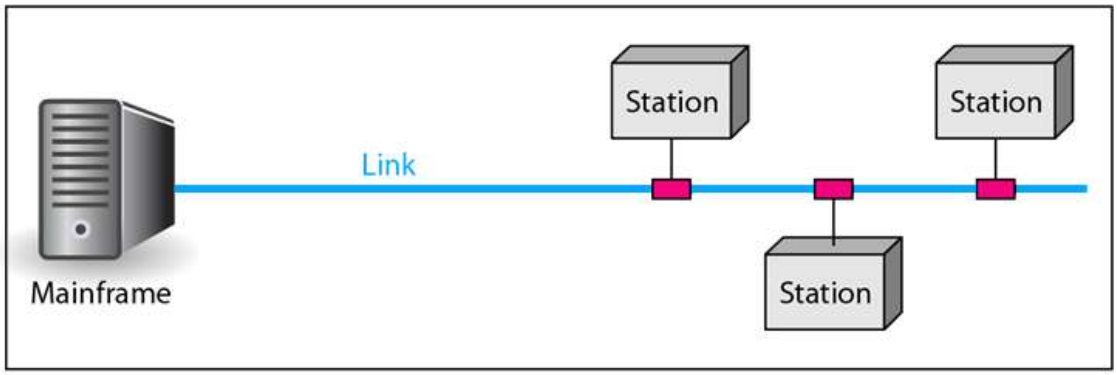
- نمط وحيد الاتجاه Simplex: يكون الاتصال في هذا النمط باتجاه واحد، بمعنى أن جهازاً من الجهازين المتصلين يمكنه أن يرسل فقط، والجهاز الآخر يستقبل فقط. من الأمثلة على هذا النمط لوحة المفاتيح وشاشات العرض.
- نمط Half-Duplex: يمكن لكل جهاز من الجهازين المتصلين أن يرسل ويستقبل، لكن ليس في نفس الوقت. فعندما يقوم أحد الجازين بالإرسال، يمكن للجاز الآخر أن يستقبل فقط، والعكس بالعكس. نظام Walkie-talkies مثال على هذا النمط.
- نمط مزدوج الاتجاه Full-Duplex: يمكن للجهازين المتصلين الإرسال والاستقبال في نفس الوقت. من الأمثلة على هذا النمط شبكة الهاتف الثابت أوالنقال.

د. أنواع الوصلات Types of Connections

تتكون الشبكة عادة من جهازين أوأكثر متصلين عبر روابط أووصلات Links. يمثل الرابط المسار الذي تنتقل عبره البيانات من جهاز لآخر. ويحصل الاتصال بين جهازين عندما يكونا متصلين إلى نفس الرابط في نفس الوقت. هناك نوعان من الوصلات:

- نقطة لنقطة point-to-point: عندما يكون الرابط مخصصاً للوصل بين الجهازين فقط، ويسمى في هذه الحالة Dedicated link، فتكون كامل سعة الرابط محجوزة لنقل البيانات بين الجهازين المتصلين. من الأمثلة على الوصلات نقطة لنقطة يمكن أن نذكر السلك النحاسي أوالكابل الحوري أوالليف البصري الذي يصل بين طرفيتين، أووصلة مكروية أوساتلية. يمكن تمثيل الوصلة نقطة لنقطة بالشكل a-3.

a. Point-to-point



b. Multipoint

الشكل 3: أنواع الوصلات

- متعددة النقاط Multipoint: عندما يتشارك أكثر من جهازين نفس الرابط، وبالتالي تتشارك الأجهزة المتصلة سعة هذا الرابط. يمكن تمثيل الوصلة متعددة النقاط بالشكل-3-b حيث يتشارك ثلاثة أجهزة نفس الرابط.

هـ. البروتوكول Protocol:

يحصل الاتصال وتراسل البيانات بين جهازين متصلين عبر شبكة عندما يكون هناك اتفاق على بروتوكول كما ذكرنا أعلاه. عرفنا البروتوكول بأنه مجموعة القواعد التي تحكم تراسل البيانات، إذ يحدد البروتوكول ما هي البيانات المتبادلة بين الجهازين، وكيف ومتى يتم تبادلها. فالعناصر الأساسية لأي بروتوكول هي:

- بنية البيانات Syntax: أي الترتيب المتفق عليه لتمثيل البيانات. فيمكن، على سبيل المثال، أن تحتوي البنية على ترويسة مكونة من عدة خانات لإرسال عنوان كل من المرسل والمستقبل، وتحتوي السلسلة المتبقية من الخانات على البيانات المراد إرسالها.
- دلالة الخانات Semantics: أي دلالة أومعنى كل مقطع من البيانات في البنية المتفق عليها، وكيف يتم تفسيره، وما هي الإجراءات التي يجب اتخاذها بناء على هذا التفسير.
- التوقيت Timing: أي متى يجب إرسال البيانات، وما هي سرعة (معدل) الإرسال.

و. المعايير Standards

تخلق المعايير سوقاً منافسة لمصنعي التجهيزات، وتضمن تشغيلية بينية interoperability على الصعيدين الوطني والدولي لتقانات المعلومات والاتصالات. تزود المعايير كل من المصنعين والبائعين والوكالات الحكومية ومزودي خدمات الاتصالات بالإرشادات لضمان نوع الاتصال البيني الضروري في سوق اليوم وفي الاتصالات الدولية.

تصنف معايير تراسل البيانات في صنفين:

- De facto: هي المعايير التي لم يتم اعتمادها من منظمات مختصة لكن جرى اعتمادها من خلال استخدامها واسع الانتشار. غالباً ما يؤسس المصنعون هذا النوع من المعايير، بحثاً عن تعريف وظائف منتجاتهم أوتقاناتهم.
- De jure: هي الصنف من المعايير المعتمدة رسمياً من منظمات مختصة.
- من هذه المنظمات المختصة:

- International Organization for Standardization (ISO).
- International Telecommunication Union-Telecommunication Standards Sector (ITU-T).
- American National Standards Institute (ANSI).
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- Electronic Industries Association (EIA).

3. الشبكات[2]:

الشبكات هي البنية التحتية الأساسية لتراسل البيانات. نخصص الفقرة الأخيرة هذه من الفصل الأول للمقرر للتذكير[3] بتعريف الشبكات ونموذجها OSI: Open Systems Interconnection المكون من سبع طبقات أصدرته المنظمة الدولية للمواصفات القياسية ISO في نهاية السبعينيات وعُرِفَ لاحقاً بنموذج OSI (الربط البيني للمنظومات المفتوحة) في عام 1984، وهوالنموذج المعتمد على إطار واسع في دراسة وتصميم الشبكات والأجهزة الشبكية. وهوالنموذج الذي اعتمد مبدأ الطبقات في تصميم الشبكات.

المنهجية التي اعتمدت بنموذج OSI هي تقسيم العمل إلى مراحل بما يشبه سلسلة الإنتاج الصناعية التي تخضع لها المنتجات المختلفة. إذ يجري تنظيم معالجة البيانات ضمن مراحل مختلفة، تقوم كل مرحلة باستلام البيانات من المرحلة السابقة لها ومن ثم تطبيق المعالجة المسؤولة عنها كل طبقة وترحيلها إلى المرحلة التالية. وتعرف مراحل المعالجة باسم طبقات الشبكات Network Layers. حيث تتخاطب طبقات الشبكات بين بعضها البعض وفق ترتيب صارم، إذ لا تتخاطب الطبقة إلا مع الطبقات الملاصقة لها (الأعلى والأدنى)، ولهذا سميت بالطبقات. وبالتالي تمثل كل طبقة مجموعة من المهام يجري تنفيذها تسلسلياً عند الانتقال من طبقة إلى الطبقة التالية.

هذا الفصل الوظيفي للطبقات مفيد جداً لأنه يسمح للمصنعين والمصممين بالتركيز على مهام طبقة محددة تقدمها تجهيزاتهم المخصصة لكل طبقة، ورفع كفاءتها دون الحاجة إلى فهم مفصل لما يحصل في الطبقات الأخرى. مثال: تعمل المبدلات Switches في الطبقة 2، وبالتالي فإن شركة متخصصة في تصنيع المبدلات ستركز بشكل رئيسي على وظائف الطبقة 2 وكيف يمكن تقديمها على أفضل وجه، وقد تحتاج إلى فهم عمل الطبقة 3 باعتبارها هي التي ستطلب خدمات الطبقة 2 وبالتالي هناك أثر متبادل بين التصميمين، ولكنها لن تحتاج إلى بحث وظائف الطبقة 4 وأثرها على عمل المبدلات.

---

[2] جرى اقتباس هذه الفقرة بتصرف من مقرر الشبكات INT101.

[3] مقرر الشبكات INT101 مطلوب كأسبقية لمقرر تراسل البيانات، إذ سبق أن درس الطالب الشبكات بالتفصيل، ونذكر هنا بالنموذج المعتمد للشبكات وننوه إلى الطبقات التي نهتم بها في مقرر تراسل البيانات.

نموذج OSI

يتضمن نموذج OSI مكونين أساسيين: نموذجاً مجرداً للشبكات يعرف باسم النموذج المرجعي الأساسي أونموذج الطبقات السبع، ومجموعة من البروتوكولات المحددة.

الطبقات: يوصف المعيار ISO7498 تصميم نموذج الطبقات السبع، وهويستند على فكرة أساسية: تقسم المنظومة الشبكية إلى عدة طبقات، وفي كل طبقة هناك عدة مكونات تقدم وظائف مختلفة. وتتخاطب الطبقة مباشرة فقط مع الطبقة التي هي أدنى منها، كما تتيح للطبقة الأعلى استخدام وظائفها.

البروتوكولات: البروتوكول هولغة تخاطب، تتضمن العديد من المفردات المختلفة، وتستخدم للتواصل بين مكون لإحدى الطبقات الشبكية الموجودة على جهاز ما، وبين المكون المقابل من نفس الطبقة موجود على جهاز آخر.

وتقوم البروتوكولات بصياغة البيانات التي يجري تبادلها بين المكونات المتقابلة من نفس الطبقة على شكل وحدات للبيانات تعرف باسم وحدات بيانات البروتوكولات Protocol Data Units: PDU.

تنقسم وحدة البيانات إلى:

- الحمولة المفيدة payload، وهي البيانات التي يرغب البروتوكول بإرسالها، وتعرف باسم وحدة بيانات الخدمة service data unit (مثال: اسم الملف المطلوب).
- الترويسة و/أوالتذييل التي تضاف إلى الحمولة المفيدة وهي خاصة بالبروتوكول (مثال: عنوان مخدم الوب).

الطبقات وأدوارها:

يعرض الجدول التالي طبقات الشبكات المختلفة بحسب نموذج OSI مع اسم كل منها ودورها.

الطبقة	الوظيفة باختصار	مثال
7. طبقة التطبيقات Application	التواصل بين الإجرائيات، والتحقق من الهوية، وكل ما يهم التطبيقات من عمليات على البيانات.	Web browser
6. طبقة العرض Presentation	التوافق بين الصيغ المختلفة للبيانات التي يمكن أن تختلف من جهاز لآخر بسبب العتاديات أوأنظمة التشغيل.	JPEG, ASCII, MIME
5. طبقة الجلسة Session	تأسيس الاتصال بين الأطراف المختلفة (يمكن أن تكون أكثر من طرف).	HTTP, FTP, SMTP
4. طبقة النقل Transport	نقل البيانات بين أي جهازين، وإدارة تصحيح الأخطاء والتحكم بدفق البيانات.	TCP, UDP
3 طبقة الشبكات Network	نقل البيانات بين الأجهزة عبر الشبكات المختلفة.	IP, AppleTalk
2 طبقة ربط المعطيات Data Link	نقل وحدات البيانات بين نقطتين متصلتين عبر الطبقة الفيزيائية (أي ضمن شبكة واحدة).	PPP, IEEE802.2
1. الطبقة الفيزيائية Physical	نقل سلاسل البتات بشكلها الخام عبر الوسط الناقل	DSL, USB, ISDN

توجد وظائف الطبقة الرابعة فما فوق ضمن الأجهزة الانتهائية التي تتبادل المعلومات فيما بينها، أي أنه لا توجد أجهزة متخصصة في تقديم وظائف النقل مثلاً. أما وظائف الطبقة الثالثة والثانية والأولى، فهي وظائف شبكية تكون موجودة في أجهزة متخصصة لهذا الغرض. فالموجهات Routers هي أجهزة مصممة للطبقة الثالثة لإيجاد الطريق الأنسب لنقل البيانات، التي تكون على شكل طرود Packets في هذه الطبقة، من المصدر Source إلى الوجهة Destination.

نورد فيما يلي وصفاً مختصراً للطبقتين الأولى والثانية، الطبقة الفيزيائية وطبقة ربط المعطيات أوالبيانات، كون مواضيع مقرر تراسل البيانات هذا يهتم بهما بشكل أساسي.

- الطبقة الفيزيائية (الطبقة الأولى)

هذه الطبقة مسؤولة بشكل رئيسي عن تحويل سلاسل البتات إلى إشارات كهربائية أوأمواج كهرطيسية أوضوئية بما يناسب الوسط الناقل، وإرسالها عبر هذا الوسط.

تتضمن الطبقة الأولى لهذا الغرض العتاديات اللازمة لإرسال واستقبال البيانات على الوسط الناقل، وتكون معنية بتوصيف المكونات التالية:

- الحامل الفيزيائي
- مكونات منظومة مد الأسلاك
- الموائمات التي تربط الكبل مع البوابة الفيزيائية لبطاقة الشبكة أوما يكافئها
- مواصفات المآخذ ونقاط الوصل
- المكونات الفعالة مثل المكررات repeaters والمجمعات hub
- الهوائيات اللاسلكية
- بطاقات الشبكة

ومن أهم الأمثلة على أجهزة الطبقة الفيزيائية موديمات الاتصال بالحزمة العريضة التي تعرف باسم DSL. تستخدم هذه الموديمات للاتصال السريع على الشبكة الهاتفية. وقد تطور أداء هذه الموديمات عبر الزمن حتى باتت تتيح سرعات تفوق الـ 100 ميغا بت في الثانية 100 Mbps، مع أن الأسلاك نفسها لم تتغير.

- طبقة ربط المعطيات (الثانية)

هذه الطبقة مسؤولة بشكل رئيسي عن نقل البيانات بين جهازين ينتميان إلى نفس الشبكة الفيزيائية. ويشمل ذلك العديد من الوظائف مثل:

- تقطيع سلاسل البتات الواردة من الطبقة الفيزيائية إلى وحدات وبالعكس وتحديد بداية ونهاية كل وحدة. أي أن بروتوكولات التخاطب من الطبقة الثانية تقوم بإرسال واستقبال وحدات بيانات، وتعتمد صيغة الوحدة على نوع الشبكة، والصيغة الأكثر شيوعاً هي الإطار frame المستخدم في شبكات Ethernet.
- العنونة، بما فيها عنونة الأجهزة وتحديد عنوان المرسل والمستقبل ضمن وحدة البيانات، وتدعى العنونة في هذا المستوى بالعنونة الفيزيائية نظراً لارتباطها الوثيق بنوع التجهيزات المستخدمة.
- إدارة عملية إيصال وحدة البيانات من المصدر إلى الوجهة، وقد يشمل ذلك أيضاً تنظيم عملية استخدام الوسط الناقل عندما يكون مشتركاً بين عدة أجهزة.
- اكتشاف الأخطاء بهدف التحقق من صحة محتوى وحدات البيانات عند الوصول.

ومن أهم الأجهزة المستخدمة في الطبقة الفيزيائية الجسور bridges والمبدلات switches.

4. مذاكرة:

درجة واحدة لكل سؤال، وعلامة النجاح 3/5

1. يحصل تراسل البيانات عندما نصل جهازين بسلك.
   a. صح
   b. خطأ

(راجع تعريف تراسل البيانات)

2. يتكون نظام تراسل البيانات من
   a. 5 عناصر
   b. 4 عناصر
   c. 3 عناصر
   d. جهازين وسلك يصل بينهما

(راجع مكونات نظام تراسل البيانات)

3. يمكن أن تكون الأجهزة المتصلة بنظام تراسل البيانات
   a. كل جهاز يمكن ربطه ضمن ما يعرف بـ Internet of things
   b. حواسيب فقط
   c. هواتف ذكية فقط
   d. محطات إرسال واستقبال فقط

(راجع مكونات نظام تراسل البيانات)

4. يكون وسط الإرسال في الاتصالات اللاسلكية
   a. الأسرك النحاسية
   b. الكوابل المحورية
   c. الهواء
   d. الألياف البصرية

(راجع مكونات نظام تراسل البيانات)

5. في نمط الإرسال Half-duplex يمكن إرسال البيانات

a. باتجاه واحد فقط

b. بالاتجاهين وفي نفس الوقت

c. بالاتجاهين لكن ليس في نفس الوقت

d. لاسلكياً فقط

(راجع دفق البيانات)

الإجابات الصحيحة:

رقم التمرين	الإجابة الصحيحة
1	b
2	a
3	a
4	c
5	c

الفصل الثاني:
البيانات والإشارات Data and Signals

عنوان الموضوع:

البيانات والإشارات Data and Signals

الكلمات المفتاحية:

البيانات التمثيلية Analog Data، البيانات الرقمية Digital Data، الإشارات التمثيلية Analog signals، الإشارات الرقمية Digital signals، الإشارات الدورية periodic signals، الإشارات غير الدورية aperiodic signals، الإشارات البسيطة simple signals، الإشارات المركبة composite signals، الإشارة الجيبية Sine Wave، المطال الأعظمي Peak Amplitude، الدور Period، التردد Frequency، الطور Phase، طول الموجة Wavelength، المجال الزمني Time domain، المجال الترددي Frequency domain، التردد الأساسي Fundamental frequency، التوافقيات Harmonics، الإشارة المربعة Square signal، الطيف Spectrum، عرض حزمة الإشارة Signal bandwidth، عرض الحزمة الفعلي Effective bandwidth.

الملخص:

نتعرف في هذا الفصل على أنواع الإشارات والبيانات التمثيلية والرقمية، المستمرة والمتقطعة، الدورية وغير الدورية، ونتعرف بشكل خاص على الإشارة الجيبية، وخواصها من حيث المطال والدور والتردد والطور وطول الموجة، وتمثيل الإشارات في المجالين الزمني والترددي. ونختم بشرح مفهوم عرض حزمة الإشارة، وعرض الحزمة الفعلي.

الأهداف التعليمية:

يتعرف الطالب في هذا الفصل على:

- أنواع الإشارات والبيانات التمثيلية والرقمية، المستمرة والمتقطعة، الدورية وغير الدورية.
- خواص الإشارة الجيبية من حيث المطال والدور والتردد والطور وطول الموجة.
- تمثيل الإشارات في المجالين الزمني والترددي.
- مفهوم عرض حزمة الإشارة، وعرض الحزمة الفعلي.

المخطط:

1. مقدمة Introduction
2. البيانات التمثيلية والرقمية Analog and Digital Data
3. الإشارات التمثيلية والرقمية Analog and Digital Signals
4. الإشارات التمثيلية الدورية Periodic Analog Signals
5. الإشارات في المجالين الزمني والترددي Signals in Time and Frequency Domains
6. الإشارات المركبة Composite Signals
7. عرض حزمة الإشارة Signal bandwidth
8. الخلاصة Conclusion

1. مقدمة Introduction:

تختصّ الطبقة الفيزيائية من الشبكة بمهام معقدة، من أهمها تقديم الخدمات لطبقة ربط البيانات. تتكون البيانات في طبقة ربط البيانات من أصفار وواحدات (0s and 1s) على شكل إطارات Frames جاهزة للإرسال عبر وسط النقل. الطبقة الفيزيائية مسؤولة عن تحويل هذه الإطارات إلى إشارات كهربائية (أو أمواج كهرطيسية) مناسبة للإرسال عبر وسط النقل المتاح. يمثل تشكيل هذه الإشارات إحدى الخدمات المقدمة من الطبقة الفيزيائية لتمثيل سلاسل الأصفار والواحدات.

تختصّ الطبقة الفيزيائية أيضاً بالتحكم بوسط النقل؛ فيحدد اتجاه جريان البيانات، وقنوات الاتصالات الاعتبارية لنقل البيانات من مصادر مختلفة.

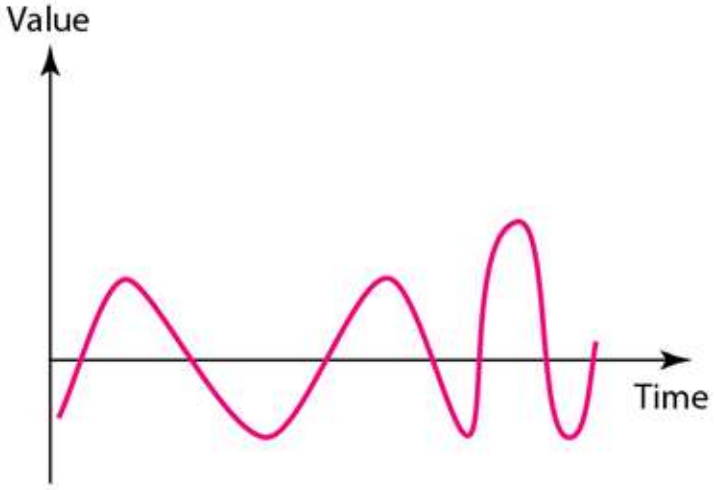
2. البيانات التمثيلية والرقمية Analog and Digital Data:

يمكن أن تكون البيانات تمثيلية أو رقمية. تتميّز البيانات التمثيلية بطبيعتها المستمرة، على عكس البيانات الرقمية التي تتميّز بطبيعتها المتقطعة. صوت الإنسان مثال على البيانات التمثيلية التي تأخذ قيماً مستمرة. أما البيانات المخزنة في ذاكرة الحاسوب فهي مثال على البيانات الرقمية، لأنها تأخذ قيماً متقطعة من الأصفار والواحدات.

3. الإشارات التمثيلية والرقمية Analog and Digital Signals:

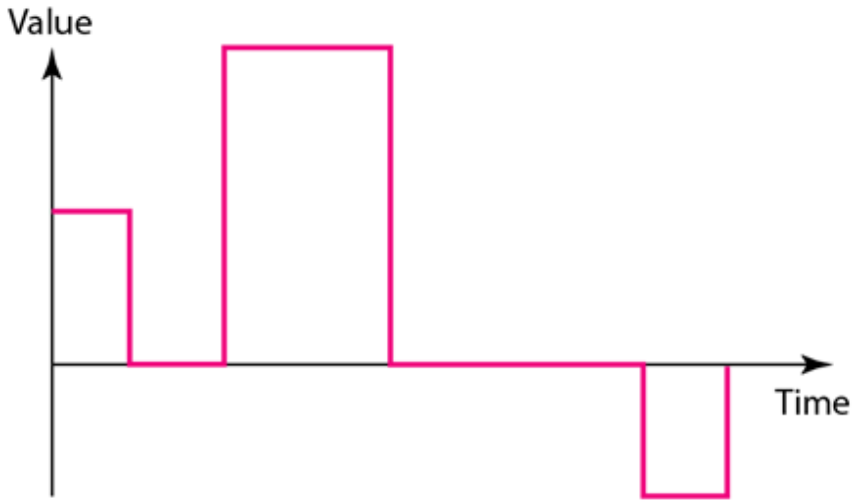
يمكن أن تكون الإشارات التي تمثل البيانات تمثيلية أو رقمية. تأخذ الإشارات التمثيلية قيماً لا نهائية خلال فترة محدودة من الزمن؛ لكن تأخذ الإشارات الرقمية عدداً محدوداً ومعرفاً من القيم.

يبين الشكل-1 إشارة تمثيلية مرسومة على محورين، يمثل المحور الأفقي الزمن، ويمثل المحور الشاقولي قيم الإشارة. نلاحظ أن المنحني الذي يمثل الإشارة التمثيلية يمر بعدد لا نهائي من القيم.



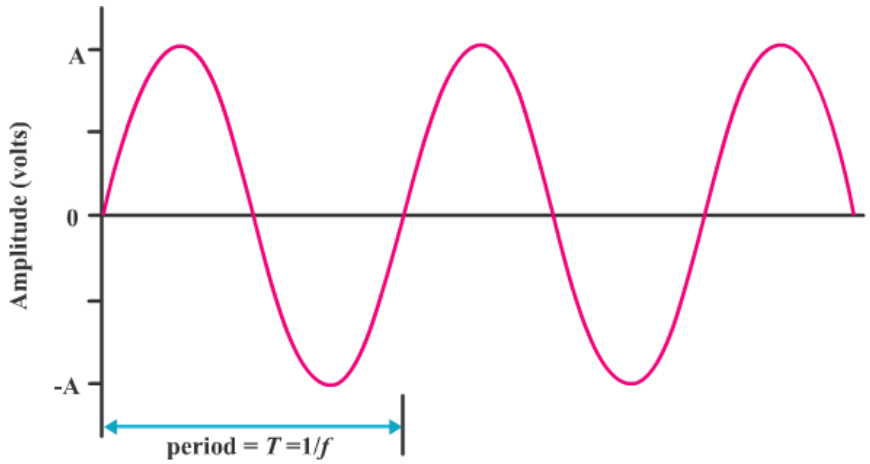
الشكل-1: الإشارة التمثيلية

ويبين الشكل–2 إشارة رقمية مرسومة على محورين، يمثل المحور الأفقي الزمن، ويمثل المحور الشاقولي قيم الإشارة. نلاحظ أن المنحني الذي يمثل الإشارة الرقمية يأخذ عدداً محدوداً من القيم ممثلة بالخطوط الأفقية، وتنتقل الإشارة من قيمة لأخرى بقفزات متقطعة.

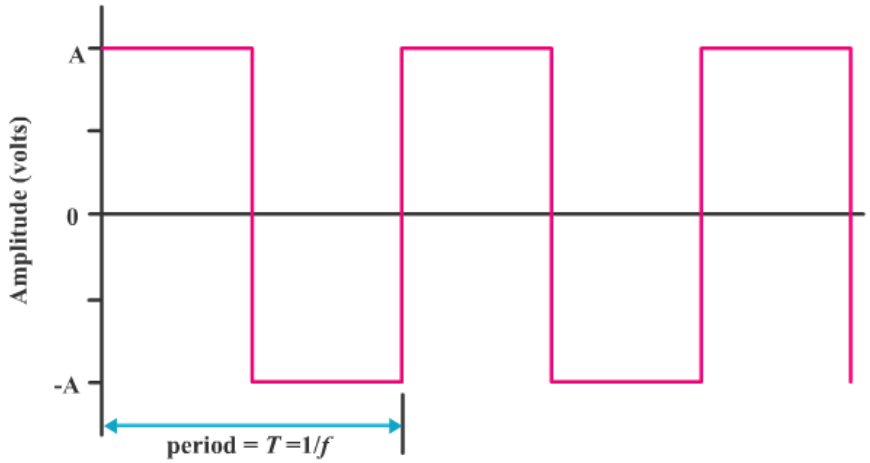


الشكل–2: الإشارة الرقمية

يمكن أن تكون الإشارات الرقمية أو التمثيلية إما دورية periodic أو غير دورية nonperiodic or aperiodic تتبع الإشارات الدورية نموذجاً pattern محدداً خلال فترة زمنية قابلة للقياس ويتكرر هذا النموذج مع الزمن. عندما تنهي الإشارة نموذجاً واحداً، نسمي ذلك دورة Cycle. أما الإشارات غير الدورية فليس لها نموذج محدد يتكرر خلال فترات زمنية ثابتة. يبين الشكل–3 (a) إشارة دورية تمثيلية هي الإشارة الجيبية، ويبين الشكل–3 (b) إشارة دورية رقمية هي الإشارة المربعة.



(a) Sine wave



(b) Square wave

الشكل–3 إشارة دورية تمثيلية هي الإشارة الجيبية (a) وإشارة دورية رقمية هي الإشارة المربعة (b).

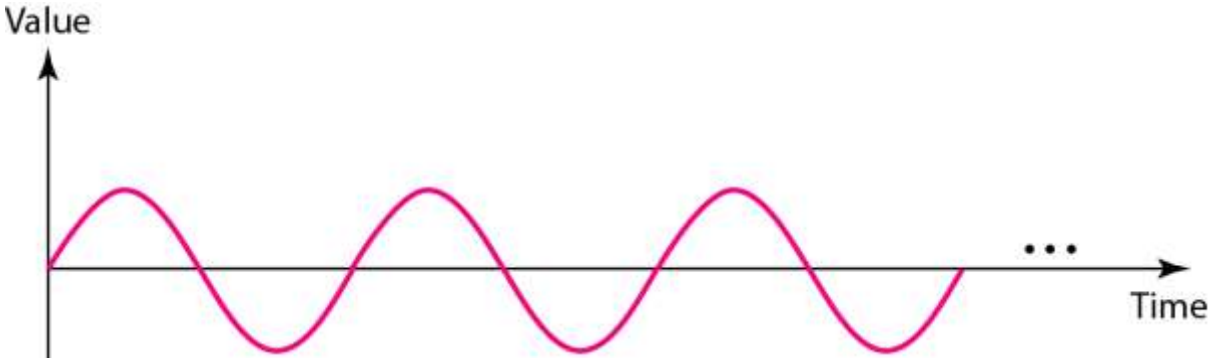
الإشارات الأكثر استخداماً في نظم تراسل البيانات هي الإشارات التمثيلية الدورية والإشارات الرقمية غير الدورية.

4. الإشارات التمثيلية الدورية Periodic Analog Signals:

يمكن تصنيف الإشارات التمثيلية الدورية في صنفين: الإشارات البسيطة simple والإشارات المركبة composite. الإشارات التمثيلية الدورية البسيطة، مثل الإشارات الجيبية sine wave، هي الإشارات التي لا يمكن تحليلها إلى إشارات أبسط منها. بينما تتكون الإشارات التمثيلية الدورية المركبة من عدة إشارات جيبية. لذلك سوف نهتم بدراسة خواص الإشارة الجيبية.

أ. الإشارة الجيبية Sine Wave

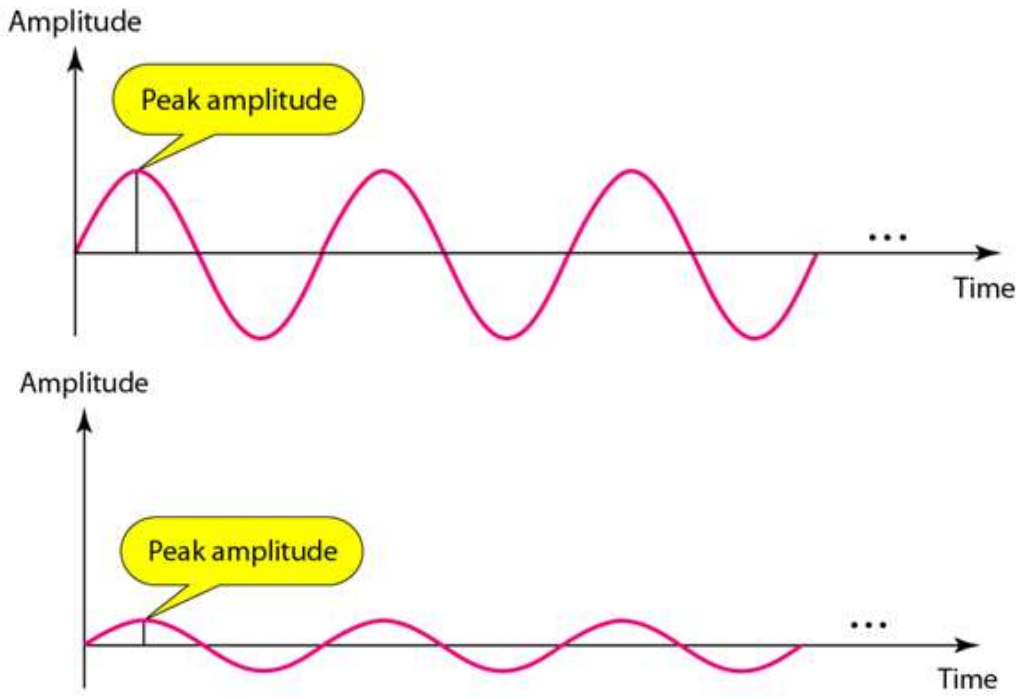
يبين الشكل-4 تغيرات الإشارة الجيبية مع الزمن.



الشكل-4: الإشارة الجيبية

نحتاج لثلاثة محددات parameters حتى نوصف الإشارة الجيبية تماماً. هذه المحددات هي:

- المطال الأعظمي Peak Amplitude: يحدد المطال الأعظمي للإشارة القيمة المطلقة لأعلى شدة للإشارة، نسبة للطاقة التي تحملها الإشارة. نقيس المطال العظمي للإشارة الكهربائية بالفولط volts. يبين الشكل-5 إشارة جيبية بمطالين مختلفين.



الشكل-5: إشارة جيبية بمطالين مختلفين

- الدور والتردد Period and Frequency: يمثل الدور الفترة الزمنية، بالثواني seconds، التي تحتاجها الإشارة الدورية لتكمل دورة واحدة. ويمثل التردد عدد الدورات في ثانية واحدة. لاحظ أن الدور والتردد تمثيل لمحدد واحد للإشارة بطريقتين، تربطهما العلاقة العكسية التالية:

$$T = \frac{1}{f} \cdots and \cdots f = \frac{1}{T}$$

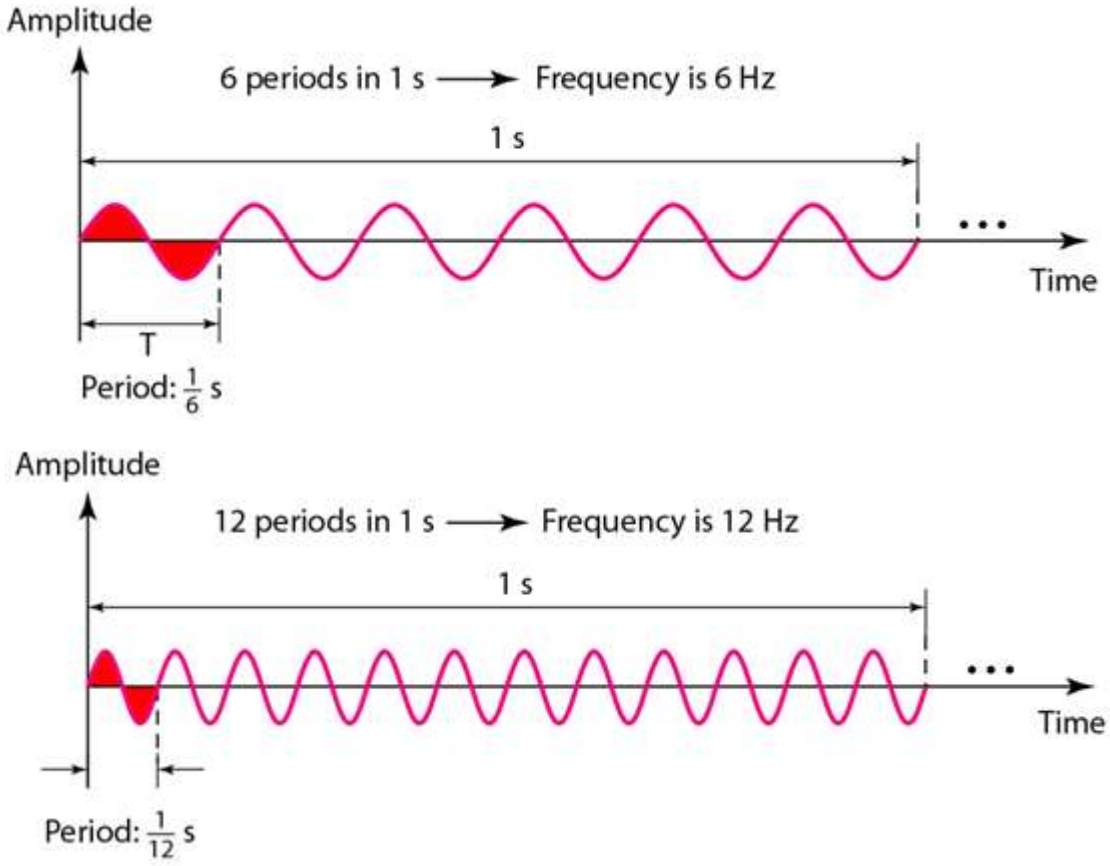
حيث يمثل T الدور ويقدَّر بالثواني، ويمثل f التردّد ويقدَّر بالهرتز Hz.

يبين الشكل–6 إشارة جيبية بترددين مختلفين.

لاحظ أن الإشارة ذات التردد الأعلى لها معدل تغير أعلى مع الزمن (عدد دورات أكبر خلال ثانية واحدة). أي يمكن تعريف التردد على أنه معدل التغير مع الزمن. فعندما نقارن تغيرات إشارتين خلال فترة زمنية محددة، الإشارة التي تتغير بشكل أسرع، تكون ذات تردد أعلى.

ب. حالتان حديتان:

- الإشارة الثابتة مع الزمن (لا تتغير أبداً) يكون ترددها معدوماً (0 Hz)، مثل إشارة التيار المستمر DC.
- الإشارة التي تتغير آنياً مع الزمن، يكون ترددها لا نهائياً، مثل الإشارة الرقمية عندما تتغير آنياً من المستوى الموجب إلى السالب.



الشكل–6 إشارة جيبية بترددين مختلفين.

يبين الجدول–1 الوحدات المستخدمة للدور والتردد.

Unit	*Equivalent*	*Unit*	*Equivalent*
Seconds (s)	1 s	Hertz (Hz)	1 Hz
Milliseconds (ms)	10^{-3} s	Kilohertz (kHz)	10^{3} Hz
Microseconds (μs)	10-6 s	Megahertz (MHz)	10^{6} Hz
Nanoseconds (ns)	10^{-9} s	Gigahertz (GHz)	10^{9} Hz
Picoseconds (ps)	10^{-12} s	Terahertz (THz)	10^{12} Hz

الجدول–1: وحدات الدور والتردد

أمثلة محلولة

- تردد التيار الكهربائي الذي يغذي المنازل يساوي 50 Hz، فيكون دوره

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0.02\,\text{s} = 20\,\text{ms}$$

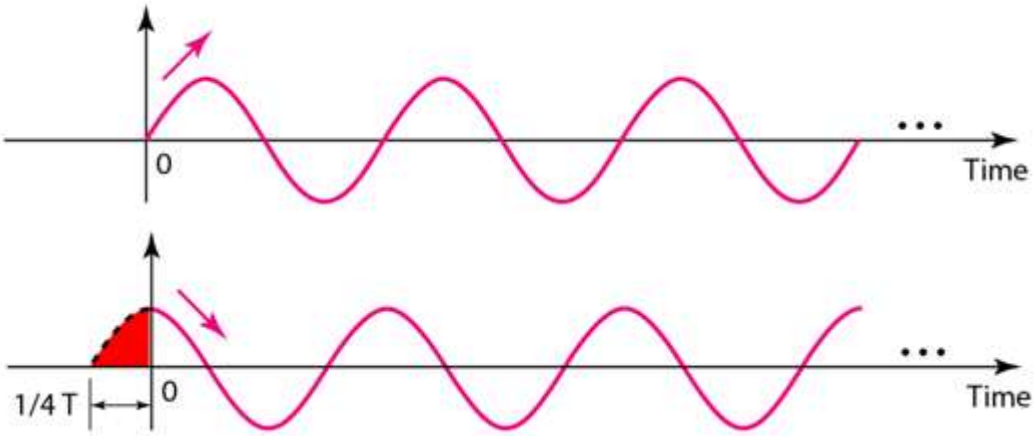
- إشارة جيبية بمعدل 1000 دورة خلال 20 ms فيكون ترددها

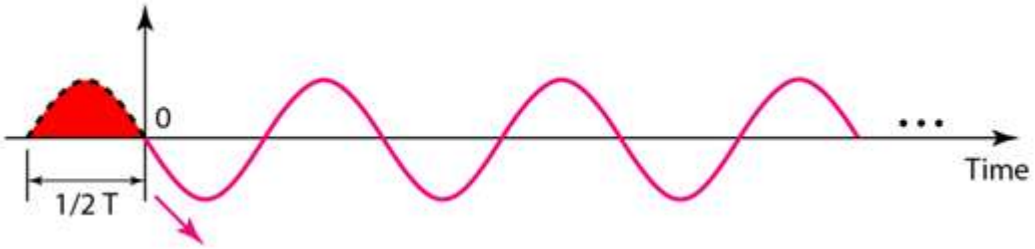
$$f = \frac{1000}{20\,\text{ms}} = \frac{10^{3}}{20\times10^{-3}} = 0.05\times10^{6}\,\text{Hz} = 50\,\text{kHz}$$

- إشارة جيبية ترددها 50 MHz فيكون دورها

$$T = \frac{1}{50\times10^{6}} = 0.02\times10^{-6}\,\text{s} = 20\,\text{ns}$$

- الطور Phase: يوصف الطور موضع الإشارة في اللحظة $t = 0$. أو يوصف انزياح الإشارة على محور الزمن بشكل متقدم أو متأخر. أي يدل على حالة الدورة الأولى للإشارة الجيبية. يقاس الطور بالدرجات degrees أو بالراديان radians. الدورة الكاملة للإشارة الجيبية تقابل 360° أو 2π rad. فالطور مقدار نسبي وليس مطلق، نقيس طور الإشارة الجيبية بالنسبة للإشارة المرجعية في الشكل–7 (الإشارة الأولى من الأعلى)، حيث يكون طور هذه الإشارة معدوماً. بالنسبة لهذه الإشارة المرجعية، يكون طور الإشارة الثانية من الأعلى في الشكل–7 مساوياً 90°، أي مزاحة بمقدار ربع دور، ويكون طور الإشارة الثالثة من الأعلى في الشكل–7 مساوياً 180°، أي مزاحة بمقدار نصف دور.





الشكل–7: إشارات جيبية لها نفس المطال والتردد لكن بطور مختلف.

لاحظ أن

1. الإشارة الجيبية التي طورها معدوم $0°$ تبدأ في اللحظة $t=0$ بمطال معدوم، ثم يتزايد مع الزمن باتجاه السهم.
2. الإشارة الجيبية التي طورها معدوم $90°$ تبدأ في اللحظة $t=0$ بمطال أعظمي، ثم يتناقص مع الزمن باتجاه السهم.
3. الإشارة الجيبية التي طورها معدوم $180°$ تبدأ في اللحظة $t=0$ بمطال معدوم، ثم يتناقص مع الزمن باتجاه السهم.

مثال:

إشارة جيبية مزاحة بمقدار $1/6$ الدورة الواحدة بالنسبة للحظة $t=0$. ما هو طورها بالدرجات والراديان؟

نعلم أن الدورة الكاملة للإشارة الجيبية تقابل $360°$ أو $2\pi\,\text{rad}$، فيكون $1/6$ الدورة:

$$\frac{1}{6}\times 360° = 60° = 60°\times\frac{2\pi}{360°} = \frac{\pi}{3}\,\text{rad} = 1.046\ \text{rad}$$

طول الموجة Wavelength: يوصف طول الموجة الإشارة أو الموجة الكهرطيسية التي تنتشر على طول وسط النقل من المرسل إلى المستقبل. طول الموجة هو المسافة التي تنتقل عليها الإشارة لإتمام دور واحد. يتعلق طول الموجة بالتردد (المستقل عن الوسط) وبسرعة الانتشار (التي لها علاقة مباشرة بالوسط) وفق العلاقة التالية:

$$\lambda = \frac{v_p}{f}$$

يمثل v_p سرعة الانتشار في الوسط، وفي الخلاء يكون لدينا كما نعلم $v_p = c = 3\times10^8\,\text{m/s}$.

يقاس طول الموجة بالمتر. بالنسبة للضوء، يقاس طول الموجة بالـ μm.

على سبيل المثال، طول موجة الضوء الأحمر في الهواء (تردد الضوء الأحمر $4\times10^{14}\,\text{Hz}$):

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3\times10^8}{4\times10^{14}} = 0.75\times10^{-6}\,\text{m} = 0.75\ \mu\text{m}$$

ويصبح طول موجة الضوء الأحمر في الليف البصري أقصر $(0.5\ \mu\text{m})$.

يبين الشكل–8 إشارات جيبية بخواص متغيرة من حيث المطال والتردد والطور.

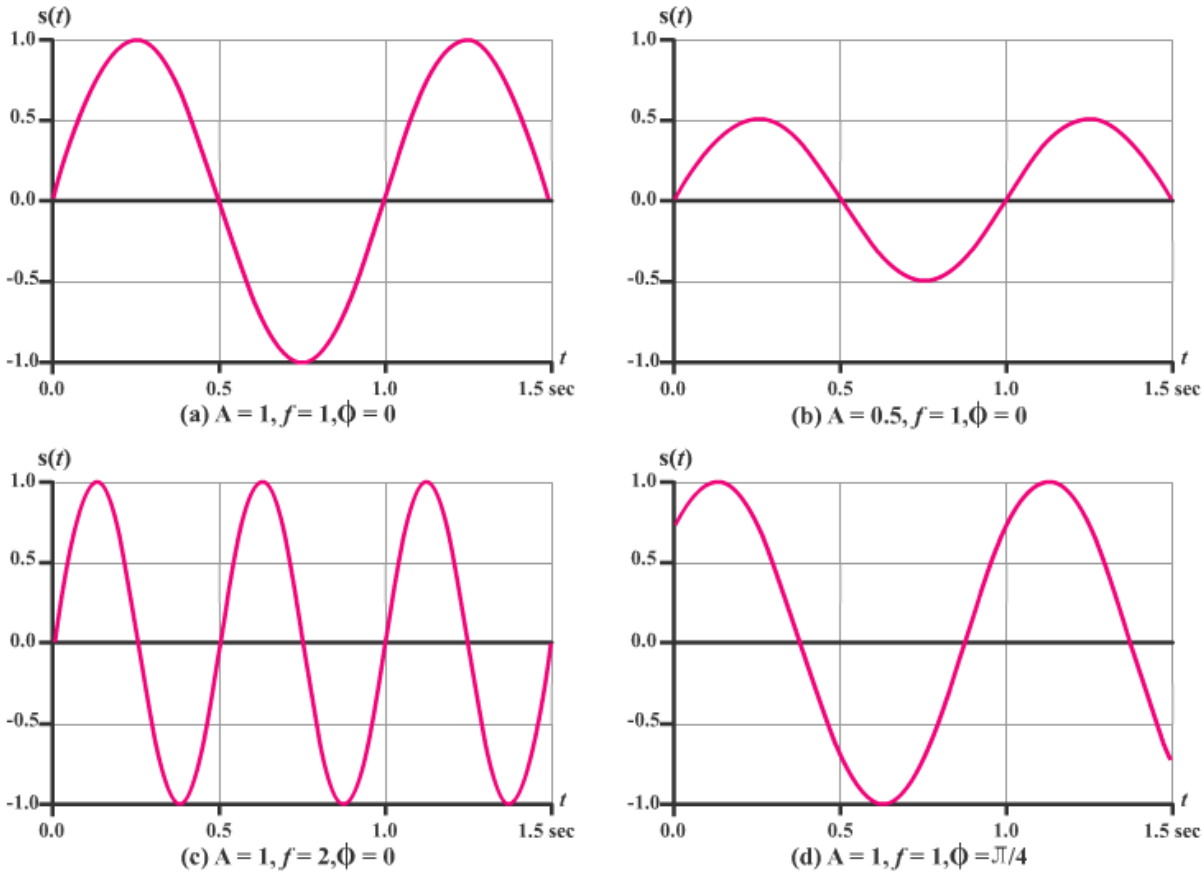
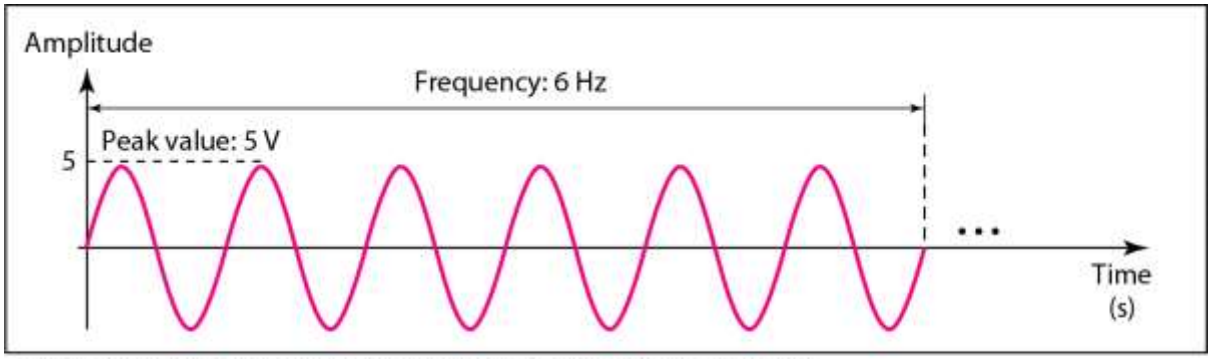


Figure 3.3 $s(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$

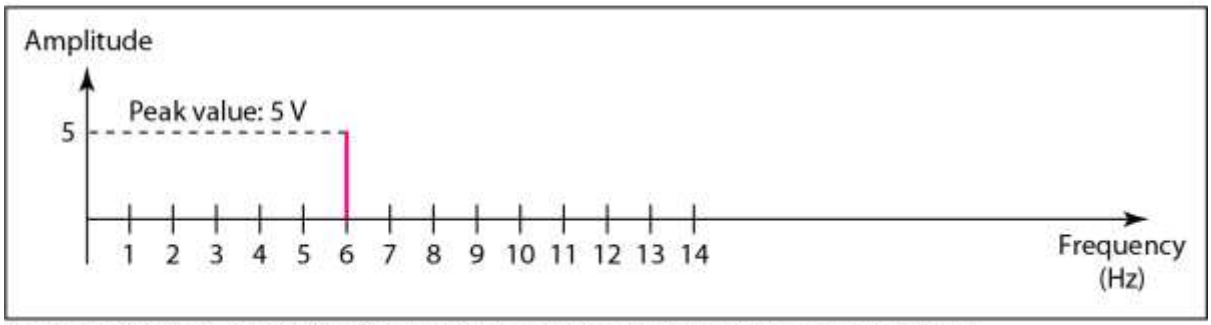
الشكل–8 إشارات جيبية بخواص متغيرة من حيث المطال والتردد والطور.

5. الإشارات في المجالين الزمني والترددي Signals in Time and Frequency Domains:

رأينا أعلاه أن الإشارة الجيبية توصف بشكل كامل بالمحددات الثلاثة وهي المطال والتردد والطور، ورسمنا شكل هذه الإشارة في المجال الزمني (كما في الشكل–8)، حيث يظهر المنحني المرسوم تغيرات مطال الإشارة مع الزمن. لإظهار العلاقة بين المطال والتردد، يمكن أن نرسم الإشارة في المجال الترددي، حيث يبين هذا الرسم المطال الأعظمي عند كل تردد. يبين الشكل–9 إشارة جيبية مرسومة في المجالين الزمني والترددي. يسمى شكل الإشارة في المجال الزمني بالطيف spectrum.



a. A sine wave in the time domain (peak value: 5 V, frequency: 6 Hz)



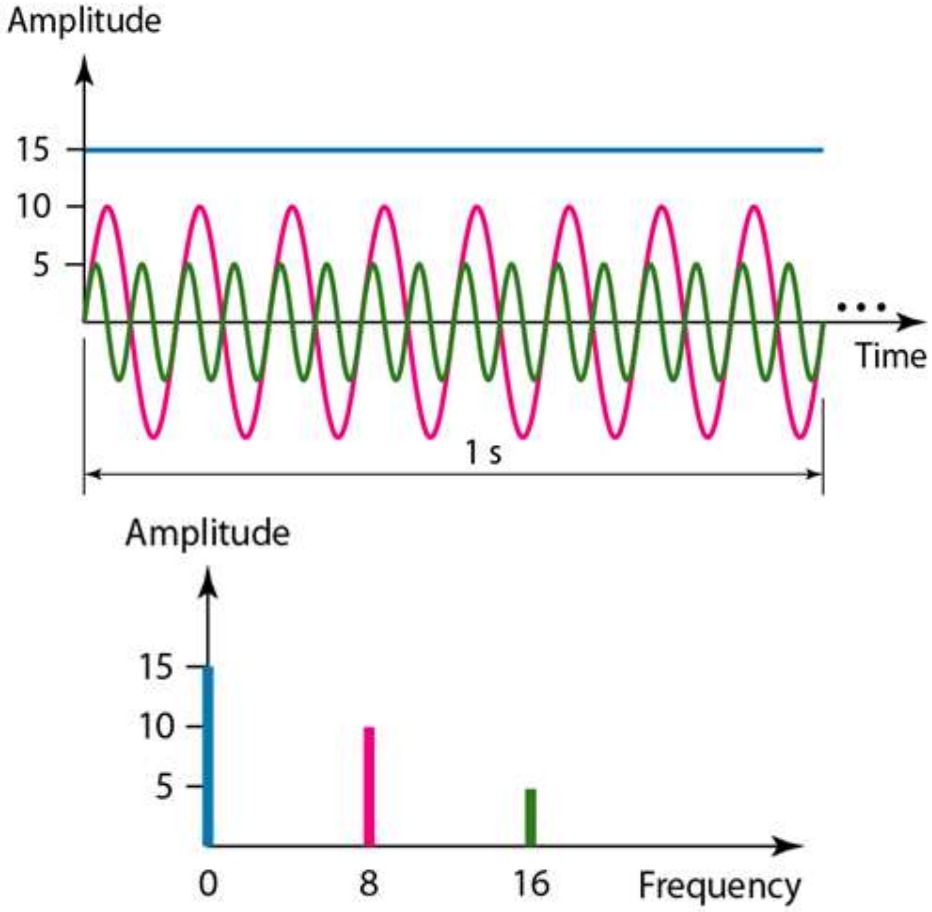
b. The same sine wave in the frequency domain (peak value: 5 V, frequency: 6 Hz)

الشكل–9 إشارة جيبية في المجالين الزمني والترددي.

لاحظ في الشكل–9 أن الإشارة الجيبية في المجال الترددي ممثلة بنبضة spike (تسمى نبضة ديراك Dirac)، يكون موضعها على المحور الأفقي هو تردد الإشارة (6 Hz) وارتفاعها على المحور الشاقولي هو المطال الأعظمي (5 V).

مثال

يبين الشكل–10 ثلاث إشارات جيبية كل منها بمطال وتردد مختلف في المجالين الزمني والترددي. لاحظ أن تمثيل الإشارات في المجال الترددي مضغوط ويظهر ثلاث نبضات عند تردد كل إشارة جيبية. ولاحظ أن الإشارة المستمرة ممثلة بنبضة عند التردد صفر.



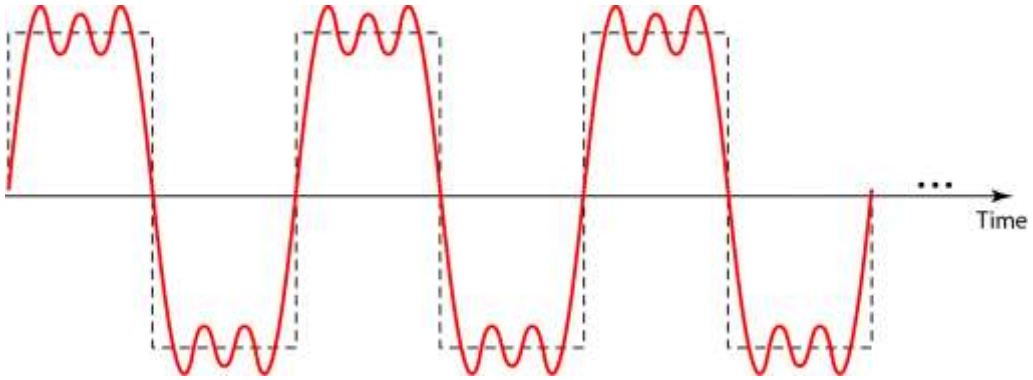
الشكل–10 ثلاث إشارات جيبية كل منها بمطال وتردد مختلف في المجالين الزمني والترددي.

6. الإشارات المركبة Composite Signals:

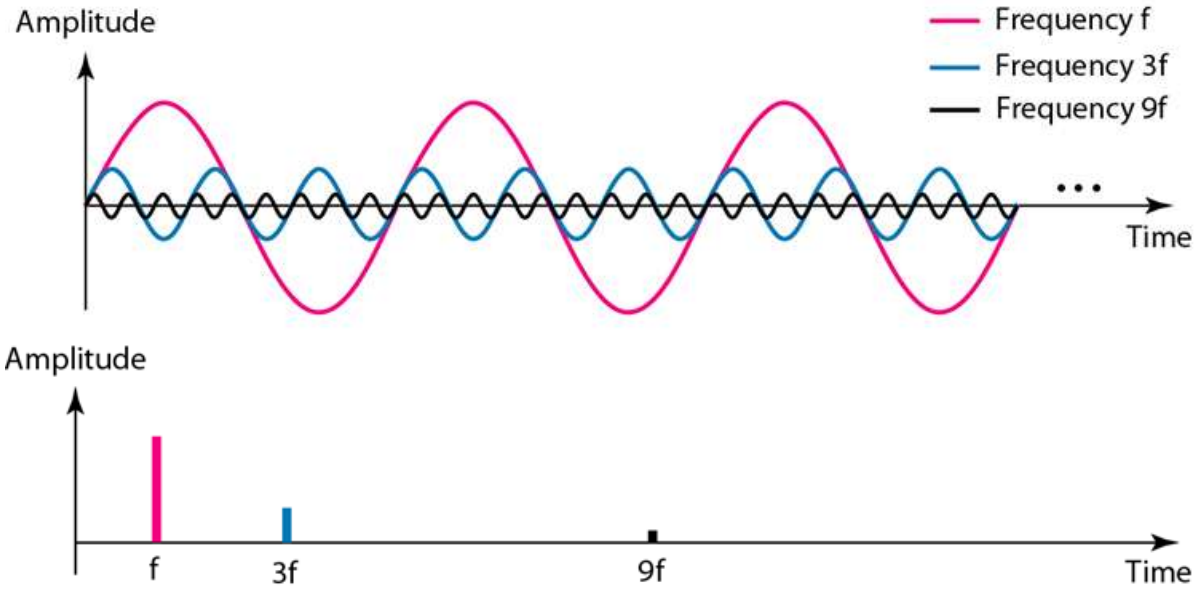
درسنا فيما سبق الإشارة الجيبية وهي إشارة بسيطة. إنها تستخدم في تطبيقات عديدة في حياتنا اليومية، مثل التيار الكهربائي الذي يغذي المنازل، وهو موجة جيبية بتردد 50 Hz. لكننا نحتاج في نظم الاتصالات وتراسل البيانات لنقل معلومات، أي إشارة مركبة مكونة من أكثر من إشارة جيبية (أكثر من تردد). فالإشارة الجيبية البسيطة غير مفيدة في هذه الحالة ولا تحمل معلومات، إنما تستخدم كحامل carrier للمعلومات.

يمكن أن تكون الإشارة المركبة دورية أو غير دورية. ويمكن تحليل الإشارة المركبة الدورية إلى سلسلة من الإشارات الجيبية بترددات متقطعة. بينما تتكون الإشارة المركبة غير الدورية من تركيب عدد لا نهائي من الإشارات الجيبية بترددات مستمرة.

كمثال على الإشارة المركبة الدورية، الإشارة باللون الأحمر في الشكل-11، وهي تركيب لثلاث إشارات جيبية مبينة في الشكل-12 بيترددات f و $3f$ و $9f$. نلاحظ أن طيف الإشارة مكون من ثلاث ترددات متقطعة.



الشكل-11: إشارة دورية مركبة

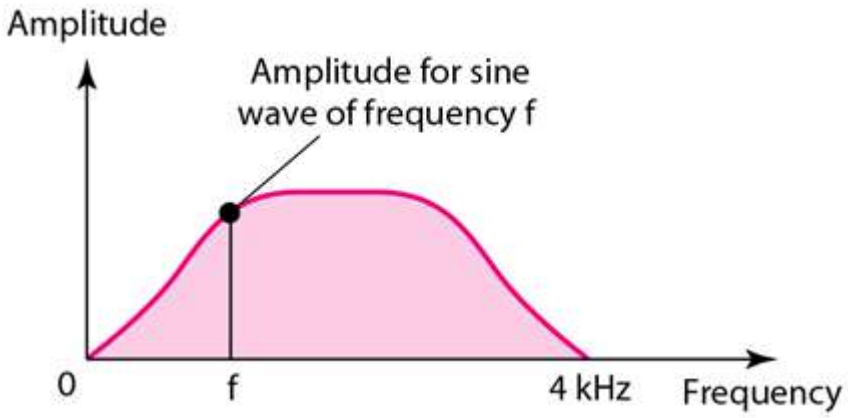


الشكل-12: ثلاث إشارات جيبية مكونة للإشارة في الشكل-11

وكمثال على الإشارة المركبة غير الدورية، الإشارة باللون الأحمر في الشكل–13، وهي الإشارة التي ينتجها المايكروفون أو جهاز الهاتف عندما نلفظ كلمة أو كلمتين.

الشكل–13: إشارة مركبة غير دورية

من المعروف أن الإنسان ينتج أصواتاً بترددات تصل حتى 4000 Hz. لذلك نلاحظ في الشكل–14 أن طيف الإشارة الكلامية للإنسان يكون مستمراً على المجال [4000 – 0] Hz.



الشكل–14 طيف الإشارة الكلامية للإنسان

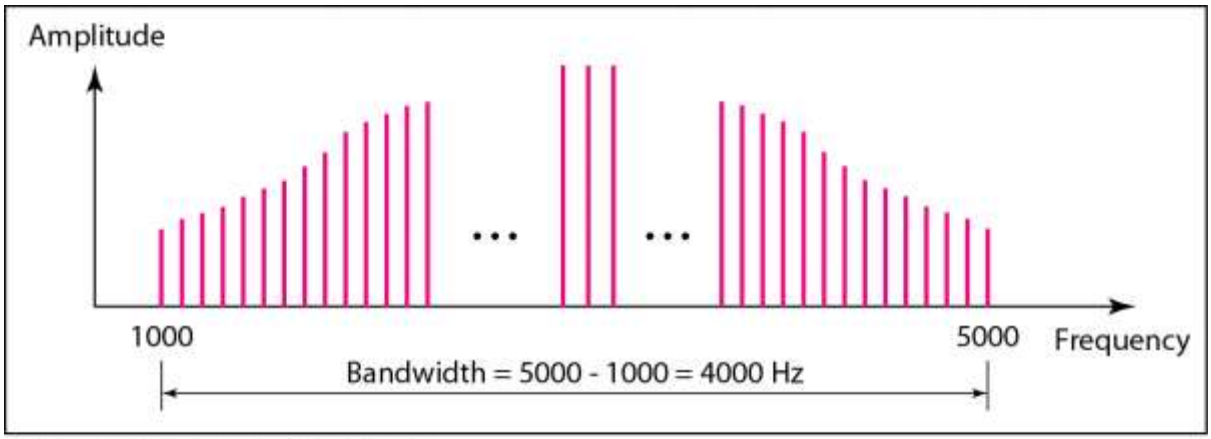
7. عرض حزمة الإشارة Signal bandwidth:

نعرف عرض حزمة الإشارة بأنه الترددات المحتواة في الإشارة المركبة، ويمثل الفرق بين أعلى تردد وأقل تردد، بغض النظر عن كون طيف الإشارة متقطعاً أو مستمراً. يبين الشكل-15 (a) طيف إشارة مركبة دورية يحتوي ترددات متقطعة بين 1000 Hz و5000 Hz، فيكون عرض حزمة هذه الإشارة:

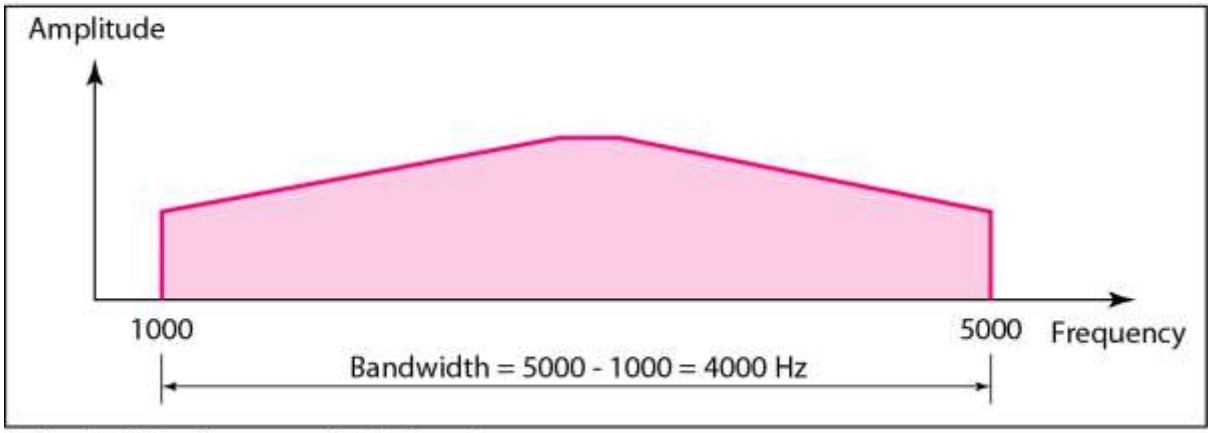
$$5000 - 1000 = 4000\,\text{Hz}$$

ويبين الشكل-15 (b) طيف إشارة مركبة غير دورية يحتوي ترددات مستمرة بين 1000 Hz و5000 Hz، فيكون عرض حزمة هذه الإشارة أيضاً:

$$5000 - 1000 = 4000\,\text{Hz}$$



a. Bandwidth of a periodic signal

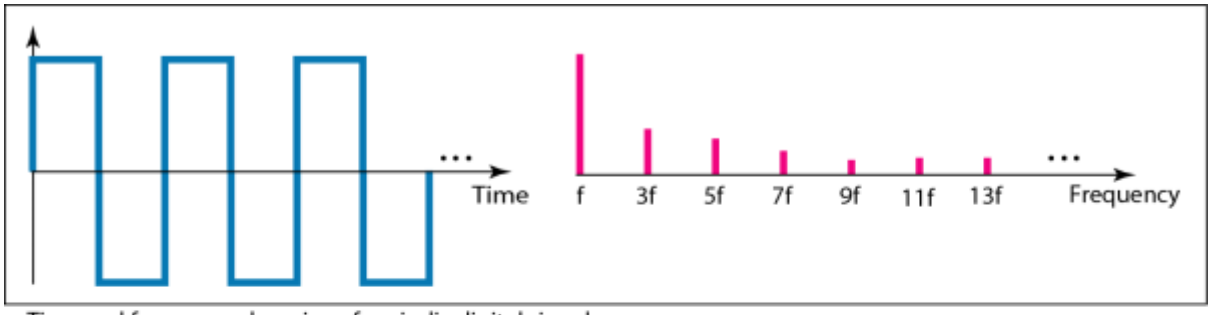


b. Bandwidth of a nonperiodic signal

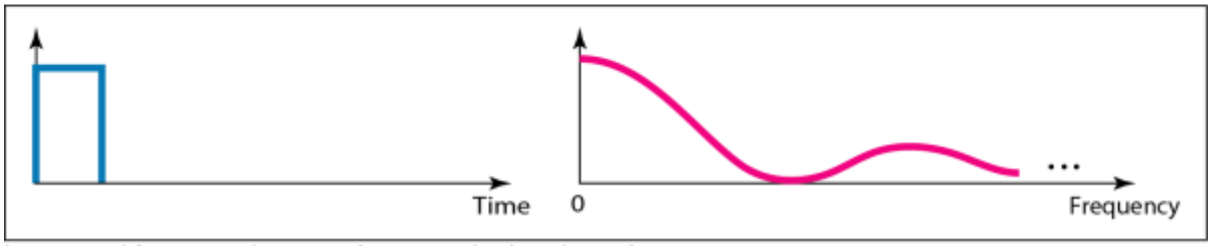
الشكل-15 (a) طيف إشارة مركبة دورية، (b) طيف إشارة مركبة غير دورية

1.7.عرض الحزمة الفعلي Effective bandwidth:

يظهر الشكل-16 مثالاً آخر لإشارتين: (a) إشارة مربعة دورية square signal مع طيفها، و(b) نبضة pulse signal مع طيفها. نلاحظ في الحالتين أن الطيف لا نهائي. لكن هذا الطيف في الحالتين يحتوي على العديد من الترددات بمطال منخفض (أو طاقة منخفضة) مقارنة بالترددات الأخرى، وبالتالي تكون مساهمة هذه الترددات في تشكيل الإشارة مهملاً.



a. Time and frequency domains of periodic digital signal



b. Time and frequency domains of nonperiodic digital signal

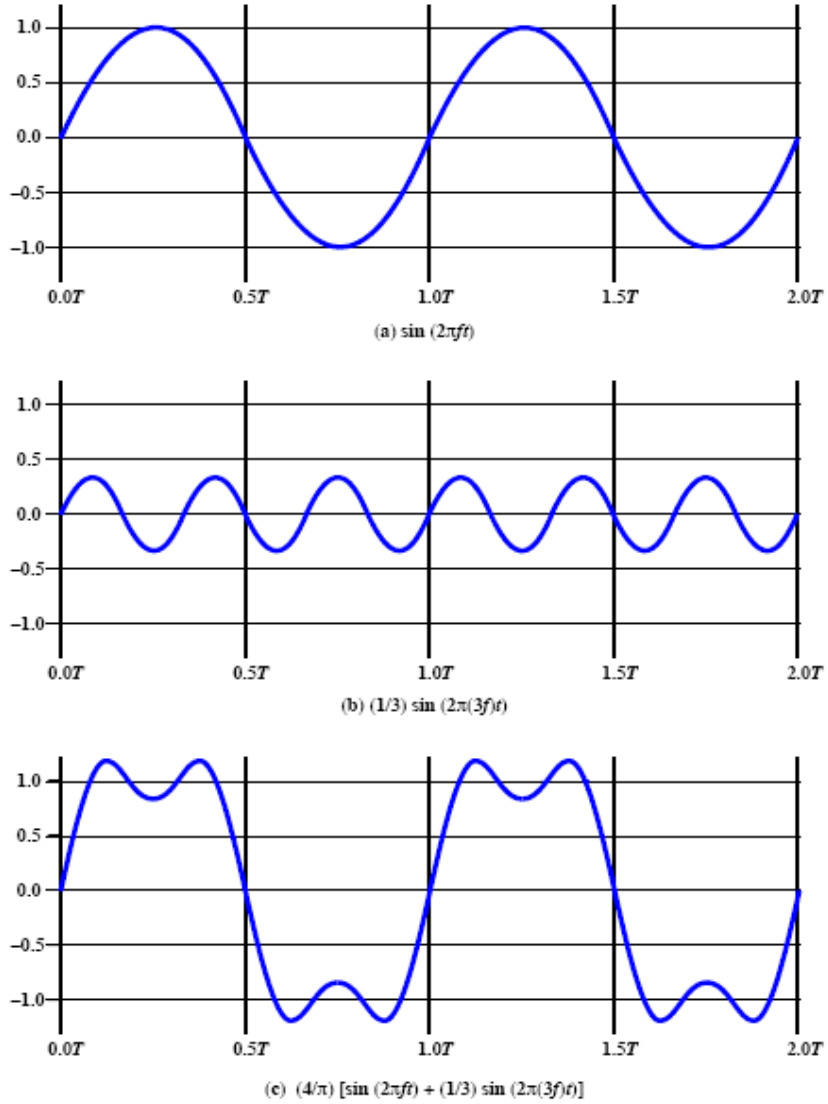
الشكل-16: (a) إشارة مربعة دورية مع طيفها، و(b) نبضة مع طيفها.

نعرف في هذه الحالة عرض الحزمة الفعلي بأنه مجال الترددات ذات المساهمة الفعلية في تشكيل الإشارة (أي ذات طاقة غير مهملة)، ويكون عرض الحزمة الفعلي محدوداً، وهذا متوافق مع الحالات العملية، لأنه لا يمكن الحصول على وسط نقل يسمح بنقل مجال ترددي لا نهائي.

2.7. اختيار عرض الحزمة الفعلي:

بناءً على هذا التعريف، يمكن اعتبار عرض الحزمة الفعلي للإشارة في الشكل–16 (a) مساوياً $5f - f = 4f$؛ حيث $f = 1/T$ ويسمى بالتردد الأساسي Fundamental frequency، وتسمى مضاعفاته بالتوافقيات Harmonics، فتكون $3f$ هي التوافقية الثالثة، و $5f$ هي التوافقية الخامسة وهكذا. كما يمكن اعتبار عرض الحزمة الفعلي للإشارة في الشكل–16 (a) مساوياً $7f - f = 6f$؛ يعتمد اختيار عرض الحزمة الفعلي على الدقة المتوخاة لشكل الإشارة المرسلة (عدد التوافقيات المراد إرسالها) من جهة، وعلى عرض حزمة قناة الاتصال المتاحة لنقل الإشارة.

لتوضيح ذلك، رأينا في الشكل–16 (a) أنه للحصول على إشارة مربعة تماماً يجب أن نجمع عدداً لا نهائياً من الإشارات الجيبية ذات التوافقيات الفردية $f, 3f, 5f, \cdots$. لكن يمكن الحصول على إشارة قريبة بالشكل من الإشارة المربعة بجمع الإشارات الجيبية ذات التوافقيات ضمن عرض الحزمة الفعلي. فإذا اخترنا عرض الحزمة الفعلي الذي يحتوي التوافقيتان الأساسية والثالثة، يكون شكل الإشارة الناتجة كما في الشكل–17 (c).



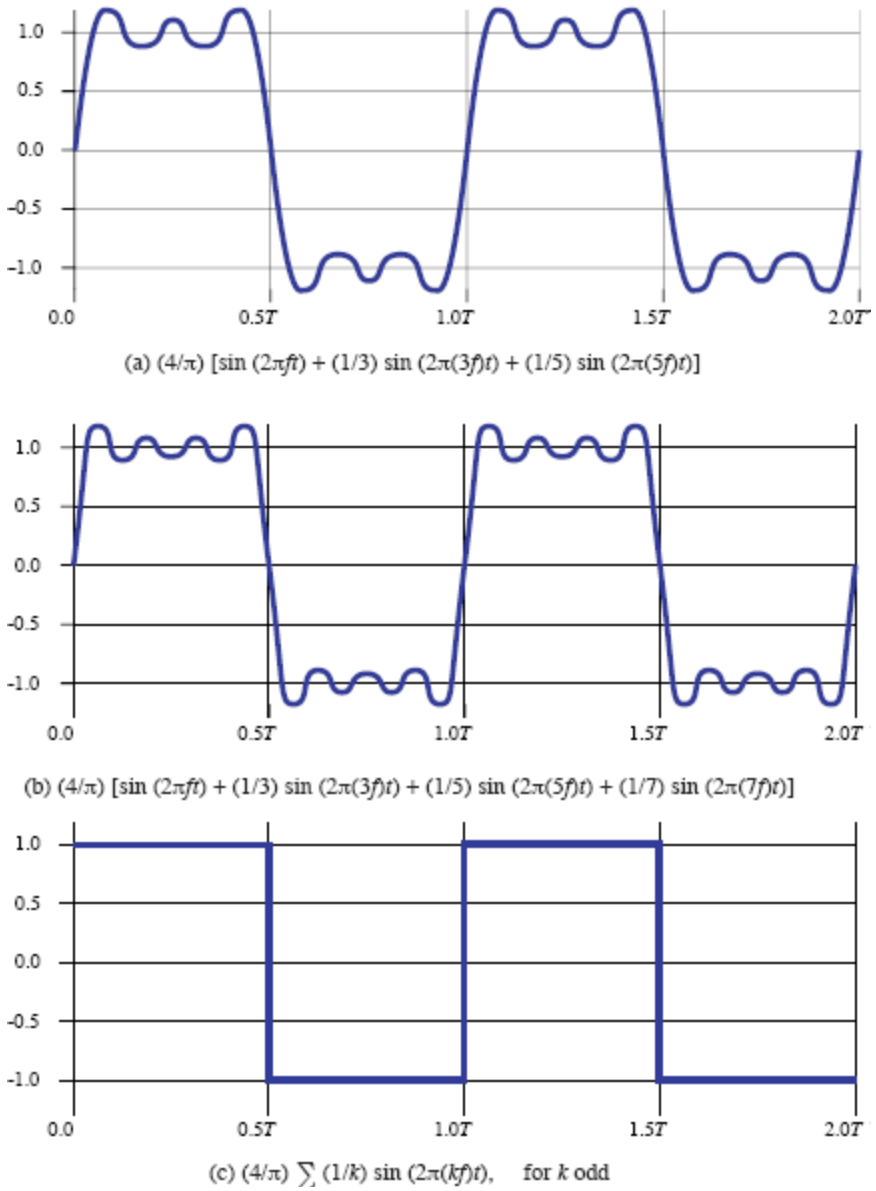
الشكل–17: التوافقيتان الأساسية والثالثة، وحاصل جمعهما.

وإذا اخترنا عرض الحزمة الفعلي الذي يحتوي التوافقيات الأساسية والثالثة والخامسة، يكون شكل الإشارة الناتجة كما في الشكل–18 (a).

وإذا اخترنا عرض الحزمة الفعلي الذي يحتوي التوافقيات الأساسية والثالثة والخامسة والسابعة، يكون شكل الإشارة الناتجة كما في الشكل–18 (b).

وأخيراً نحصل على الإشارة المربعة تماماً كما في الشكل–18 (c) بجمع كل التوافقيات كما في العلاقة التالية:

$$A\times\frac{4}{\pi}\times\sum_{kodd,k=1}^{\infty}\frac{\sin(2\pi kft)}{k}$$



الشكل–18: الإشارة المربعة وشكلها المشوه ضمن عرض الحزمة الفعلي (a) الإشارة المربعة بعرض حزمة لا نهائي، (b): الإشارة المربعة بعرض حزمة فعلي $4f$، (c) الإشارة المربعة بعرض حزمة فعلي $6f$.

8. الخلاصة Conclusion:

عرض الحزمة له أهمية كبيرة في نظام تراسل البيانات، وهو ذو صلة وثيقة بمعدل أو سرعة نقل البيانات كما سنرى في الفصول القادمة. فحتى نزيد من سرعة نقل البيانات يجب أن نزيد عرض الحزمة. يجب أن نعلم بالمقابل الكلفة تتزايد بشكل كبير عندما نطلب زيادة عرض الحزمة. بالنتيجة يجب أن يسمح عرض الحزمة الفعلي باستقبال الإشارة المربعة المشوهة بحيث يمكن تمييز مستويات الإشارة، أي تمييز الأصفار والواحدات الممثلة بمستويات الإشارة.

9. مذاكرة:

درجة واحدة لكل سؤال، وعلامة النجاح 4/7

1. تأخذ الإشارات الرقمية قيماً مستمرة مع الزمن
   a. صح
   b. خطأ

(راجع تعريف الإشارات الرقمية والتمثيلية)

2. الإشارات الأكثر استخداماً في تراسل البيانات هي:
   a. الإشارات التمثيلية الدورية
   b. الإشارات الرقمية الدورية
   c. الإشارات التمثيلية غير الدورية
   d. الإشارات الجيبية

(راجع الإشارات التمثيلية والرقمية)

3. تتعرف الإشارة الجيبية تماماً
   a. بترددها فقط
   b. بمطالها فقط
   c. بدورها فقط
   d. بمطالها وترددها وطورها معاً

(راجع الإشارة الجيبية)

4. إشارة جيبية دورها $1\ \mu s$ فيكون ترددها
   a. 50 MHz
   b. 5 MHz
   c. 1 MHz
   d. 10 MHz

(راجع الإشارة الجيبية)

5. الإشارة الجيبية هي
   a. إشارة مركبة بتردد وحيد
   b. إشارة بسيطة بتردد وحيد
   c. إشارة مركبة بطيف متقطع
   d. إشارة بسيطة بطيف مستمر

(راجع الإشارة الجيبية)

6. الإشارة المركبة Composite Signals هي إشارة
   a. لها تردد وحيد
   b. لها طيف متقطع من الترددات
   c. تنتج من تركيب أكثر من إشارة جيبية
   d. تحتوي على عدد لا نهائي من الترددات

(راجع الإشارات المركبة)

7. الإشارة الدورية المكونة من خمس إشارات جيبية هي إشارة
   a. يحتوي طيفها على خمسة ترددات
   b. مركبة
   c. طيفها متقطع
   d. كل الإجابات صحيحة

(راجع الإشارات المركبة)

الإجابات الصحيحة:

رقم التمرين	الإجابة الصحيحة
1	b
2	a
3	a
4	c
5	b
6	c
7	d

الفصل الثالث:
الإشارات الرقمية ومعدل النقل Digital Signals and Bit Rate

عنوان الموضوع:

الإشارات الرقمية ومعدل النقل Digital Signals and Bit Rate

الكلمات المفتاحية:

البيانات التمثيلية Analog Data، معدل النقل bit rate (أو معدل نقل البيانات Data rate)، إرسال الحزمة القاعدية Baseband transmission، الإرسال عريض الحزمة broadband transmission، إرسال تمرير الحزمة Bandpass transmission، نظرية نايكويست Nyquist Theorem، عرض الحزمة الأصغري Minimum bandwidth، عيوب الإرسال Transmission Impairment، التخميد Attenuation، التشويه Distortion، الضجيج Noise، معدل النقل الأعظمي Maximum Data Rate، نسبة الإشارة إلى الضجيج Signal to Noise Ratio SNR، سعة القناة channel capacity، صيغة نايكويست Nyquist formula، قناة غير مضجة noiseless channel، قناة مضجة noisy channel، صيغة شانون Shannon formula

الملخص:

نتعرف في هذا الفصل على تعريف وتقدير معدل النقل لإشارة رقمية بعدة مستويات على قناة اتصال بعرض حزمة ترددية معين وبنسبة إشارة إلى الضجيج محددة. حيث يتعرف الطالب على استخدام صيغتين لذلك: صيغة نايكويست لقناة غير مضجة، وصيغة شانون لقناة مضجة. كما يتعرف الطالب على أنواع الإرسال: الحزمة القاعدية وتمرير الحزمة، وعلى عيوب الإرسال من تخميد وتشويه وضجيج.

الأهداف التعليمية:

يتعرف الطالب في هذا الفصل على:

- أنواع الإرسال: الحزمة القاعدية وتمرير الحزمة.
- عيوب الإرسال من تخميد وتشويه وضجيج.
- تقدير سعة قناة مضجة باستخدام صيغة شانون.
- تقدير معدل النقل الأعظمي على قناة غير مضجة.

المخطط:

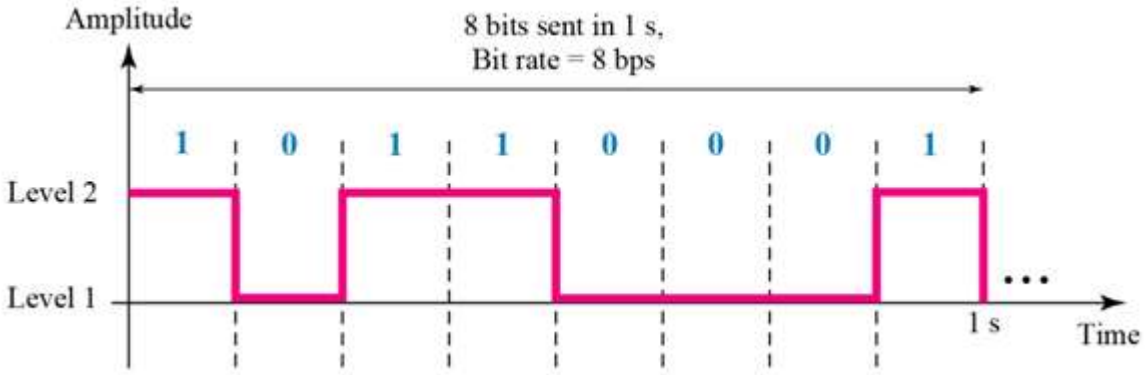
1. الإشارة الرقمية Digital Signal
2. تعريف معدل النقل Bit Rate
3. إرسال الإشارات الرقمية Transmission of Digital Signals
   - أ. إرسال الحزمة القاعدية Baseband transmission
   - ب. إرسال تمرير الحزمة Bandpass transmission
4. عيوب الإرسال Transmission Impairment
   - أ. التخميد Attenuation
   - ب. التشويه Distortion
   - ج. الضجيج Noise
5. معدل النقل الأعظمي Maximum Data Rate
   - أ. صيغة نايكويست لقناة بدون ضجيج Nyquist formula for a noiseless channel
   - ب. صيغة شانون لقناة مع ضجيج Shannon formula for a noisy channel

1. مقدمة:

أدى الطلب المتزايد على معدلات النقل العالية إلى تطور هائل في نظم الاتصالات النقالة بشكل خاص، وفي النظم والشبكات اللاسلكية بشكل عام. ويستمر التطوير للانتقال إلى الجيل الخامس 5G لنظم الاتصالات النقالة بمعدلات نقل قياسية حسب الطلب.

2. الإشارة الرقمية Digital Signal:

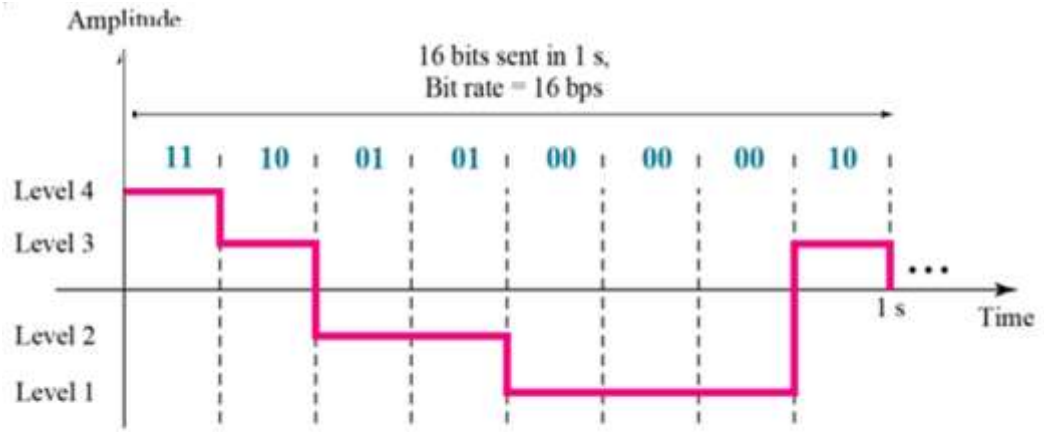
يمكن تمثيل البيانات بإشارات تمثيلية أو رقمية. ويمكن أن تكون الإشارة الرقمية بمستويين (أي تأخذ قيمتين فقط) أو عدة مستويات. يظهر في الشكل-1 إشارة رقمية بمستويين حيث نمثل الخانة 0 بالمستوى الأول (level 1) الذي تأخذ عنده الإشارة القيمة 0 V مثلاً، ونمثل الخانة 1 بالمستوى الثاني (level 2) الذي تأخذ عنده الإشارة القيمة +5 V مثلاً.



الشكل-1 إشارة رقمية بمستويين

ويظهر في الشكل-2 إشارة رقمية بأربعة مستويات حيث نمثل كل مستوى بخانتين رقميتين. وبشكل عام، إذا كان L عدد مستويات الإشارة الرقمية، فكل مستوى يحتاج لتمثيله إلى عدد من الخانات الرقمية يساوي

$$\log_2 L[\text{bits}]$$



الشكل-2 إشارة رقمية بأربعة مستويات

مثال

إشارة رقمية بثمانية مستويات؛ نحسب عدد الخانات الإثنانية Binary bits التي نحتاجها لتمثيل مستويات الإشارة من العلاقة السابقة فنجد

$$\log_2 L = \log_2 8 = 3[\text{bits}]$$

ملاحظة: يجب أن يكون عدد الخانات عدداً طبيعياً من قوى الرقم 2.

3. تعريف معدل النقل Bit Rate:

تكون معظم الإشارات الرقمية عادة غير دورية، وبالتالي لا يكون الدور أو التردد من الخواص المناسبة للإشارة في هذه الحالة. نستخدم معدل النقل bit rate (أو معدل نقل البيانات Data rate) عوضاً عن التردد لتوصيف الإشارات الرقمية.

نعرِّف معدل النقل بأنه عدد الخانات الإثنانية المرسلة خلال ثانية واحدة، ويقَدّر بـ bps (bits per second).

ففي الشكل-1 مثلاً، يكون معدل النقل مساوياً 8 bps، أي يتم إرسال ثمان خانات إثنانية في ثانية واحدة؛ وفي الشكل-2 يكون معدل النقل مساوياً 16 bps.

مثال $4000 \times 2 = 8000\,\text{Hz}$

تجري عادة رقمنة Digitization إشارة الصوت بأخذ عينات الإشارة بتردد يساوي ضعفي أعلى تردد في إشارة الصوت على الأقل، أي

ويجري تمثيل كل عينة بثمان خانات، فيكون معدل نقل إشارة الصوت بعد رقمنتها:

$$8000 \times 8 = 64000\,\text{bps} = 64\ \text{kbps}$$

4. إرسال الإشارات الرقمية Transmission of Digital Signals:

رأينا أن الإشارة الرقمية، الدورية وغير الدورية، هي إشارة مركبة من ترددات تشغل الطيف كاملاً من الصفر حتى اللانهاية. لنناقش حالة الإشارة الرقمية غير الدورية الأكثر استخداماً في نظم تراسل البيانات.

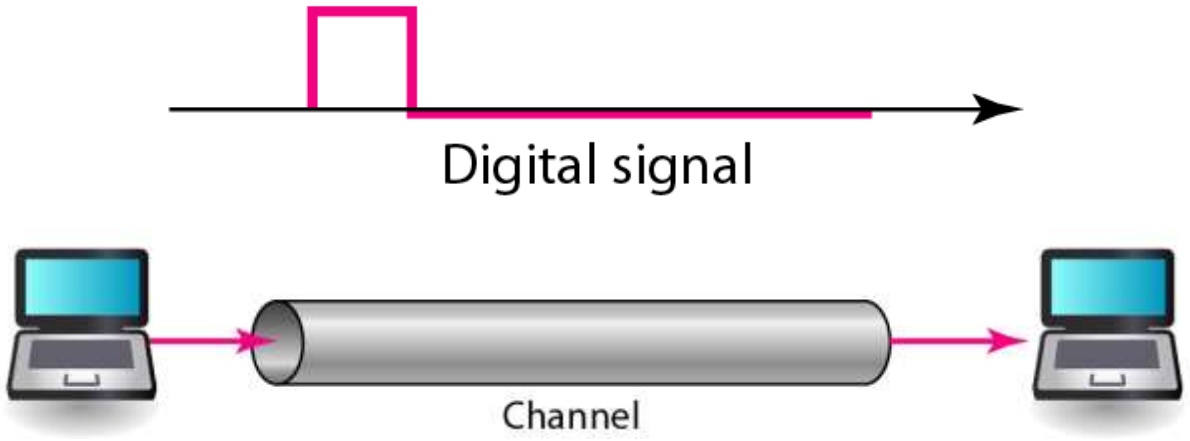
السؤال الأساسي هو: كيف نستطيع إرسال هذه الإشارة من الجهاز A إلى الجهاز B[1]؟

والجواب هو أنه نستطيع إرسال الإشارة الرقمية باستخدام إحدى المقاربتين: إرسال الحزمة القاعدية Baseband transmission أو الإرسال عريض الحزمة broadband transmission الذي يسمى إرسال تمرير الحزمة Bandpass transmission.

[1] ذكرنا سابقاً أنه لا وجود لوسط نقل أو قناة إرسال بعرض حزمة لا نهائية

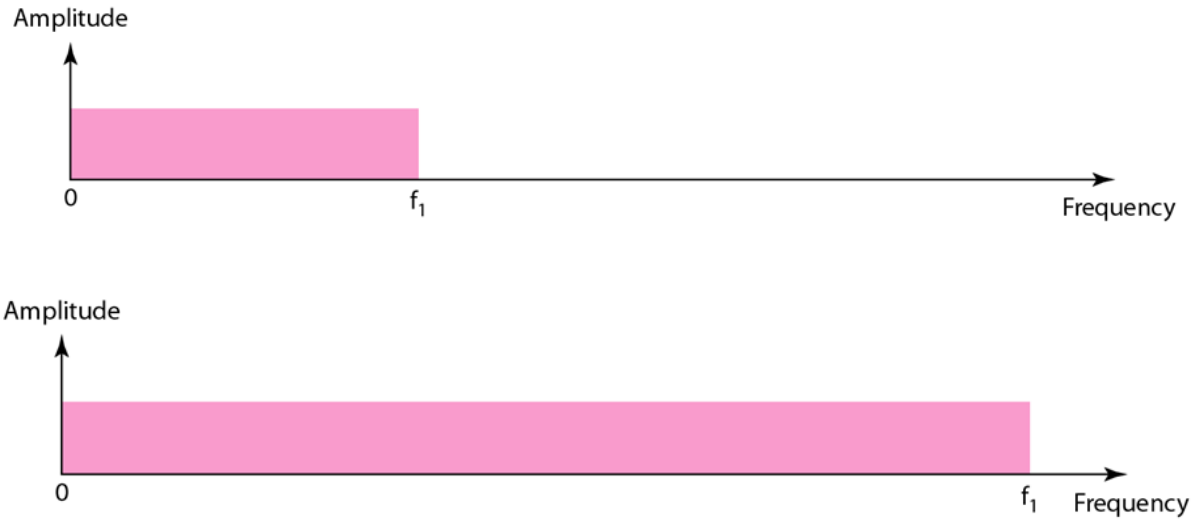
1.4. إرسال الحزمة القاعدية Baseband transmission:

الإشارة الرقمية التي تشغل ترددتها الطيف كاملاً، تكون معلوماتها الأساسية عند الترددات المنخفضة (حيث تكون الطاقة أعلى)، يعني ذلك أن إرسال الحزمة القاعدية هو إرسال الإشارة الرقمية على وسط النقل بدون تحويلها إلى إشارة تمثيلية. يبين الشكل-3 مفهوم إرسال الحزمة القاعدية.



الشكل-3: إرسال الحزمة القاعدية

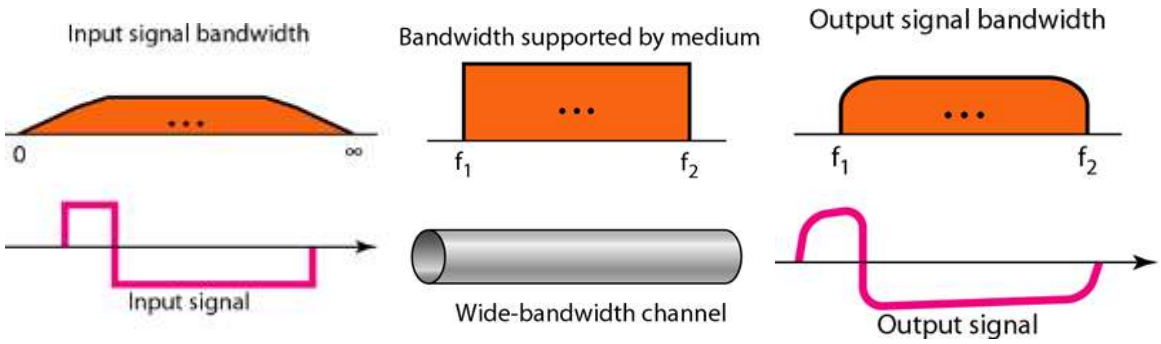
يتطلب إرسال الحزمة القاعدية توفير قناة تمرير منخفض، تسمح بنقل الترددات من الصفر، كما في الشكل-3 الذي يمثل وسط نقل بقناة مخصصة بين جهازين متصلين. ويمكن أن تكون قناة التمرير المنخفض بعرض حزمة ضيق أو عريض. يبين الشكل-4 هذين النوعين من قناة التمرير المنخفض.



الشكل-4: قناة تمرير منخفض بعرض حزمة ضيق أو عريض

للحفاظ على شكل قريب من الإشارة الرقمية غير الدورية عند إرسالها عبر قناة تمرير منخفض، نحتاج لقناة بعرض حزمة لا نهائي أو عريض جداً، تسمح بنقل التردد الأساسي وعدد كبير من التوافقيات، بحيث نستطيع استخلاص البيانات من الإشارة المستقبلة، مع أن القناة ستمنع مرور بعض ترددات الإشارة كما في الشكل-5.

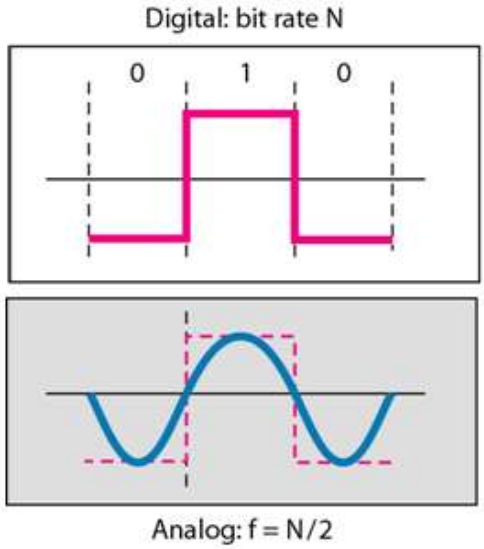
فإشارة الدخل لها عرض حزمة لانهائي، وللقناة عرض حزمة محدود بين f_1 و f_2 ، يسمح بمرور ترددات إشارة الدخل ذات الطاقة الأعلى، لذلك نحصل في خرج القناة على إشارة قريبة من إشارة الدخل يمكن تمييز مستوياتها، لأن الترددات القريبة من الصفر والترددات العالية لها طاقة منخفضة.

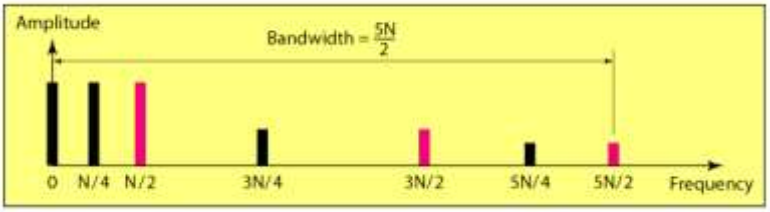


الشكل–5: إرسال الحزمة القاعدية باستخدام قناة مخصصة عريضة الحزمة

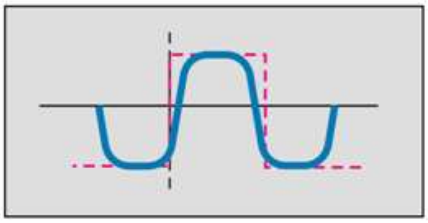
أما إرسال الحزمة القاعدية عبر قناة ضيقة الحزمة فيتم بإرسال التردد الأساسي وعدد محدود من التوافقيات. فإذا أرسلنا التردد الأساسي فقط فهذا يعني أننا نرسل إشارة جيبية تمثيلية ترددها $f = N/2$ ، حيث يمثل N معدل نقل البيانات للإشارة الرقمية. ونفسر ذلك بأننا نرسل خانتين كل دورة من الإشارة، حيث نمثل الخانة 1 مثلاً بالمستوى الموجب ونمثل الخانة 0 بالمستوى السالب.

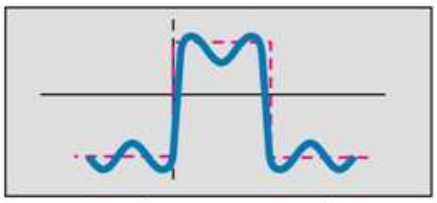
حتى نجعل شكل الإشارة التمثيلية أقرب إلى شكل الإشارة الرقمية، نحتاج لزيادة عرض الحزمة لإرسال بعض التوافقيات كما في الشكل–6.





Analog: f = N/2 and 3N/2





Analog: f = N/2, 3N/2, and 5N/2

الشكل–6: تمثيل الإشارة الرقمية بإشارات تمثيلية ذات عرض حزمة مختلف.

نخلص من ذلك إلى أن عرض الحزمة المطلوبة في إرسال الحزمة القاعدية يتناسب طرداً مع معدل نقل البيانات، فإذا أردنا نقل البيانات بمعدل أعلى، نحتاج لزيادة عرض الحزمة.

نظرية نايكويست Nyquist Theorem

عرض الحزمة الأصغري B_{min} المطلوب لنقل البيانات بمعدل N على قناة تمرير منخفض، يعطى بالعلاقة

مثال

$$N = 2B_{min} \; or \; B_{min} = \frac{N}{2} 1$$

لنحسب عرض الحزمة المطلوبة لقناة تمرير منخفض لإرسال البيانات بمعدل 1 Mbps بإرسال الحزمة القاعدية. يعتمد الجواب على الدقة المطلوبة. لنناقش الحالات التالية:

عرض الحزمة الأصغري B_{min} المطلوب لنقل البيانات بمعدل 1 Mbps حسب نظرية نايكويست هو

$$B_{min} = \frac{N}{2} = 500\,\text{kHz}$$

أي نحتاج لقناة تمرير منخفض بين 0 Hz و 500 kHz .

يمكن تحسين الدقة باستخدام التردد الأساسي والتوافقية الثالثة، لكن يصبح عرض الحزمة:

$$B = 3 \times 500\,\text{kHz} = 1.5\ \text{MHz}$$

ويمكن تحسين الدقة أكثر باستخدام التردد الأساسي والتوافقيتين الثالثة والخامسة، ويصبح عرض الحزمة:

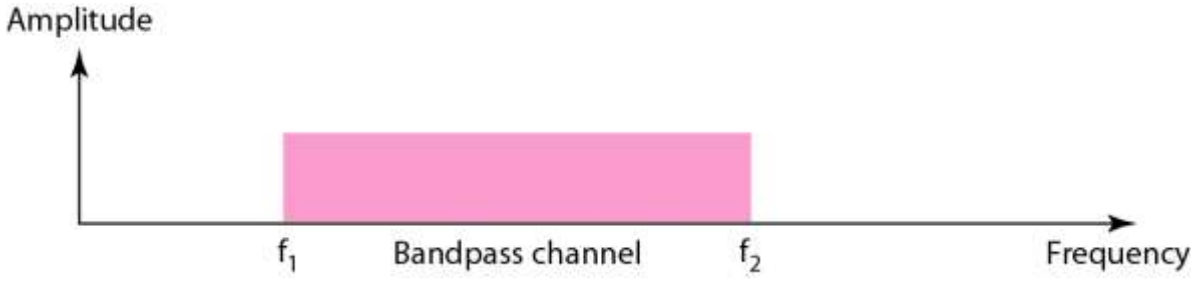
$$B = 5 \times 500\,\text{kHz} = 2.5\ \text{MHz}$$

مثال 2

إذا كان لدينا قناة تمرير منخفض بعرض حزمة 100 kHz، يكون معدل النقل الأعظمي الذي يمكن تحقيقه هو ضعفي عرض الحزمة المتاحة، أي 200 kbps.

2.4. إرسال تمرير الحزمة Bandpass transmission:

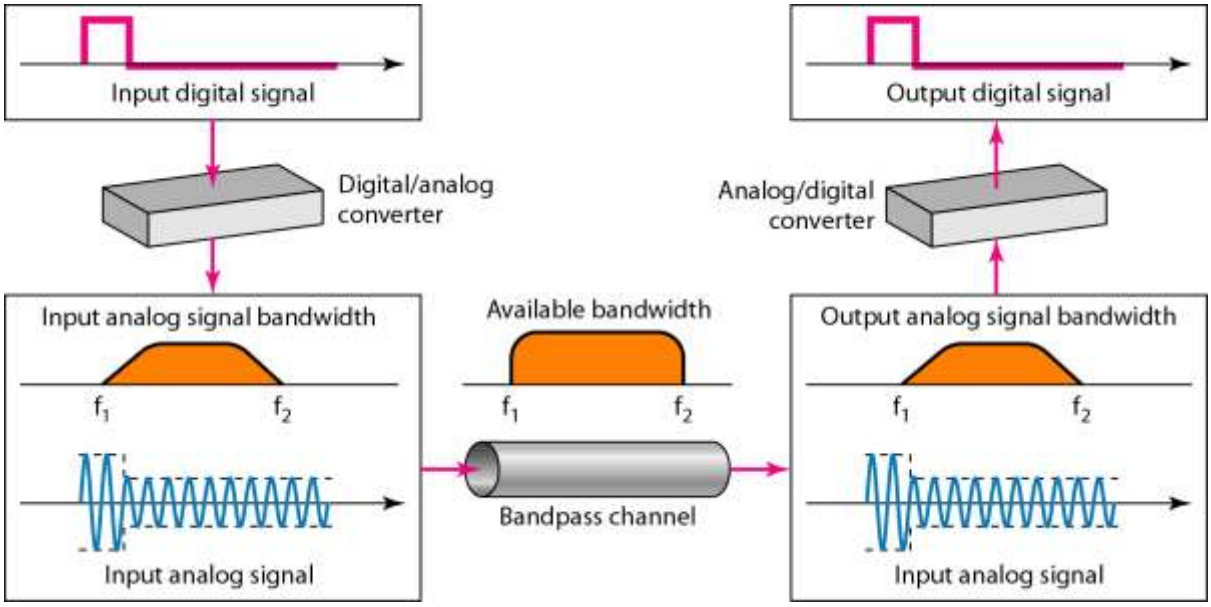
تسمح قناة تمرير الحزمة Bandpass channel هي قناة بمرور ترددات بين f_1 و f_2 ، حيث $f_2 \neq 0$. وبما أن إشارة البيانات الرقمية ذات حزمة قاعدية تبدأ من $f = 0$ ، نحتاج إلى تحويل الإشارة من رقمية إلى تمثيلية لنقلها عبر قناة تمرير الحزمة، بعملية تسمى التعديل Modulation. من ناحية عملية، قناة تمرير الحزمة متوفرة أكثر من قناة التمرير المنخفض.



الشكل-7 قناة تمرير حزمة.

يبين الشكل-8 عملية تعديل الإشارة الرقمية لنقلها عبر قناة تمرير الحزمة. يجري أولاً تحويل الإشارة الرقمية إلى إشارة تمثيلية مركبة (باختيار نوع التعديل المناسب[2])، حيث يتم في الشكل-8 تعديل مطال الإشارة الحامل البسيطة (ذات التردد الوحيد). بعد إرسال الإشارة الناتجة عبر قناة تمرير الحزمة، واستقبالها من طرف المستقبل، يجري تحويلها ثانياً إلى إشارة رقمية لاستعادة إشارة البيانات، بعملية تسمى فك التعديل Demodulation. ويسمى الجهاز الذي يقوم بعمليات التعديل وفك التعديل اختصاراً modem (modulator/demodulator).

[2] سيتم التطرق لأنواع التعديل الرقمي في مقرر الاتصالات الرقمية.

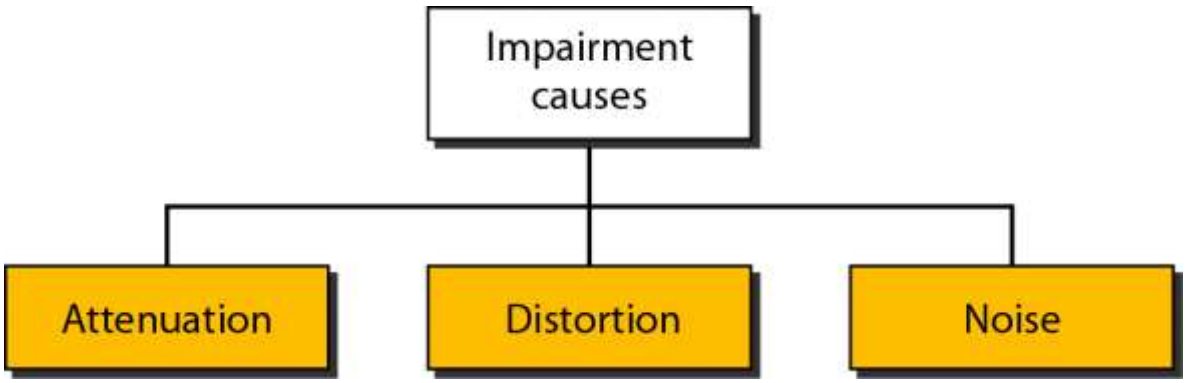


الشكل–8 تعديل الإشارة الرقمية لنقلها عبر قناة تمرير الحزمة

كمثال عملي على ذلك، نقل البيانات الحاسوبية عبر خط الهاتف المنزلي.

5.عيوب[3] الإرسال Transmission Impairment:

يكون وسط الإرسال عملياً ليس مثالياً، ويسبب عيوباً في الإشارة المرسلة عبره. يعني ذلك أن الإشارة في نهاية وسط النقل (القناة) لا تشبه الإشارة قبل إرسالها. تتمثل هذه العيوب بثلاثة أسباب أساسية هي: التخميد والتشويه والضجيج (الشكل–9).

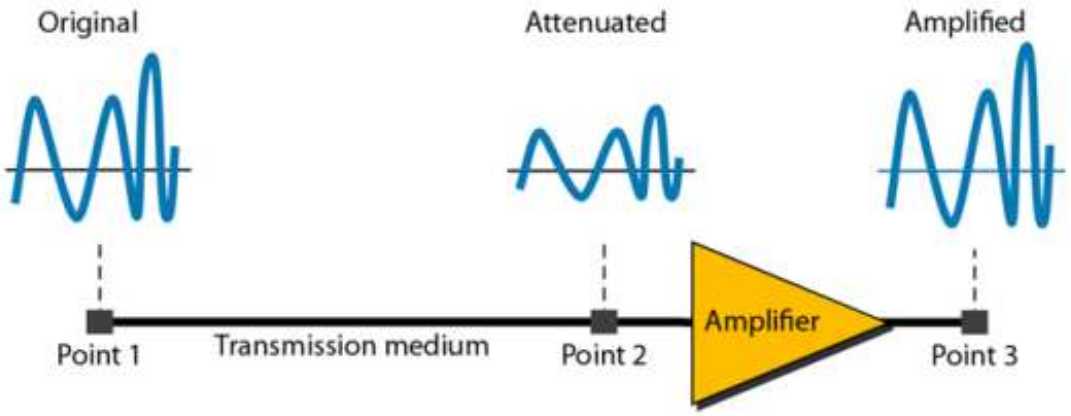


الشكل–9: عيوب الإرسال

3تعني كلمة Impairment اعتلال أو أضرار أو إتلاف، والقصد هنا ما يسببه الإرسال، لذلك جرى استخدام المرادف عيوب لكن بمعنى ما يسببه الإرسال من عيوب في الإشارة.

1.5. التخميد Attenuation:

يعني التخميد فَقْدُ جزء من الطاقة المحمولة بالإشارة المرسلة عبر الوسط. فعند مرور تيار كهربائي في سلك، نلاحظ أن السلك يسخن بعد فترة، بسبب فقد جزء من الطاقة الكهربائية في السلك المقاوم لمرور التيار، وتحويل الطاقة الكهربائية المفقودة إلى حرارة. لتعويض هذا الفقد أو التخميد، يجري عادة استخدام المضخمات، وهي دارات إلكترونية تضخم مطال الإشارة. يوضح الشكل–10 ذلك.



الشكل–10: تخميد إشارة ثم تضخيمها

يجري عملياً استخدام الديسيبل Decibel (dB) لقياس مقدار التخميد أو التضخيم. فإذا كانت استطاعة الإشارة P_1 عند دخل وسط الإرسال (Point 1)، و P_2 عند خرجه (Point 2)، يكون مقدار التخميد:

$$10\log_{10}\frac{P_2}{P_1}\,[\mathrm{dB}].$$

وسيكون المقدار الناتج سالباً لأن $P_2 < P_1$. ويكون مقدار التضخيم عند خرج المضخم (Point 3) بالنسبة لدخله (Point 2):

$$10\log_{10}\frac{P_3}{P_2}\,[\mathrm{dB}]$$

يكون المقدار الناتج موجباً لأن $P_3 > P_2$.

يستخدم الديسيبل عملياً لأنه يحول عملية الضرب إلى جمع، ويحول عملية القسمة إلى طرح.

حالات عملية مفيدة:

- إذا كان لدينا $P_2 = \frac{1}{2}P_1$ يكون مقدار التخميد $-3\mathrm{dB}$
- إذا كان لدينا $P_3 = 2P_2$ يكون مقدار التضخيم $3\mathrm{dB}$
- إذا كان لدينا $P_2 = \frac{1}{10}P_1$ يكون مقدار التخميد $-10\mathrm{dB}$
- إذا كان لدينا $P_2 = 10P_1$ يكون مقدار التضخيم $10\mathrm{dB}$

مثال

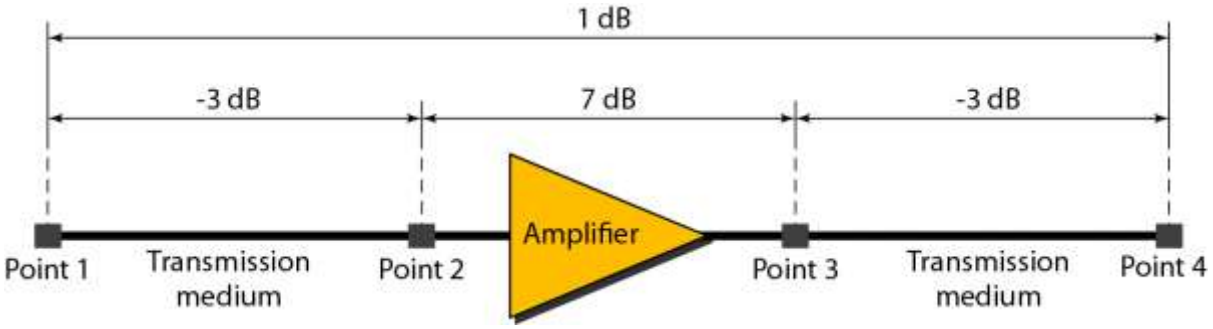
يبين الشكل–11 مقدار التخميد أو التضخيم بين كل نقطتين من مراحل الإرسال. نلاحظ أن مقدار التخميد في المرحلتين الأولى والثالثة يسبب فقد نصف الاستطاعة في كل مرحلة. أما مرحلة التضخيم فترفع استطاعة الإشارة بمقدار

$$10 \log_{10} g = 7\,\text{dB} \rightarrow g = 10^{\frac{7}{10}} = 5$$

أي $P_3 = 5P_2$.

وتكون النتيجة في النهاية (Point 4):

$$-3\text{dB} + 7\ \text{dB} - 3\text{dB} = 1\ \text{dB}$$



الشكل–11 مقدار التخميد أو التضخيم بين كل نقطتين من مراحل الإرسال

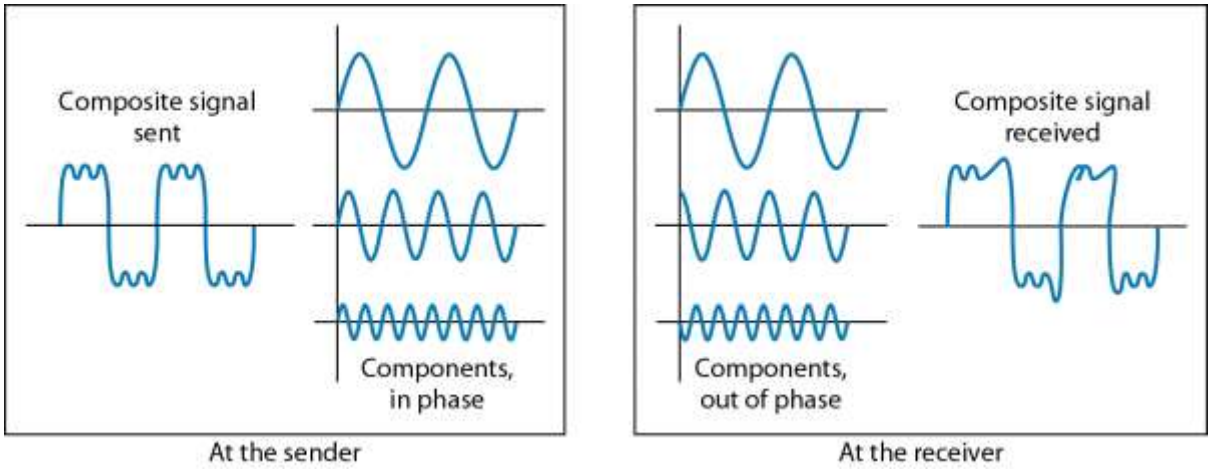
أي أن النتيجة هي زيادة في الاستطاعة أو ربح بمقدار

$$g = 10^{\frac{7}{10}} \approx 1.26$$

لأن النتيجة $1\,\text{dB}$ موجبة.

2.5. التشويه Distortion:

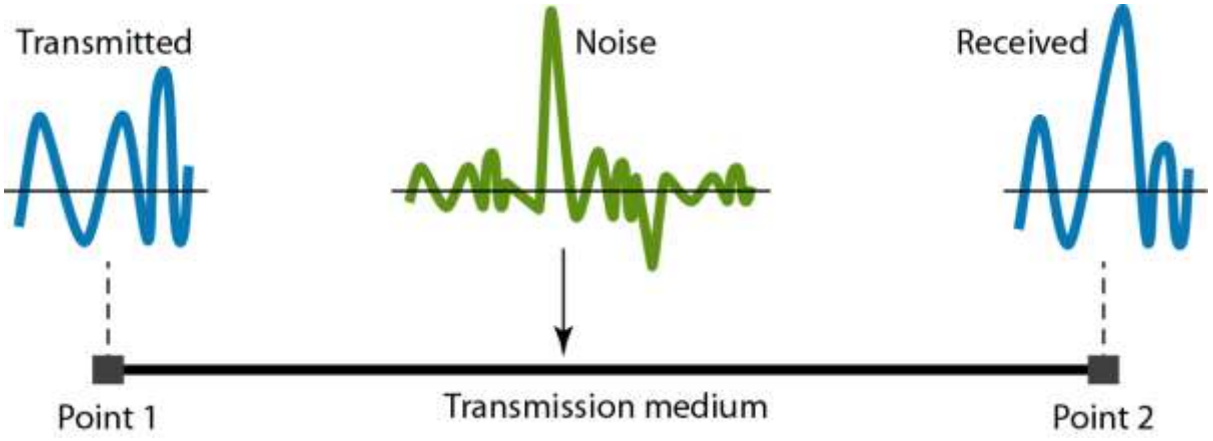
يسبب التشويه تغيير شكل الإشارة، ويحدث في الإشارات المركبة. فالإشارة المركبة تحتوي عدة مركبات ترددية، وكل مركبة ترددية يمكن أن تنتشر بسرعة مختلفة حسب خواص وسط النقل، لتصل هذه المركبات بتأخيرات زمنية مختلفة إلى المستقبل الذي يقوم بتركيبها في لحظة محددة، وبسبب التأخير ينتج اختلاف في الطور، فتنتج إشارة مشوهة كما في الشكل–12.



الشكل–12: تشويه الإشارة عند الاستقبال

3.5. الضجيج Noise:

يسبب الضجيج عيوباً في مطال الإشارة وترددها، وأثره على المطال أهم منه على التردد أو الطور. وللضجيج أنواع ومنابع عديدة، أهمها الضجيج الحراري Thermal noise. ويمكن أن ينتج الضجيج في الأسلاك القريبة جداً من بعضها، كما في الكبل الذي يصل مقسم الهاتف بمجمع سكني، ويسمى هذا النوع من الضجيج crosstalk، حيث تؤثر الإشارة المارة بسلك بالإشارات المارة بالأسلاك القريبة جداً منه. وفي حال الإرسال اللاسلكي، يستقبل الهوائي الإشارة المفيدة والإشارات الأخرى التي تنتشر في الهواء، ينتج عن ذلك الضجيج بسبب التداخل بين الأمواج الكهرطيسية. يبين الشكل–13 أثر الضجيج على الإشارة المستقبلة.



الشكل–13: أثر الضجيج على الإشارة المستقبلة

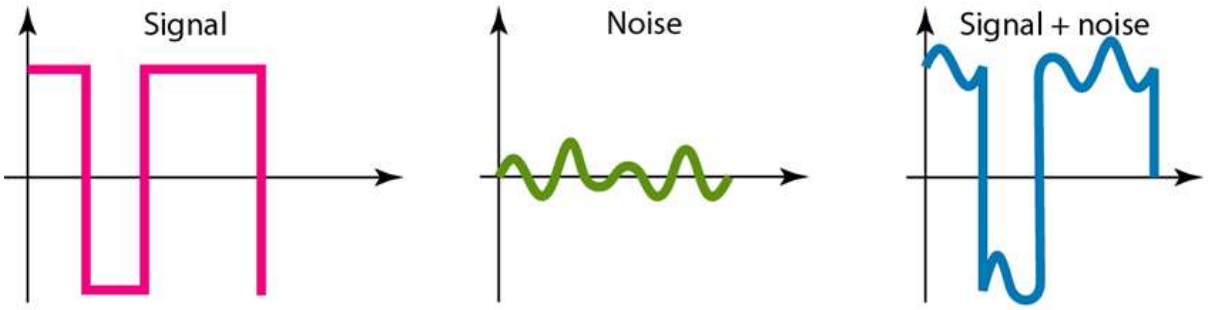
يقدر الضجيج بمعامل يسمى نسبة الإشارة إلى الضجيج Signal to Noise Ratio SNR، ويعرف بنسبة استطاعة الإشارة المفيدة إلى استطاعة الضجيج:

$$SNR = \frac{average\,signal\,power}{average\,noise\,power}$$

ويقاس عملياً بالديسيبل:

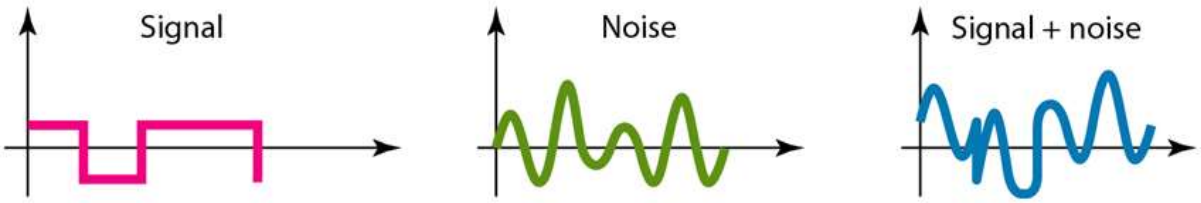
Error! Objects cannot be created from editing field codes.

فعندما تكون نسبة الإشارة إلى الضجيج مرتفعة، يكون تأثير الضجيج مهملاً كما في الشكل–14.



الشكل–14: نسبة الإشارة إلى الضجيج مرتفعة

وعندما تكون نسبة الإشارة إلى الضجيج منخفضة، يكون تأثير الضجيج على الإشارة المستقبلة كبيراً ويسبب أخطاء في الاستقبال، كما في الشكل-15.



الشكل-15: نسبة الإشارة إلى الضجيج منخفضة

نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR من المعايير الهامة التي تستخدم بكثرة لتقييم أداء نظم الاتصالات عامة، واللاسلكية خاصة، والنقالة على وجه الخصوص. يؤمن النظام الاتصال إذا تحقق الشرط $SNR \geq SNR_{min}$ على الإشارة المستقبلة، ولكل نظام عتبة دنيا SNR_{min} خاصة به.

6. معدل النقل الأعظمي Maximum Data Rate:

ذكرنا في بداية الفصل أهمية زيادة معدل النقل للاستجابة للطلب المتزايد عليه. سرعة نقل البيانات من الاعتبارات الهامة في أي نظام لتراسل البيانات.

يعتمد معدل النقل على ثلاثة عوامل:

- عرض الحزمة المتاح.
- نوعية القناة من حيث عيوب الإرسال وخاصة الضجيج.
- الإشارات المستخدمة لنقل البيانات من حيث عدد سوياتها.

تعريف المسألة:

رأينا أن الإشارة المرسلة عبر القناة تتعرض لعدة عيوب، مما يحد من معدل النقل الذي يمكن تحقيقه.

فالسؤال المطروح في نظام تراسل البيانات: إلى أي حد تؤثر عيوب الإرسال على معدل النقل الذي يمكن تحقيقه؟

نعرف سعة القناة channel capacity بأنها معدل النقل الأعظمي للبيانات عبر القناة ضمن شروط محددة.

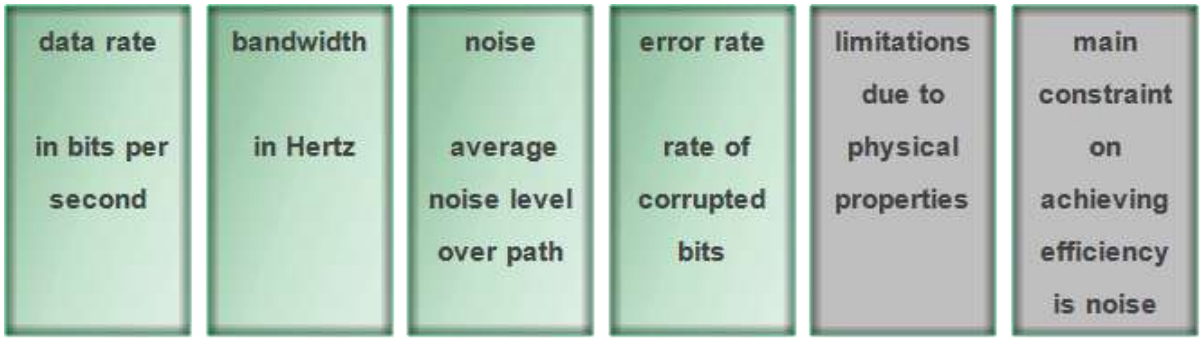
يبين الشكل-16 أربعة مفاهيم مرتبطة ببعضها البعض وتؤثر على سعة القناة وهي

معدل النقل مقدراً بعدد البتات المرسلة خلال ثانية bits per second – bps

عرض الحزمة: يدل على عرض حزمة الإشارة المرسلة التي يحدها المرسل وعرض حزمة القناة (أو وسط النقل)، ويقدر عرض الحزمة بالهرتز Hz.

الضجيج: وسطي استطاعة الضجيج في القناة.

معدل الخطأ Error rate: معدل حدوث الخطأ في البت المستقبل، أي عندما نستقبل واحد بدل الصفر المرسل أو نستقبل صفر بدل الواحد المرسل.



الشكل–16 المفاهيم المؤثرة في سعة القناة

المسألة التي نواجهها في زيادة معدل النقل هي التالية:

الموارد اللازمة للاتصال مكلفة جداً، وأهمها التردد وعرض الحزمة من جهة، والاستطاعة من جهة أخرى. وبشكل عام: كلما زاد عرض الحزمة المطلوب، كلما زادت الكلفة. إضافة لذلك، أي قناة اتصال تكون محدودة عرض الحزمة عملياً، بسبب الخواص الفيزيائية لوسط النقل من جهة، ومحدودية عرض الحزمة المرسلة لمنع التداخل والضجيج من منابع أخرى.

بالمقابل، نظام الإرسال المجدي عملياً واقتصادياً، هو النظام الذي يستغل عرض الحزمة المتاحة بشكل فعال من حيث معدل النقل وعدد المستخدمين، وهذا ما يسمى الفعالية الطيفية للنظام Spectral efficiency.

جرى تطوير صيغتين نظريتين لحساب معدل النقل الأعظمي نظرياً:

أ. **صيغة نايكويست لقناة بدون ضجيج Nyquist formula for a noiseless channel**

تعطي صيغة نايكويست معدل النقل الأعظمي نظرياً لقناة بدون ضجيج

$$N_{max} = 2B \times \log_2 L$$

حيث B عرض حزمة القناة، L عدد سويات الإشارة الممثلة للبيانات.

لكن زيادة عدد سويات الإشارة متعلق بوثوقية reliability نظام الاستقبال، أي قدرة المستقبل على تمييز سويات الإشارة من بعضها، أو تمييز الأصفار والواحدات. فالإشارة التي عدد سوياتها 256 مثلاً، تتطلب جهاز استقبال معقد ودقيق باستطاعته تمييز 256 مستوى.

أمثلة تطبيقية

- حساب سعة قناة بدون ضجيج بعرض حزمة 3 kHz لإرسال إشارة بمستويين:

$$N_{max} = 2 \times 3 \times 10^3 \times \log_2 2 = 6 \times 10^3 = 6 \text{ kbps}$$

- فإذا كانت الإشارة بأربعة مستويات، تصبح سعة القناة:

$$N_{max} = 2 \times 3 \times 10^3 \times \log_2 4 = 12 \text{ kbps}$$

- حساب عدد مستويات الإشارة لبقل البيانات بمعدل 256 kbps على قناة بدون ضجيج بعرض حزمة 20 kHz

$$256 \text{ kbps} = 2 \times 20 \times 10^3 \times \log_2 L$$

$$\log_2 L = 6.4 \rightarrow L = 2^{6.4} = 84.45 \text{ levels}$$

بما أن هذه النتيجة ليست من قوى 2، فإما أن نزيد عدد المستويات المطلوبة إلى 128 مستوى، مما يعطي معدل نقل 280 kbps ، وبالتالي يضمن معدل النقل المطلوب، أو نختار عدد مستويات أقل، أي 64 مستوى، ويصبح معدل النقل أقل من المطلوب، أي 240 kbp s .

ب. صيغة شانون لقناة مع ضجيج Shannon formula for a noisy channel

بما أنه لا وجود لقناة بدون ضجيج عملياً، نستخدم صيغة شانون التالية لتحديد سعة القناة النظرية C_{max}، أي أعلى معدل نقل نظرياً يمكن الحصول عليه بالنسبة لقناة مضجّجة (موصّفة بنسبة الإشارة إلى الضجيج SNR):

$$C_{max} = B \log_2 (1 + SNR) \text{ [bps]}$$

بالمقارنة مع صيغة نايكويست السابقة، نلاحظ أنه لا ذكر لعدد سويات الإشارة، مما يعني أنه مهما كان هذا العدد، لا يمكن تحقيق معدل نقل أعلى من سعة القناة C_{max}. بمعنى آخر:

تختص صيغة شانون بتحديد خاصية القناة، وليس طريقة النقل.

مثال

حساب معدل النقل الأعظمي لخط الهاتف المنزلي، بعرض حزمة 3 kHz ، ونسبة $SNR = 3162$:

$$C_{max} = 3 \times 10^3 \times \log_2 (1 + 3162) = 34860 \text{ bps}$$

وبالتالي للحصول على معدل نقل أعلى من هذه القيمة، يجب تحسين خواص القناة، إما عرض الحزمة B ، أو SNR.

مثال تطبيقي

يعطى SNR عادة بالديسيبل dB . فإذا كان لدينا قناة بالمواصفات التالية: $SNR_{dB} = 36$ dB و $B = 2$ MHz ، تكون سعة القناة النظرية:

$$SNR_{dB} = 10 \times \log_{10} (SNR) = 36 \text{ dB} \rightarrow SNR = 10^{\frac{36}{10}} = 3981$$

$$C_{max} = 2 \times 10^6 \times \log_2 (1 + 3981) = 24 \text{ Mbps}$$

صيغة عملية

عندما تكون قيمة SNR عالية جداً، تصبح صيغة شانون من الشكل

$$C_{max} = B \times \frac{SNR_{\text{dB}}}{3}$$

بتطبيق هذه الصيغة على المثال التطبيقي السابق نجد

$$C_{max} = 2 \times 10^6 \times \frac{36}{3} = 24 \text{ Mbps}$$

وهي نفس النتيجة السابقة.

حالة حدية

قناة مضجة بشكل كبير جداً بحيث $SNR = 0$ ، فتكون سعة القناة:

$$C_{max} = B \times \log_2 (1+0) = 0$$

أي أن سعة القناة صفر مهما كان عرض الحزمة، وبالتالي لا يمكن استقبال أي بيانات عبر القناة.

مثال تطبيقي على استخدام الصيغتين: نايكويست وشانون

حساب معدل النقل وسويات الإشارة المناسبة لقناة بعرض حزمة $B = 1 \text{ MHz}$ و $SNR = 63$.

نستخدم صيغة شانون لحساب الحد الأعلى لمعدل النقل:

$$C_{max} = 1 \times 10^6 \times \log_2 (1+63) = 6 \text{ Mbps}$$

ثم نستخدم صيغة نايكويست لإيجاد عدد مستويات الإشارة:

$$N_{max} = 2B \times \log_2 L \rightarrow 6 \text{ Mbps} = 2 \times 10^6 \times \log_2 L \rightarrow L = 8$$

لكن للحصول على أداء أفضل، نختار عادة معدل نقل أقل من الحد الأعلى، فنختار مثلاً القيمة 4 Mbps ، فيصبح عدد مستويات الإشارة:

$$4 \text{ Mbps} = 2 \times 10^6 \times \log_2 L \rightarrow L = 4$$

بالنتيجة، تعطي صيغة شانون سعة القناة، أي الحد الأعلى لمعدل النقل؛ وتعطي صيغة نايكويست عدد مستويات الإشارة، أي شكل الإشارة المرسلة لتحقيق معدل النقل المطلوب.

7. مذاكرة:

درجة واحدة لكل سؤال، وعلامة النجاح 7/10

1. لا يؤثر زمن النبضة في الإشارات الرقمية على معدل النقل
   a. صح
   b. خطأ

(راجع تعريف الإشارات الرقمية ومعدل النقل)

2. الإشارات الرقمية ذات العدد الأعلى من المستويات
   a. تحتاج لعدد أعلى من الخانات لتمثيل كل مستوى
   b. تساهم في زيادة معدل نقل البيانات
   c. لا تؤثر على عرض حزمة الإشارة
   d. كل الإجابات صحيحة

(راجع تعريف الإشارات الرقمية ومعدل النقل)

3. تسمح قناة تمرير منخفض بعرض حزمة عريض
   a. بالحصول على إشارة رقمية مستقبلة بجودة عالية
   b. بالحصول على إشارة رقمية مستقبلة بجودة منخفضة
   c. بإرسال الإشارات التمثيلية غير الدورية
   d. بإرسال الإشارات التمثيلية والرقمية

(راجع إرسال الحزمة القاعدية)

4. حسب نظرية نايكويست، لإرسال البيانات بمعدل 2 Mbps على قناة تمرير منخفض، نحتاج لعرض حزمة أصغري
   a. 1 MHz
   b. 2 MHz
   c. 2 Mbps
   d. 1 Mbps

(راجع نظرية نايكويست)

5. يجري عادة تحويل الإشارة الرقمية إلى تمثيلية بعملية تسمى التعديل،
   a. لنقل الإشارة عبر قناة تمرير منخفض
   b. لتخفيض عرض الحزمة
   c. لنقل الإشارة عبر قناة تمرير حزمة
   d. لزيادة معدل النقل

(راجع إرسال تمرير الحزمة)

6. تم إرسال إشارة استطاعتها 4 W على قناة تسبب تخميداً بمقدار 3 dB، فتكون استطاعة الإشارة المستقبلة
   a. 1 W
   b. 2 W
   c. 7 W
   d. 1.75 W

(راجع التخميد)

7. مضخم ربحه 10 dB واستطاعة دخله 10 W، فتكون استطاعة خرجه
   a. 1 W
   b. 10 W
   c. 100 W
   d. 0 W

(راجع التخميد)

8. يعمل نظام الاتصالات على تأمين الاتصال عندما تكون نسبة الإشارة المستقبلة إلى الضجيج
   a. أقل من عتبة معينة
   b. تساوي الواحد
   c. تساوي الصفر
   d. أعلى من عتبة معينة

(راجع الضجيج)

9. تكون نسبة الإشارة إلى الضجيج تساوي 0 dB عندما تكون
   a. استطاعة الضجيج لا نهائية (عالية جداً عملياً) واستطاعة الإشارة محدودة
   b. استطاعة الإشارة مساوية لاستطاعة الضجيج
   c. استطاعة الإشارة تساوي الصفر
   d. القناة غير مضجة

(راجع الضجيج)

10. تعني الفعالية الطيفية لأي نظام اتصال، قدرته على استغلال كامل الطيف الترددي المخصص له
   a. للوصول إلى الحد الأعظمي لمعدل النقل
   b. لتأمين الخدمة لأكبر عدد ممكن من المشتركين
   c. لتأمين الانتشار الواسع
   d. ضمن قناة مضجة

(راجع معدل النقل الأعظمي)

الإجابات الصحيحة:

رقم التمرين	الإجابة الصحيحة
1	b
2	d
3	a
4	a
5	c
6	b
7	c
8	d
9	b
10	a

الفصل الرابع:
النقل الرقمي Digital Transmission

عنوان الموضوع:

النقل الرقمي Digital Transmission

الكلمات المفتاحية:

التبديل الرقمي–الرقمي Digital–to–digital conversion، معدل الإشارة Signal rate/ baud rate، معدل النبضة Pulse rate، معدل التعديل Modulation rate، المركبة المستمرة DC Component، التزامن الذاتي self–synchronization، ترميز الخط Line coding، الترميز الأحادي القطبية Unipolar Encoding، التراميز القطبية Polar Encoding، التراميز الثنائية القطبية Bipolar Encoding، ترميز عدم العودة إلى الصفر non return to zero NRZ، ترميز العودة إلى الصفر return to zero RZ، التراميز الثنائية الطور Biphase: Manchester and Differential Manchester، التراميز المتعددة المستويات Multilevel Encoding، الترميز الكتلي Block Coding، الخلط Scrambling، التبديل التماثلي الرقمي Analog to digital conversion، الرقمنة Digitization، تعديل ترميز النبضة Pulse Code Modulation، نظرية نايكويست Nyquist Theorem، معدل الاعتيان Sampling rate، تردد الاعتيان Sampling frequency، التكمية Quantization، تعديل دلتا Delta Modulation، الإرسال التفرعي Parallel transmission، الإرسال التسلسلي Serial transmission، الإرسال غير المتزامن Asynchronous Transmission، الإرسال المتزامن Synchronous Transmission، الإرسال Isochronous.

الملخص:

نستعرض في هذا الفصل تقنيات وأنماط النقل الرقمي. حيث يتعرف الطالب على تقنيات ترميز الخط المختلفة (الأحادية القطبية، والقطبية، والثنائية القطبية، والثنائية الطور، والمتعددة المستويات) لتحويل البيانات الرقمية إلى إشارة رقمية. ويتعرف الطالب أيضاً على تقنيات تحسين أداء تقنيات ترميز الخط (الترميز الكتلي والخلط). ثم يتعرف الطالب على تقنيات تحويل الإشارة التماثلية إلى بيانات رقمية (تعديل ترميز النبضة وتعديل دلتا) لترميزها بتقنيات ترميز الخط، ويتعرف على نظرية نايكويست في الاعتيان. كما يتعرف الطالب على أنماط الإرسال الرقمي: التفرعي والتسلسلي (المتزامن وغير المتزامن).

الأهداف التعليمية:

يتعرف الطالب في هذا الفصل على:

- تقنيات ترميز الخط: الأحادية القطبية، والقطبية، والثنائية القطبية، والثنائية الطور، والمتعددة المستويات.
- تقنيات تحسين أداء تقنيات ترميز الخط: الترميز الكتلي والخلط.
- تقنيات تحويل الإشارة التماثلية إلى بيانات رقمية: تعديل ترميز النبضة وتعديل دلتا.
- نظرية نايكويست في الاعتيان.
- أنماط الإرسال الرقمي: التفرعي والتسلسلي (المتزامن وغير المتزامن).

المخطط:

1. تعاريف ومفاهيم أساسية Basic Definitions and Concepts
2. خواص الإشارة الرقمية Digital Signal Characteristics
   - أ. عرض الحزمة الفعلي
   - ب. المركبة المستمرة DC Component
   - ج. التزامن الذاتي self-synchronization
3. ترميز الخط Line Coding
   - أ. الترميز الأحادي القطبية Unipolar Encoding
   - ب. التراميز القطبية Polar Encoding
   - ج. التراميز الثنائية الطور Biphase: Manchester and Differential Manchester
   - د. التراميز الثنائية القطبية Bipolar Encoding
   - هـ. التراميز المتعددة المستويات Multilevel Encoding
4. تقنيات تحسين الأداء Performance Improvement Techniques
   - أ. الترميز الكتلي Block Coding
   - ب. الخلط Scrambling
5. التبديل التماثلي-الرقمي Analog-to-digital conversion
   - أ. تعديل ترميز النبضة Pulse Code Modulation
   - ب. تعديل دلتا Delta Modulation،
6. أنماط الإرسال Transmission Modes
   - أ. الإرسال التفرعي Parallel transmission
   - ب. الإرسال التسلسلي Serial transmission
7. الخلاصة Conclusion

1. مقدمة:

الشبكة الحاسوبية مصممة لنقل المعلومات من نقطة (المصدر) إلى أخرى (الوجهة). المهمة الأساسية للطبقة الفيزيائية في الشبكة هي تحويل هذه المعلومات (سلسلة من الأصفار والوحدان) إلى إشارات تناسب القناة لإرسالها عبرها، ويمكن أن تكون هذه الإشارات رقمية أو تماثلية.

نناقش في هذا الفصل:

- التبديل الرقمي – الرقمي Digital-to-digital conversion، ويضم تقنيات تحويل البيانات الرقمية إلى إشارات رقمية، وتسمى ترميز الخط Line coding.
- التبديل التماثلي – الرقمي Analog-to-digital conversion. فعندما تكون المعلومات المراد إرسالها هي إشارات تماثلية، نحولها أولاً إلى بيانات رقمية، ثم نرسلها باستخدام تقنيات النقل الرقمي.
- أنماط الإرسال Transmission modes.

2. تعاريف ومفاهيم أساسية Basic Definitions and Concepts:

هدفنا النهائي في تراسل البيانات هو أن نرسل البيانات بأصغر وحداتها وهي الخانة Bit. نعرف الخانة على أنها أصغر وحدة بيانات Data element يمكن أن تمثل المعلومات Information المراد إرسالها.

في النقل الرقمي، يتم نقل وحدات البيانات Data elements بواسطة ما يسمى عناصر الإشارة Signal elements. عنصر الإشارة هو أقصر وحدة **زمنية** من الإشارة الرقمية (النبضة Pulse).

بمعنى آخر، الوحدات البيانية هي ما نريد إرساله؛ وعناصر الإشارة هي ما يمكننا إرساله. أي تكون وحدات البيانات محمولة، وعناصر الإشارة هي الحوامل Carriers.

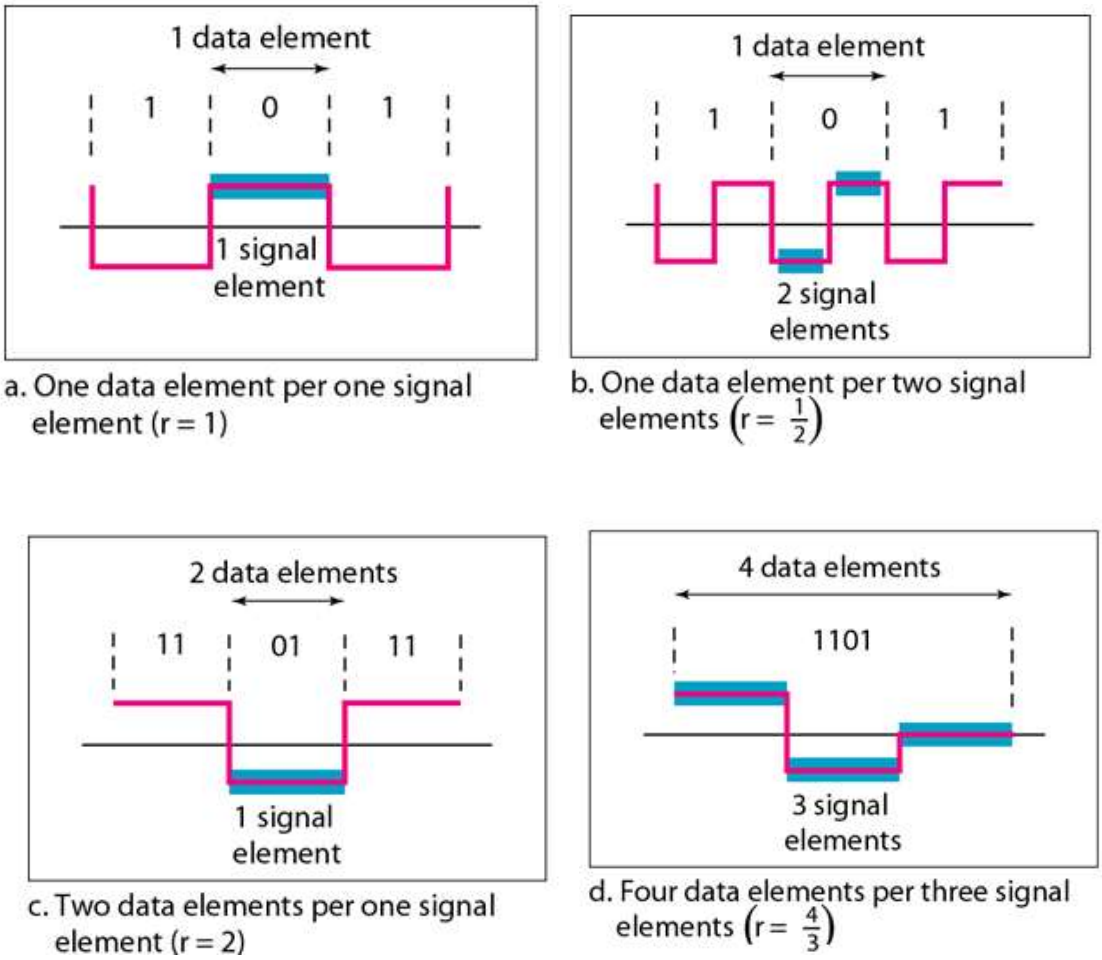
نعرف النسبة r على أنها عدد وحدات البيانات المحمولة بكل عنصر إشارة. يبين الشكل-1 الحالات المختلفة التالية بنسب r مختلفة:

a. خانة واحدة (وحدة بيانات واحدة) بكل عنصر إشارة؛ أي $r=1$
b. خانة واحدة (وحدة بيانات واحدة) بكل عنصري إشارة؛ أي $r=\frac{1}{2}$
c. خانتان (وحدتا بيانات) بكل عنصر إشارة؛ أي $r=2$
d. أربع خانات (أربع وحدات بيانات) بكل ثلاثة عناصر إشارة؛ أي $r=\frac{4}{3}$

نعرف معدل النقل Bit rate، أو معدل نقل البيانات Data rate، بأنه عدد وحدات البيانات (أو الخانات) المرسلة في واحدة الزمن (ثانية واحدة). ويقدر معدل النقل بالوحدة خانة بالثانية bit per second (bps).

ونعرف معدل الإشارة Signal rate بأنه عدد عناصر الإشارة المرسلة في ثانية واحدة، ويقدر بالواحدة baud.

وننوه إلى أننا نجد عدة مصطلحات تعبر عن معدل الإشارة، مثل: معدل النبضة pulse rate؛ معدل التعديل Modulation rate؛ أو مصطلح baud rate.



الشكل–1 حالات مختلفة لوحدات البيانات وعناصر الإشارة

الهدف في تراسل البيانات (وهو هدف كل نظام اتصالات) هو زيادة معدل النقل وإنقاص معدل الإشارة. فزيادة معدل النقل يزيد من سرعة[1] إرسال البيانات؛ وإنقاص معدل الإشارة ينقص من عرض الحزمة المطلوبة لإرسال البيانات.

هام: تعتمد العلاقة بين معدل النقل ومعدل الإشارة على النسبة r وعلى نموذج ورود البيانات. فعندما يكون هذا النموذج مكون من سلسلة من الوحدان "1" أو الأصفار "0"، يكون معدل الإشارة مختلفاً عن حالة النموذج المكون من تعاقب الأصفار والوحدان مثلاً.

يمكن أن نكتب الصيغة التي تعبر عن العلاقة بين معدل النقل N ومعدل الإشارة S، آخذين بعين الاعتبار نموذج ورود البيانات بمعامل c كقيمة وسطية بين الحالتين الحديتين: عندما نحتاج لمعدل إشارة أعظمي، أو أصغري، على الشكل:

[1] نستخدم أحياناً في حياتنا العملية مصطلح سرعة النقل Transmission speed أو سرعة البيانات Data speed للدلالة على معدل النقل؛ يقابل ذلك استخدام مصطلح سرعة الإشارة Signal speed للدلالة على معدل الإشارة.

$$S = c \times \frac{N}{r}$$

وبناءً على مفهوم عرض الحزمة اللانهائي لإشارة رقمية، وعرض الحزمة الفعلي، الذي ناقشناه في الفصل السابق، يمكن أن نستنتج عرض الحزمة الأصغري من الصيغة السابقة ونكتب:

$$B_{min} = c \times \frac{N}{r}$$

وعندما يكون عرض الحزمة معطى، نكتب معدل النقل الأعظمي على الشكل:

$$N_{max} = r \times \frac{B}{c}$$

مثال 1

إشارة تحمل بيانات بحيث كل وحدة بيانات محمولة بعنصر إشارة واحد. فإذا كان معدل النقل 100 kbps، احسب معدل الإشارة الوسطي حيث $0 < c < 1$.

الحل

بفرض أن معامل الحالة يأخذ القيمة الوسطية $c = \frac{1}{2}$، يكون معدل الإشارة (لاحظ أن $r = 1$)

$$S = c \times \frac{N}{r} = \frac{1}{2} \times 100,000 = 50 \text{ kbaud}$$

مثال 2

تعطي صيغة نايكويست معدل النقل الأعظمي بالعلاقة

$$N_{max} = 2 \times B \times \log_2 L$$

برهن أن هذه الصيغة تتوافق مع الصيغة

$$N_{max} = r \times \frac{B}{c}$$

الحل

إذا كان L عدد مستويات الإشارة، يكون $\log_2 L$ عدد الخانات المحمولة بكل مستوى. فإذا كان كل مستوى يقابل عنصر إشارة، وكان لمعامل الحالة القيمة الوسطية $c = \frac{1}{2}$، يصبح لدينا

$$r = \log_2 L$$

$$N_{max} = \log_2 L \times 2 \times B$$

3. خواص الإشارة الرقمية Digital Signal Characteristics:

تكون معظم الإشارات الرقمية المستخدمة عادة لنقل البيانات غير دورية، وبالتالي يكون طيفها (مكوناتها الترددية) لا نهائياً ومستمراً. لكن في الحياة العملية يجب أن يكون عرض الحزمة محدوداً؛ وهنا نذكر بمفهوم عرض الحزمة الفعلي الذي ناقشناه في الفصل الثالث.

يجب أن تتمتع هذه الإشارات أيضاً بعدة خواص تجعلها مناسبة لقناة الإرسال وللاستقبال بأقل معدل خطأ ممكن: ثلاث خواص أساسية وهي عرض الحزمة الفعلي، والمركبة المستمرة، والتزامن الذاتي؛ وخواص أخرى مساعدة لنظام تراسل البيانات هي انحراف الخط القاعدي Baseline Wandering (القيمة الوسطية للإشارة المستقبلة)، إشارة مساعدة على كشف الخطأ Built-in Error Detection، مناعة الإشارة للضجيج والتداخل Immunity to Noise and Interference، وأخيراً تعقيد الإشارة Complexity. سنشرح الخواص الأساسية للإشارة الحامل للبيانات.

أ. عرض الحزمة الفعلي:

يمكن القول أن معدل الإشارة[2]، وليس معدل النقل، يحدد عرض الحزمة المطلوب للإشارة الرقمية. في نظام تراسل البيانات، صحيح أننا نهتم بعرض الحزمة الفعلي المطلوب، لكن هذا لا يكفي عملياً؛ نحتاج أيضاً لمعرفة أين تتموضع الترددات ضمن الطيف، وهل هي تمرير منخفض low-pass (أي تبدأ من الصفر، وهذا غير مرغوب كما ذكرنا سابقاً)، أم تمرير حزمة band-pass.

سنهتم إذاً بعرض الحزمة الفعلي للإشارة (واسع أم ضيق) وبنوعه (تمرير منخفض أم تمرير حزمة).

ب. المركبة المستمرة DC Component:

الجهد الثابت أو المستمر يقابله تردد معدوم $f = 0$. فعندما يبقى مستوى الإشارة الرقمية ثابتاً لفترة زمنية طويلة نسبياً، يتولد في طيف الإشارة ترددات منخفضة جداً (قريبة من الصفر)، وهذا يحتاج لقناة تمرير منخفض لنقل الإشارة، وهذا النوع من القناة غير متوفر بسهولة مثل قناة تمرير الحزمة.

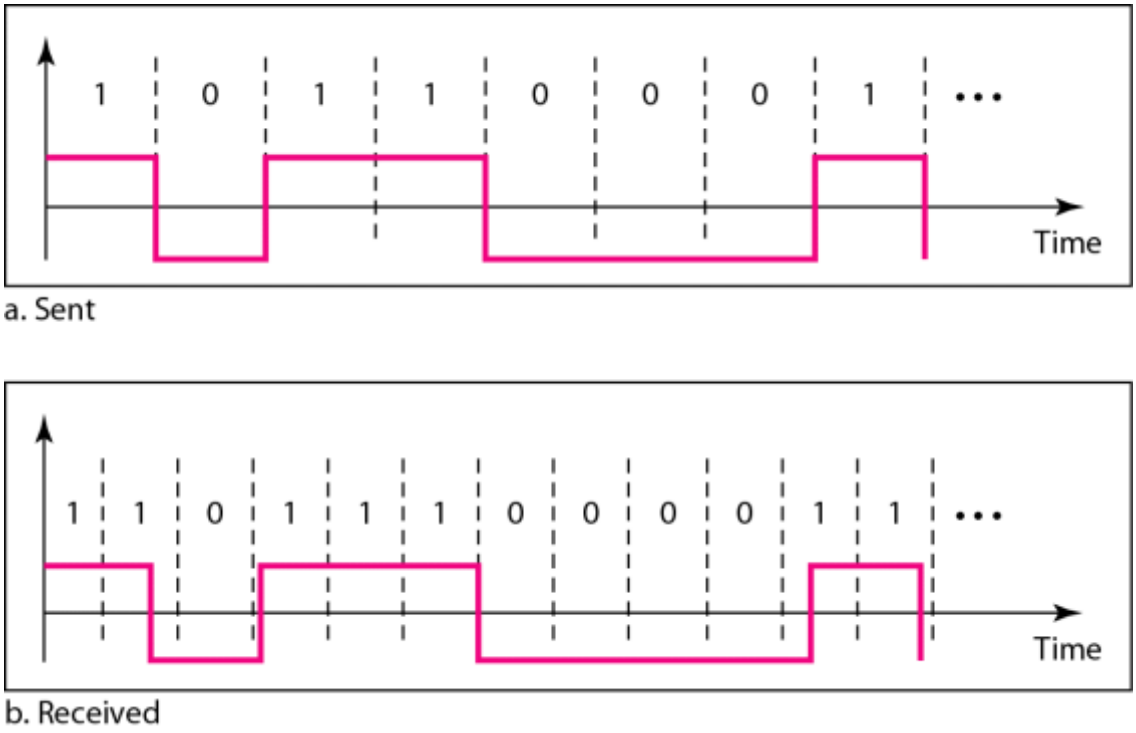
لذلك يفضل أن تكون الإشارة الحاملة للبيانات بدون مركبة مستمرة.

ج. التزامن الذاتي self-synchronization:

عند استقبال الإشارة، يجب أن يكون المستقبل قادراً على تفسير الإشارة وتحويلها إلى بيانات (أصفار ووحدان)، أي تحديد بداية (أو نهاية) النبضة وزمنها. يبين الشكل-2 كيف أن انزياحاً بسيطاً جداً في التزامن، بين بداية النبضة المستقبلة وساعة المستقبل receiver clock، يسبب خطأً في تفسير البيانات. فالمرسل أرسل 10110001، والمستقبل استقبل 110111000011.

[2] تذكر أن معدل الإشارة هو عدد النبضات المرسلة في الثانية؛ أي معدل تغير الإشارة، وهذا الأخير مرتبط بالتردد؛ فزيادة التغيرات في الإشارة يعني مركبات ترددية أكثر، أي عرض حزمة أوسع وهذا غير مرغوب عملياً.

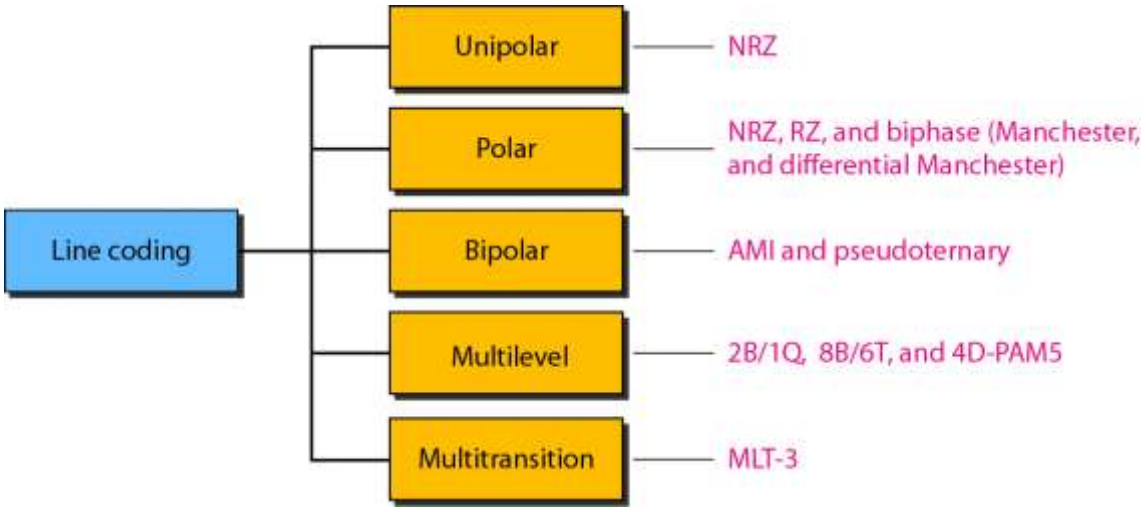
نقول أن الإشارة الرقمية مزامنة ذاتياً self-synchronizing عندما تحمل معلومات زمنية في البيانات المرسلة. يتحقق ذلك بكثرة الانتقالات transitions بين مستويات الإشارة لإنذار المستقبل ببداية، وسط، أو نهاية النبضة.



الشكل-2: مشكلة عدم التزامن بين المرسل والمستقبل

4. ترميز الخط Line Coding:

يمكن تصنيف تقنيات ترميز الخط في خمسة أصناف أساسية كما في الشكل-3.



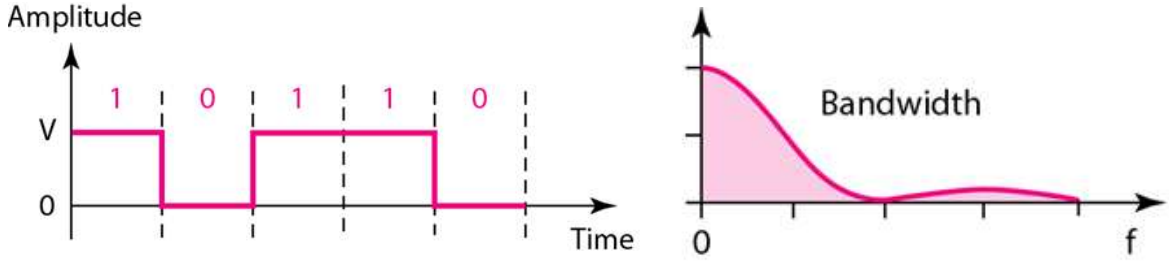
الشكل-3: أصناف تقنيات ترميز الخط

نلاحظ في الشكل–3 أنه يوجد عدة تقنيات ضمن كل صنف. سنتعرف على بعضها، وندرس خصائصها الأساسية التي ناقشناها في هذا الفصل، لنتمكن من اختيار التقنية المناسبة عملياً.

تتكون البيانات من أصفار ووحدان، تُرسَل بمعدل N bps حيث $T_b = 1/N$ زمن البت مقدراً بالثانية. حين يكون عرض حزمة قناة الإرسال عريضاً بقدر كافٍ نرسل البتات من دون تعديل إضافي، باستعمال ما يسمى ترميز الخط، وهو يرمز البيانات بتمثيلها بإشارات مناسبة للإرسال على الكوابل. نستخدم غالباً عنصري إشارة (أو شكلين موجيين)، شكل لإرسال البت صفر خلال زمن البت T_b، وشكل آخر لإرسال البت واحد خلال الزمن نفسه.

1.4. الترميز الأحادي القطبية Unipolar Encoding:

تكون كل مستويات الإشارة في الترميز الأحادي القطبية إما موجبة أو سالبة (من جهة واحدة بالنسبة لمحور الزمن) كما يبين الشكل–4.



الشكل–4: الترميز NRZ الأحادي القطبية وكثافة الاستطاعة الطيفية

في ترميز عدم العودة إلى الصفر non–return to zero NRZ يكون مطال الإشارة ثابتاً خلال زمن البت وهذه القيمة هي 0V من أجل قيمة البت 0، وفولطية موجبة V من أجل قيمة البت 1. ويسمى ترميز عدم العودة إلى الصفر NRZ لأن الإشارة لا تعود إلى القيمة 0V في منتصف زمن البت، بل يبقى مطال الإشارة ثابتاً خلال زمن البت.

نستنتج من الشكل–4 الخواص التالية للترميز NRZ الأحادي القطبية:

- توجد مركبة مستمرة عند $f = 0$
- النسبة $r = 1$
- السرعة المتوسطة $S = N/2$
- يعاني من مشكلة التزامن لأن مستوى الإشارة يبقى ثابتاً من أجل سلسلة طويلة من الأصفار أو الوحدان

ملاحظة: هذا النوع من الترميز لم يعد مستخدماً في تراسل البيانات لأنه يحتاج لاستطاعة عالية نسبياً لإرسال البت مقارنة بالتراميز التي سنراها لاحقاً.

2.4. الترامیز القطبیة Polar Encoding:

في الترامیز القطبیة یأخذ مطال الإشارة قیماً موجبة وسالبة. كأن یأخذ البت 0 الفولطیة الموجبة، ویأخذ البت 1 الفولطیة السالبة مثلاً. أنواع هذه الترامیز هي:

ترمیز عدم العودة إلى الصفر Polar NRZ

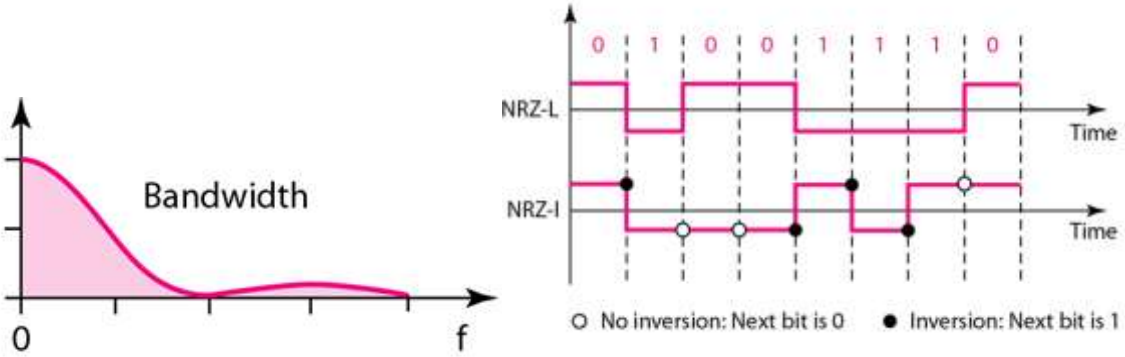
نستخدم في هذا الترمیز مستویین لمطال الإشارة، ویكون لإشارته أحد الشكلین المبینین في الشكل-6:

الترمیز NRZ-L (NRZ-Level): في هذا النوع، نحدد قیمة البت (0 أو 1) من مستوى فولطیة الإشارة.

الترمیز NRZ-I (NRZ-Invert): في هذا النوع، نحدد قیمة البت (صفر أو واحد) من إذا بقي مستوى فولطیة الإشارة بدون تغییر، تكون قیمة البت التالي 0، وإذا تغیر مستوى فولطیة الإشارة، تكون قیمة البت التالي 1.

نستنتج من الشكل-5 الخواص التالیة للترمیز القطبي Polar NRZ:

- توجد مركبة مستمرة عند $f = 0$
- النسبة $r = 1$
- السرعة المتوسطة $S = N / 2$
- یعاني من مشكلة التزامن لأن مستوى الإشارة یبقى ثابتاً من أجل سلسلة طویلة من الأصفار أو الوحدان من أجل NRZ-L، ومن أجل سلسلة طویلة من الأصفار فقط من أجل NRZ-I
- یعاني من مشكلة أن معظم الطاقة المحمولة بالإشارة مركزة عند الترددات القریبة من المركبة المستمرة
- یستخدم في التسجیل المغناطیسي Magnetic recording
- لا یستخدم عادة لإرسال الإشارة



الشكل-5: الترمیز القطبي عدم العودة إلى الصفر Polar NRZ وكثافة الاستطاعة الطیفیة

مثال 3

لدينا نظام تراسل بيانات يستخدم NRZ–I للنقل بمعدل 1 Mbps. احسب معدل الإشارة الوسطي وعرض الحزمة الأصغري.

الحل

معدل الإشارة الوسطي:

$$S = \frac{N}{2} = 500\,\text{kbaud}$$

وعرض الحزمة الأصغري

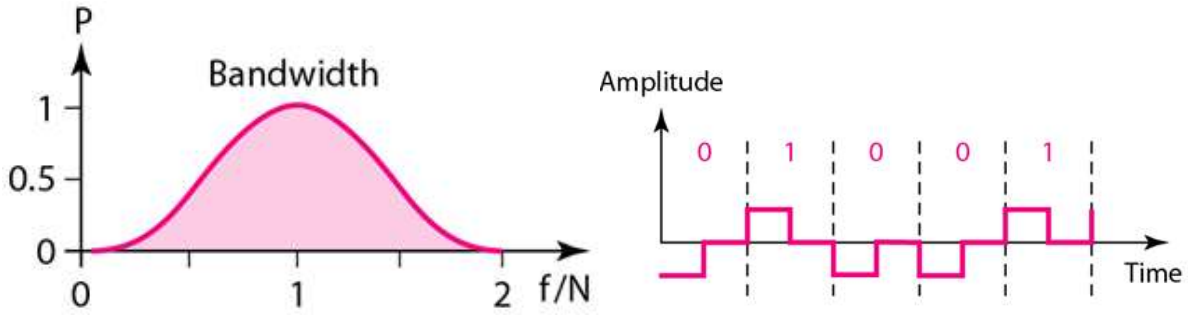
$$B_{min} = S = 500\,\text{kHz}$$

ترميز العودة إلى الصفر Polar RZ

يعاني ترميز عدم العودة إلى الصفر Polar NRZ من مشكلة التزامن، فالمستقبل لا يعرف متى ينتهي البت ويبدأ التالي. أحد الحلول هو ترميز العودة إلى الصفر return to zero RZ. لإشارة RZ ثلاثة مستويات: موجب وسالب وصفر، نمثل البت 1 بنبضة موجبة عرضها $T_b / 2$، ونمثل البت 0 بنبضة سالبة عرضها $T_b / 2$، ويتغير مستوى الإشارة إلى الصفر في النصف الثاني من البت، كما يبين الشكل–6 الذي نستخلص منه خواص وسيئات هذا الترميز:

- لا توجد مركبة مستمرة عند $f = 0$
- النسبة $r = 1/2$
- السرعة المتوسطة $S = N$؛ يحتاج إلى ضعفي عرض الحزمة مقارنة بالترميز NRZ
- لا يعاني من مشكلة التزامن
- تعقيد أعلى لأنه يحتاج لثلاثة مستويات

لذلك لم يعد هذا الترميز مستخدماً، واستبدل بأحد الترميزين Manchester أو Differential Manchester



الشكل–6: الترميز القطبي عودة إلى الصفر Polar RZ وكثافة الاستطاعة الطيفية

3.4. الترامیز الثنائیة الطور Biphase: Manchester and Differential Manchester

یجمع الترمیز Manchester بین فکرة العودة إلى الصفر عند $T_b / 2$ في الترمیز RZ، وفکرة NRZ–L. ینقسم زمن البت إلى نصفین، یُمثل البت 0 بنبضة موجبة متبوعة بنبضة سالبة لهما المطال نفسه، ویساوي زمن کل منهما $T_b / 2$، وتُعکس قطبیة النبضتین في حال إرسال البت 1، کما یبین الشکل–7.

ویجمع الترمیز Differential Manchester بین فکرة العودة إلى الصفر عند $T_b / 2$ في الترمیز RZ، وفکرة NRZ–I. ینقسم زمن البت إلى نصفین کما في الترمیز Manchester، لکن تتحدد قیمة البت في بدایته:

أ. إذا کان البت التالي 0، یحصل انتقال في المستوى

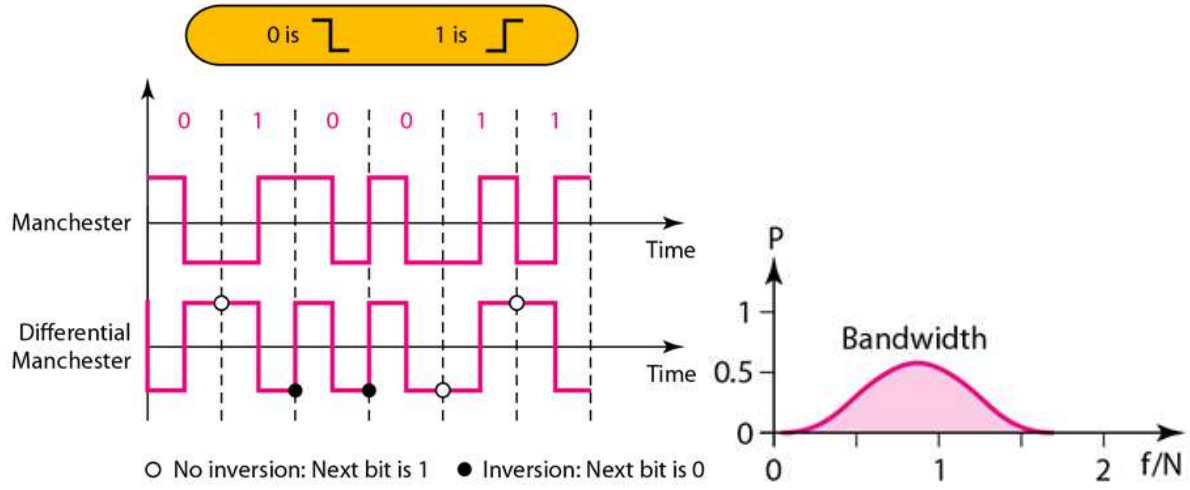
ب. إذا کان البت التالي 1، لا یحصل انتقال في المستوى

الترمیز Differential Manchester والترمیز NRZ–I تفاضلیان، لأنه یتم الترمیز حسب قیمة البت التالي، ولا تأخذ الإشارة قیمة مطلقة من أجل قیمة البت.

نستخلص من الشکل–7 خواص وسیئات الترمیز الثنائي الطور:

- لا توجد مرکبة مستمرة عند $f = 0$
- النسبة $r = 1/2$
- السرعة المتوسطة $S = N$؛ یحتاج إلى ضعفي عرض الحزمة مقارنة بالترمیز NRZ
- یؤمن التزامن بشکل جید

یستخدم الترمیز Manchester في المعیار IEEE802 Ethernet للشبکات المحلیة LAN من أجل إرسال الحزمة القاعدیة في الکوابل المحوریة والمجدولة.



الشكل–7: التراميز الثنائية الطور Biphase: Manchester and Differential Manchester وكثافة الاستطاعة الطيفية

4.4. التراميز الثنائية القطبية Bipolar Encoding:

هي تراميز تأخذ فيها الإشارة ثلاثة مستويات: موجب وسالب وصفر، ولذلك تدعى أحياناً متعددة المستويات Multilevel binary، من أنواعها:

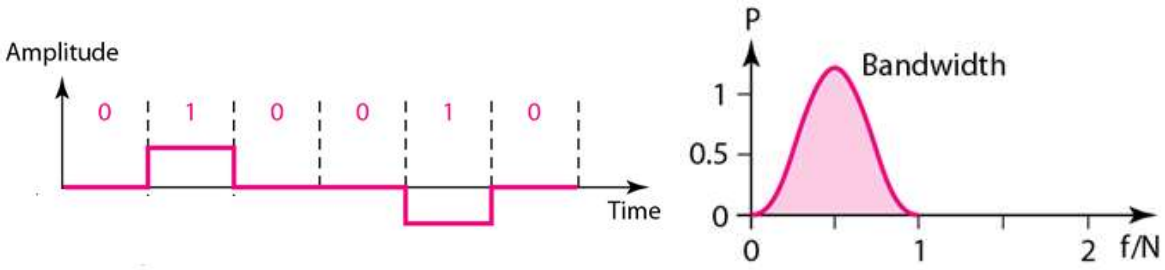
Alternate Mark Inversion AMI: تدل الكلمة Mark على قيمة البت 1. فعندما تكون الفولطية 0V، تكون قيمة البت 0؛ بينما يقابل قيمة البت 1، تناوب للفولطية الموجبة والسالبة، أي إذا كانت النبضة موجبة تصبح سالبة من أجل البت 1 التالي، كما هو مبين بالشكل–8.

Pseudoternary: يشبه AMI لكن يتم ترميز البت 1 بالفولطية 0V، ويحصل تناوب للفولطية الموجبة والسالبة من أجل البت 0 التالي.

نستخلص من الشكل–8 خواص وسيئات التراميز الثنائية القطبية:

- لا توجد مركبة مستمرة عند $f = 0$
- النسبة $r = 1$
- السرعة المتوسطة $S = N / 2$
- تعاني من مشكلة التزامن
- تناوب النبضات يؤمن وسيلة سهلة لكشف الخطأ في الإرسال
- تستخدم للاتصالات لمسافات طويلة

يمكن وصف التراميز الثنائية القطبية بأنها نسخة متقدمة من NRZ مع حذف المركبة المستمرة.



الشكل-8: الترميز الثنائي القطبية Bipolar-AMI وكثافة الاستطاعة الطيفية

5.4. التراميز المتعددة المستويات Multilevel Encoding:

نتج عن الحاجة إلى زيادة معدل نقل البيانات أو إنقاص عرض الحزمة المطلوب، في نظام تراسل البيانات، تراميز أخرى عديدة. يتحقق ذلك بزيادة عدد البتات المرسلة بواحدة معدل الإشارة وهي baud، وذلك بترميز m عنصر بيانات ضمن n عنصر إشارة. بما أن عناصر البيانات هي الأصفار والوحدان، ينتج عن مجموعة من m عنصر بيانات، تشكيلات من 2^m نموذجاً من البيانات. كما يمكن الحصول على أنواع مختلفة من عناصر الإشارة بمستويات إشارة مختلفة.

- إذا كان لدينا L مستوى مختلفاً، يمكن الحصول على L^n تشكيلة من نماذج الإشارات.
- إذا كان $2^m = L^n$، يمكن ترميز كل نموذج بيانات بنموذج إشارة واحد.
- إذا كان $2^m < L^n$، فإن نماذج البيانات تشغل مجموعة جزئية من نماذج الإشارة؛ في هذه الحالة، يمكن تصميم هذه المجموعة الجزئية بحيث تحقق المواصفات المطلوبة للترميز مثل عدم وجود مركبة مستمرة، تأمين التزامن، عرض حزمة ضيق، كشف الأخطاء.
- إذا كان $2^m > L^n$، لا يمكن تحقيق الترميز.

تسمى الترامیز المتعددة المستويات الناتجة عن ذلك mBnL، ونستخدم أحد الأحرف التالية للدلالة على عدد نماذج الإشارة L:

- B (binary) من أجل $L = 2$.
- T (ternary) من أجل $L = 3$.
- Q (Quarternary) من أجل $L = 4$.

فالترميز 2B1Q يستخدم نماذج بيانات من خانتين (2-bit pattern) لترميز كل منهما بعنصر إشارة مكونة من أربعة مستويات. يحقق هذا الترميز سرعة متوسطة تساوي $N/4$، أي إرسال البيانات بمعدل أسرع بمرتين من الترميز NRZ-L مثلاً. يستخدم الترميز 2B1Q في تقانة DSL (Digital Subscriber Line) لتأمين وصلة إنترنت سريعة عبر خطوط الهاتف.

والترميز 8B6T يستخدم نماذج بيانات من ثمان خانات (8-bit pattern) لترميزهم بمجموعة من ست عناصر إشارة مكونة من ثلاثة مستويات. يستخدم هذا الترميز على الكوابل 100BASE-4T بسرعة متوسطة تساوي $3N / 4$.

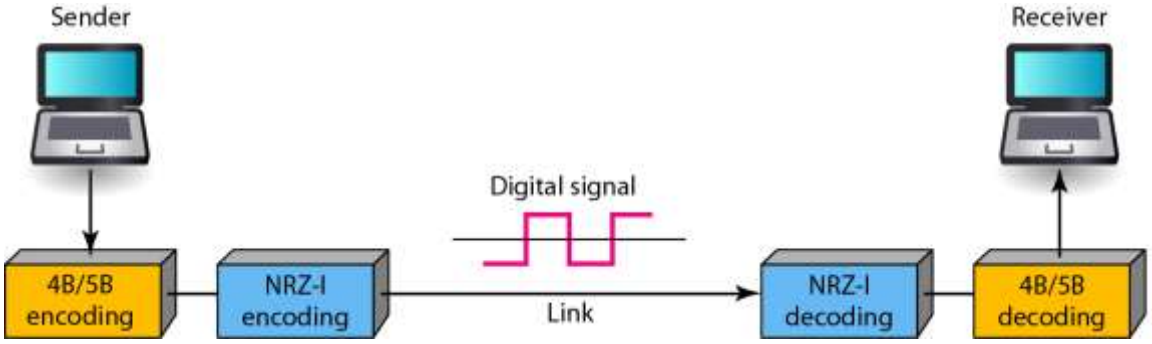
5. تقنيات تحسين الأداء Performance Improvement Techniques:

يمكن تحسين أداء ترامیز الخط السابقة باستخدام تقنيات إضافية مثل الترميز الكتلي Block Coding أو الخلط scrambling، التي تساعد على التزامن وكشف الأخطاء الناتجة عن الإرسال.

1.5. الترميز الكتلي Block Coding:

نحتاج إلى حشو redundancy خانات إضافية ضمن البيانات، قبل ترميزها بإحدى تقنيات ترميز الخط وإرسالها، لتأمين التزامن وكشف الخطأ. المبدأ هو الاستعاضة عن كتلة Block من البيانات حجمها m-bits بكتلة أخرى حجمها n-bits، بشرط $n > m$؛ ونسمي الترميز الكتلي mB/nB.

فالترميز الكتلي 4B/5B مثلاً، يستخدم مع ترميز الخط NRZ-I لحل مشكلة التزامن عندما يكون لدينا سلسلة بيانات طويلة من الأصفار. يبين الشكل-9 مبدأ العمل. نستعيض عن كل كتلة بيانات 4-bits بكتلة بيانات 5-bits، بحيث لا تحتوي الكتلة 5-bits على أكثر من صفر في البداية، وأكثر من صفرين في النهاية. بما أن كتل البيانات 5-bits أصبحت معروفة، يساعد الترميز الكتلي على كشف الأخطاء أيضاً، لكن إضافة الخانات يتطلب معدل إشارة في الإرسال أعلى بنسبة 20%.



الشكل-9 مبدأ عمل الترميز الكتلي 4B/5B مع ترميز الخط NRZ-I

مثال 4

نحتاج لإرسال البيانات بمعدل 1-Mbps. ما هو عرض الحزمة الأصغري المطلوب، باستخدام الترميز الكتلي 4B/5B مع ترميز الخط NRZ-I؟ أو مع ترميز الخط Manchester؟

الحل

يسبب الترميز الكتلي 4B/5B زيادة في معدل النقل ليصبح 1.25 Mbps. فيكون عرض الحزمة الأصغري المطلوب في حال استخدمنا ترميز الخط NRZ-I:

$$B_{min} = \frac{N}{2} = 625\,\text{kHz}$$

ويكون عرض الحزمة الأصغري المطلوب في حال استخدمنا ترميز الخط Manchester:

$$B_{min} = N = 1.25\,\text{MHz}$$

يحتاج ترميز الخط NRZ-I إلى عرض حزمة أقل من Manchester، لكن يوجد مشكلة DC؛ بينما لا يوجد مشكلة DC في Manchester الذي يحتاج لعرض حزمة أعلى.

2.5. الخلط Scrambling:

التراميز الثنائية الطور، المناسبة للوصلات المخصصة بين الأجهزة المتصلة بشبكة محلية LAN، غير مناسبة للوصلات لمسافات طويلة بسبب عرض الحزمة العريض المطلوب. استخدام الترميز الكتلي مع ترميز الخط NRZ غير مناسب للوصلات لمسافات طويلة بسبب المركبة المستمرة. الترميز الثنائي القطبية AMI، من جهة أخرى، ضيق الحزمة ولا يسبب مركبة مستمرة، لكن السلسلة الطويلة من الأصفار تسبب مشكلة تزامن. أحد الحلول لهذه المشكلة باستخدام إحدى تقنيتي الخلط Scrambling المعروفتين باسم B8ZS و HDB3.

استخدام تقنية الخلط scrambling يجب أن يحقق التزامن والمحافظة على نفس حجم البيانات بهدف:

- حذف المركبة المستمرة.
- عدم وجود سلسلة طويلة من الأصفار.
- عدم تخفيض معدل النقل.
- القدرة على كشف الأخطاء.

Bipolar with 8-Zeroes Substitution - B8ZS

الاستعاضة عن سلسلة من ثمانية أصفار متتالية بسلسلة من الشكل 000VB0VB حسب القاعدة التالية:

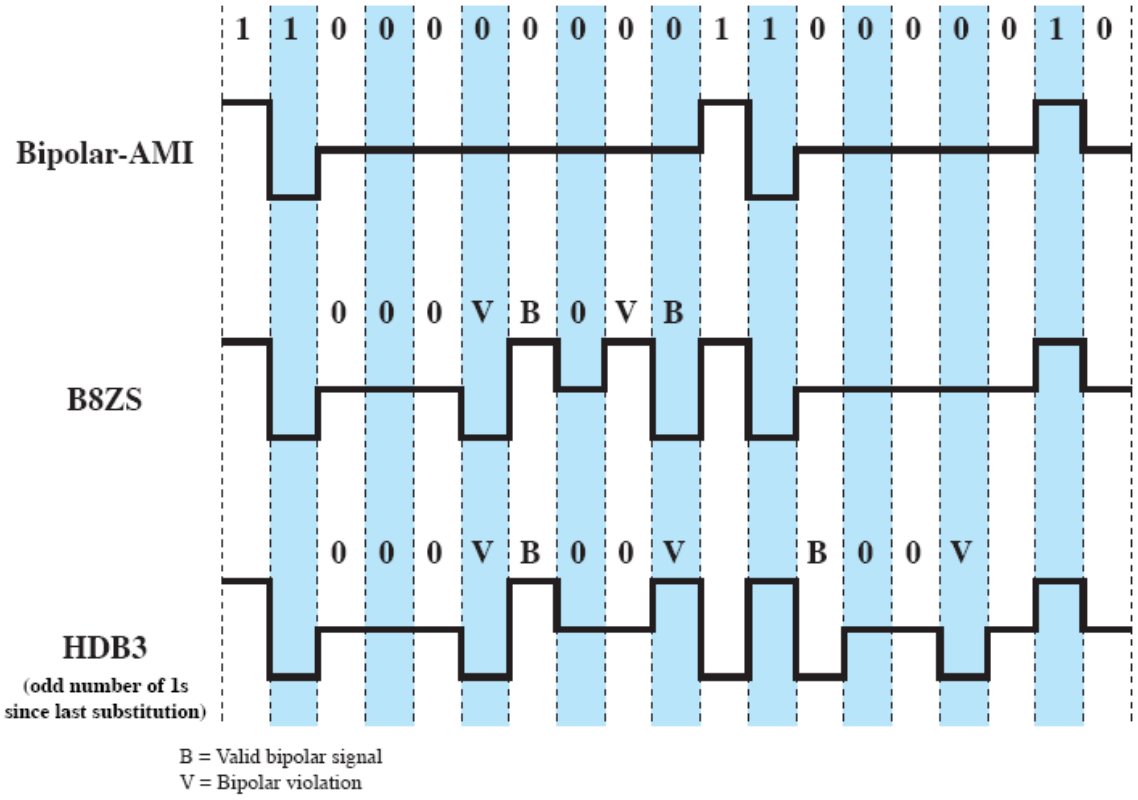
- إذا كانت النبضة الأخيرة موجبة (+) قبل السلسلة من ثمانية أصفار، يتم ترميز هذه السلسلة بالشكل 000+-0-+
- إذا كانت النبضة الأخيرة سالبة (-) قبل السلسلة من ثمانية أصفار، يتم ترميز هذه السلسلة بالشكل 000-+0+-

High-density bipolar 3-zero – HDB3

الاستعاضة عن سلسلة من أربعة أصفار متتالية بسلسلة من الشكل 000V أو من الشكل B00V حسب القاعدة التالية:

- إذا كان عدد النبضات (الموجبة أو السالبة) بعد الاستعاضة فردياً، يتم ترميز هذه السلسلة بالشكل 000V.
- إذا كان عدد النبضات (الموجبة أو السالبة) بعد الاستعاضة زوجياً، يتم ترميز هذه السلسلة بالشكل B00V.

مع ملاحظة أن V تعني مخالفة القاعدة المتبعة في الترميز AMI، وأن B تعني موافقة القاعدة المتبعة في الترميز AMI.



الشكل-10 ترميز البيانات بإشارة AMI، ثم تغييرها بتقنية B8ZS، أو تغييرها بتقنية HDB3.

يبين الشكل-10 ترميز البيانات بإشارة AMI، ثم تغييرها بتقنية B8ZS، أو تغييرها بتقنية HDB3.

خواص الإشارتين الناتجتين من تطبيق تقنيتي الخلط B8ZS و HDB3:

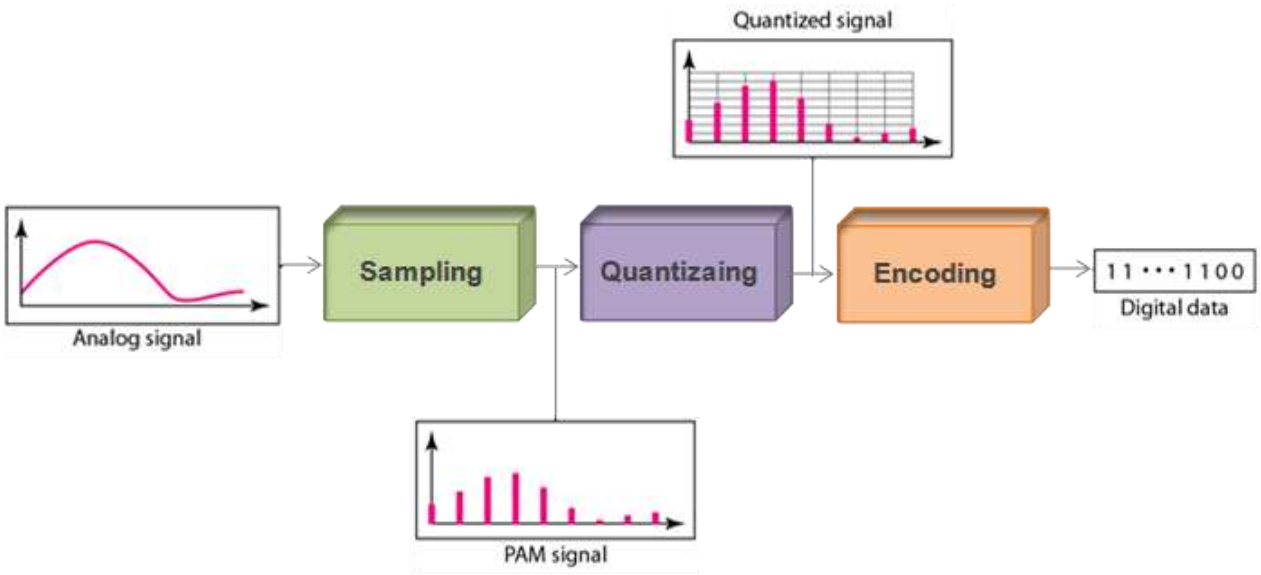
- لا يوجد مركبة DC.
- تأمين التزامن بشكل جيد.
- معظم الطاقة مركزة ضمن عرض حزمة ضيق حول $f = N/2$ ، وبالتالي يصبح الترميزان الناتجان مناسبين للإرسال بمعدلات نقل عالية.

6. التبديل التماثلي – الرقمي Analog–To–Digital Conversion:

ناقشنا فيما سبق التقنيات المستخدمة لترميز البيانات الرقمية بإشارات رقمية؛ وهذا ما يعرف بالتبديل الرقمي–الرقمي Digital–To–Digital Conversion. في حال كانت البيانات المراد إرسالها هي إشارات تماثلية، نحولها أولاً إلى بيانات رقمية، ثم نرسلها باستخدام تقنيات الترميز السابقة. وتسمى أحياناً عملية تحويل الإشارة التماثلية إلى بيانات رقمية بالرقمنة Digitization[3].

1.6. تعديل ترميز النبضة Pulse Code Modulation:

هذه التقنية هي الأكثر استخداماً لرقمنة الإشارة التماثلية، وتتم على ثلاث مراحل هي (الشكل–11):

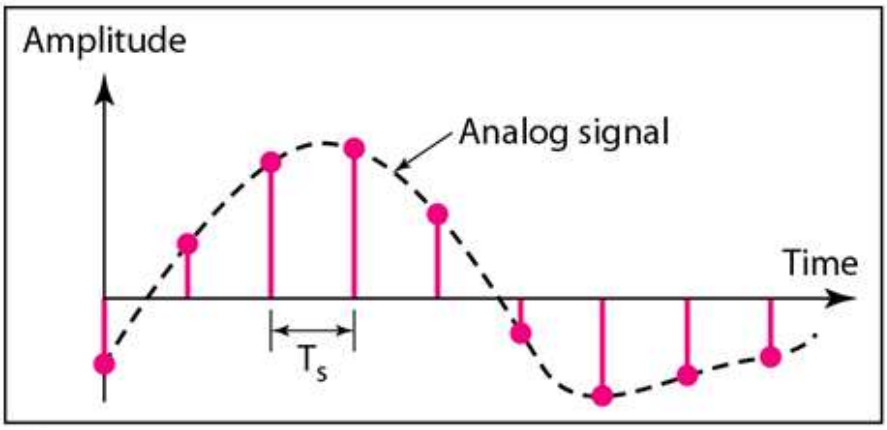


الشكل–11: مراحل تعديل ترميز النبضة

الاعتيان Sampling

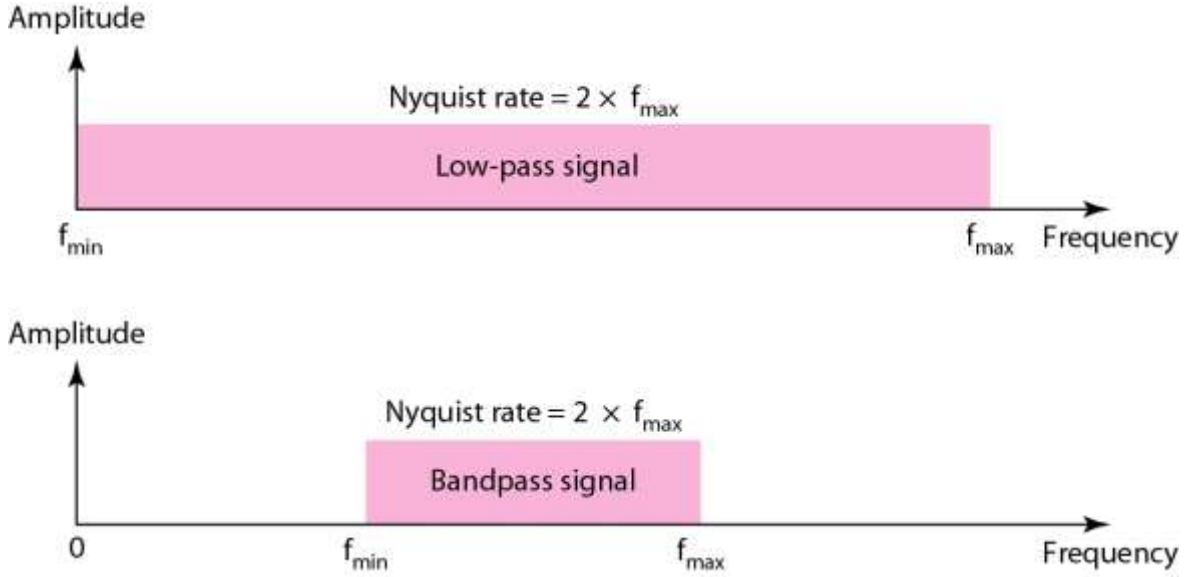
أخذ عينات من الإشارة التماثلية، بدور زمني T_s، يقابله تردد اعتيان sampling frequency ، $f_s = 1/T_s$ ويسمى أيضاً معدل الاعتيان sampling rate. يبين الشكل–12 عملية الاعتيان. يخضع f_s لنظرية نايكويست Nyquist theorem التي تنص على أن f_s يجب أن يساوي على الأقل ضعفي أعلى تردد في الإشارة التماثلية الأصلية، لاستعادتها في الاستقبال.

[3] سندرس هذه المواضيع في مقررات لاحقة مثل الاتصالات الرقمية، لذلك نكتفي هنا بشرح مبسط جداً.



الشكل–12: الاعتيان

يوضح الشكل–13 حساب معدل الاعتيان حسب طيف الإشارة: تمرير منخفض أو تمرير حزمة. لاحظ أن معدل الاعتيان في الحالتين يساوي إلى ضعفي أعلى تردد.



الشكل–13: معدل الاعتيان لإشارة تمرير منخفض وإشارة تمرير حزمة.

مثال 5

يجري عادة تقدير طيف صوت الإنسان بترددات تمتد حتى 4 kHz؛ لذلك يكون تردد الاعتيان 8 kHz، ويكون معدل الاعتيان مساوياً 8000 عينة بالثانية.

التكمية Quantization

ينتج عن عملية الاعتيان نبضات (باللون الأحمر في الشكل–12) يتراوح مطالها بين أصغر V_{min} وأكبر V_{max} مطال للإشارة التماثلية. تهدف التكمية إلى إسناد قيمة لمطال كل نبضة لنتمكن من ترميزها في المرحلة اللاحقة، وذلك كما يلي:

نجزئ المجال المطالي $V_{max} - V_{min}$ إلى L مطال جزئي (منطقة) قيمته:

$$\Delta = \frac{V_{max} - V_{min}}{L}$$

ثم نسند قيماً مكمّمة quantized (من الصفر إلى $L-1$) إلى نقطة الوسط لكل منطقة من المطالات الجزئية؛ وأخيراً نقرب قيم مطالات نبضات الاعتيان الناتجة إلى هذه القيم المكمّمة. يمكن أن تكون التكمية منتظمة أو غير منتظمة حسب شكل الإشارة الأصلية.

الترميز Encoding:

نحسب أولاً عدد البتات اللازمة لتمثيل كل مطال مكمّم L من العلاقة

$$nb = \log_2 L$$

ثم نحول قيمة كل مطال مكمّم إلى رماز code طوله nb. وأخيراً يمكن حساب معدل النقل من العلاقة

$$N = f_s \times nb$$

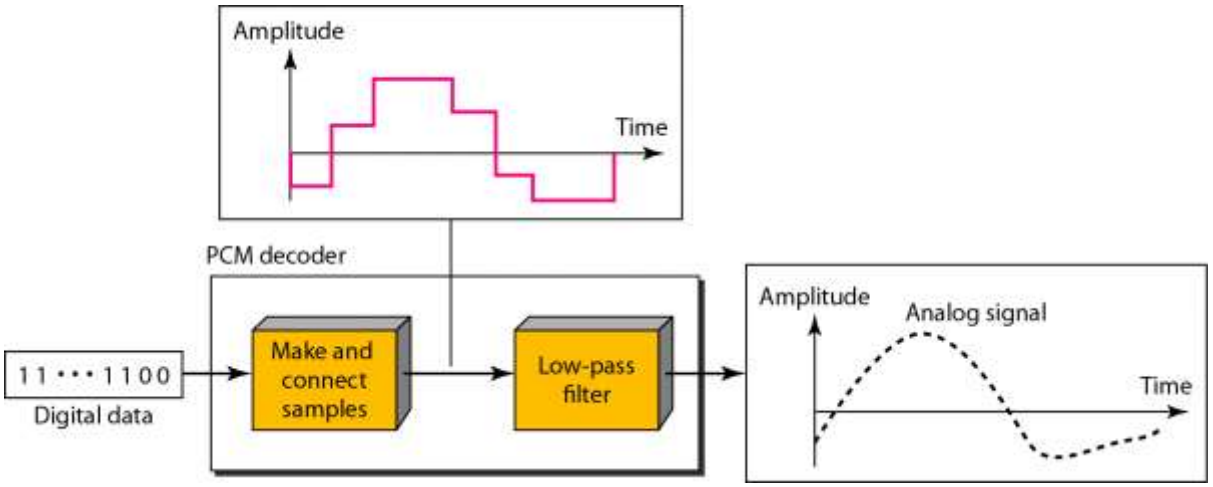
مثال 6

بالعودة إلى المثال 5، يجري عادة تكمية عينات صوت الإنسان برمازات من 8 bits، فيكون معدل النقل اللازم لإرسال صوت الإنسان رقمياً هو

$$N = f_s \times nb = 8000 \times 8 = 64 \text{ kbps}$$

استعادة الإشارة التماثلية

يبين الشكل-14 مراحل فك التعديل PCM عند الاستقبال.

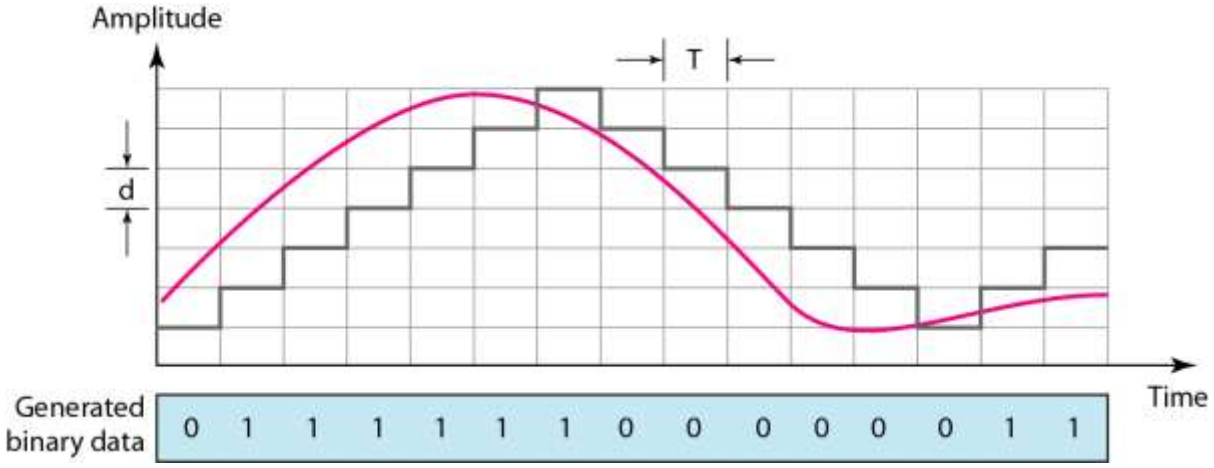


الشكل-14 مراحل فك التعديل PCM عند الاستقبال.

codec هو الجهاز الذي يقوم بعملية التعديل وفك التعديل PCM.

2.6. تعديل دلتا Delta Modulation:

التعديل PCM تقنية معقدة جداً كما رأينا. لذلك تم تطوير تقنيات أبسط، منها تقنية التعديل دلتا. فعوضاً عن إيجاد قيمة مقابلة لكل عينة، تعمل تقنية التعديل دلتا على إيجاد الفرق δ بين العينة وسابقتها، كما هو موضح في الشكل-15.

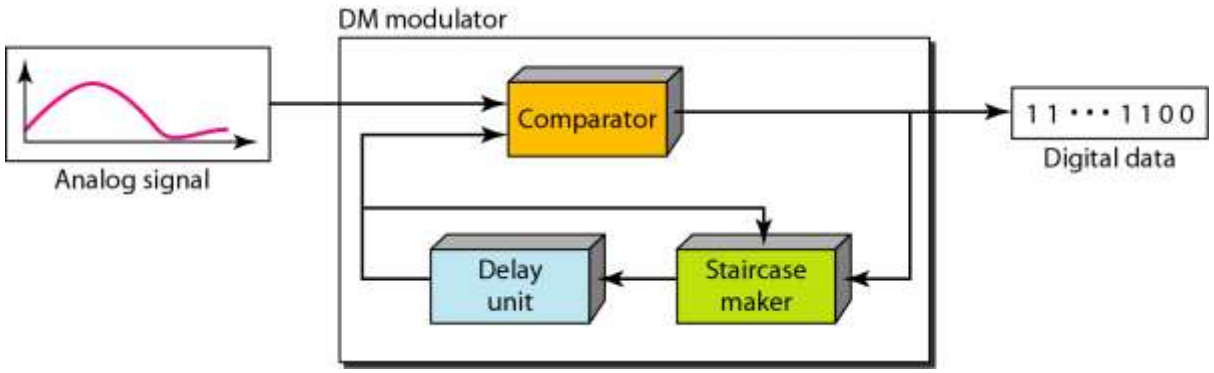


الشكل-15: مبدأ عمل التعديل دلتا

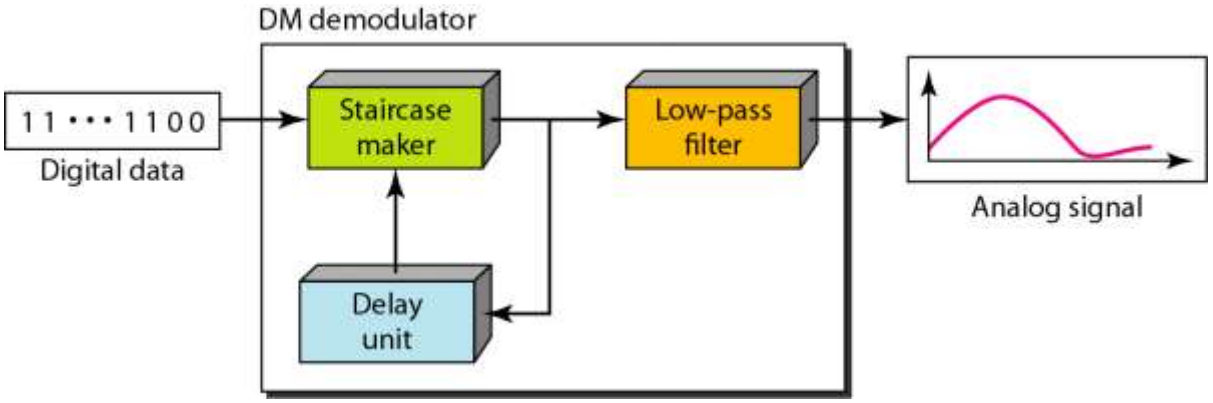
المعدل دلتا Delta Modulator

يبين الشكل-16 مراحل هذا المعدل الذي يعطي في خرجه سلسلة من الأصفار والوحدان على النحو الآتي:

- إذا كان الفرق δ موجباً، يكون الخرج 1.
- إذا كان الفرق δ سالباً، يكون الخرج 0.



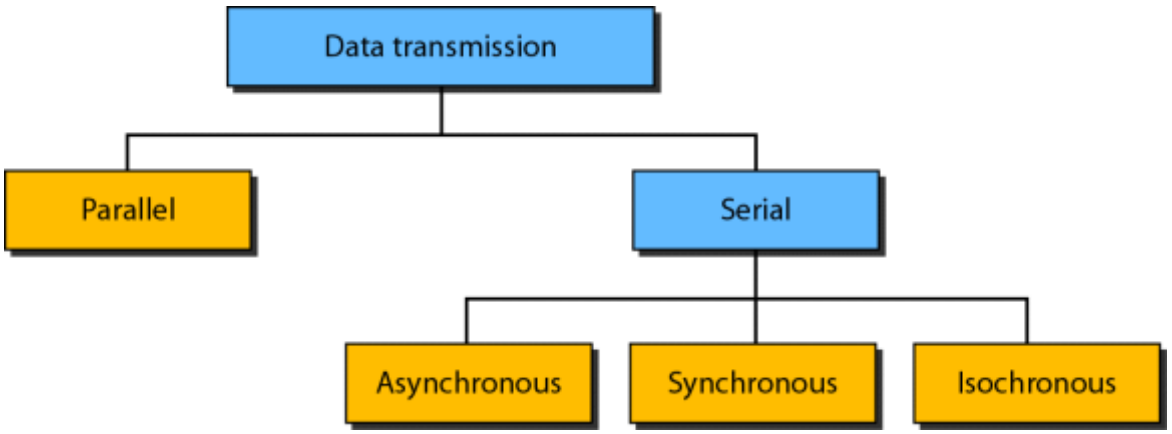
الشكل-16: مراحل التعديل دلتا



الشكل–17: مراحل فك التعديل دلتا

7. أنماط الإرسال Transmission Modes:

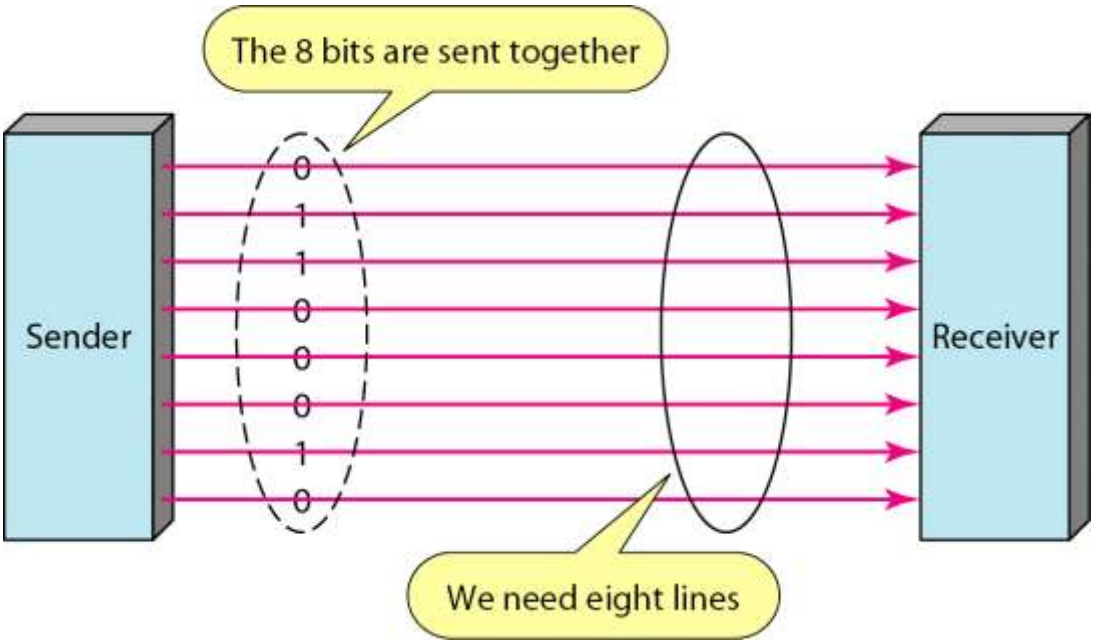
يمكن إرسال البيانات الإثنانية Binary data عبر وصلة في نظام تراسل البيانات بين جهازين بأحد نمطين: تفرعي Parallel أو تسلسلي Serial، كما هو مبين في الشكل–18.



الشكل–18: أنماط الإرسال

1.7. الإرسال التفرعي Parallel Transmission:

في النمط التفرعي، يجري تجميع البيانات، المكونة من أصفار ووحدان، في مجموعات من n bits، وإرسال كل مجموعة بنفس اللحظة. يتطلب ذلك استخدام n وصلة، وإرسال كل خانة على وصلة، بحيث يتم إرسال n bits مع نبضة ساعة واحدة من جهاز لآخر. نوضح في الشكل–19 الإرسال التفرعي لمجموعة من 8 bits، وتكون الوصلات (أسلاك أو غيرها) الثمانية عملياً مجمعة في كابل واحد مع موصل connector من كل طرف.

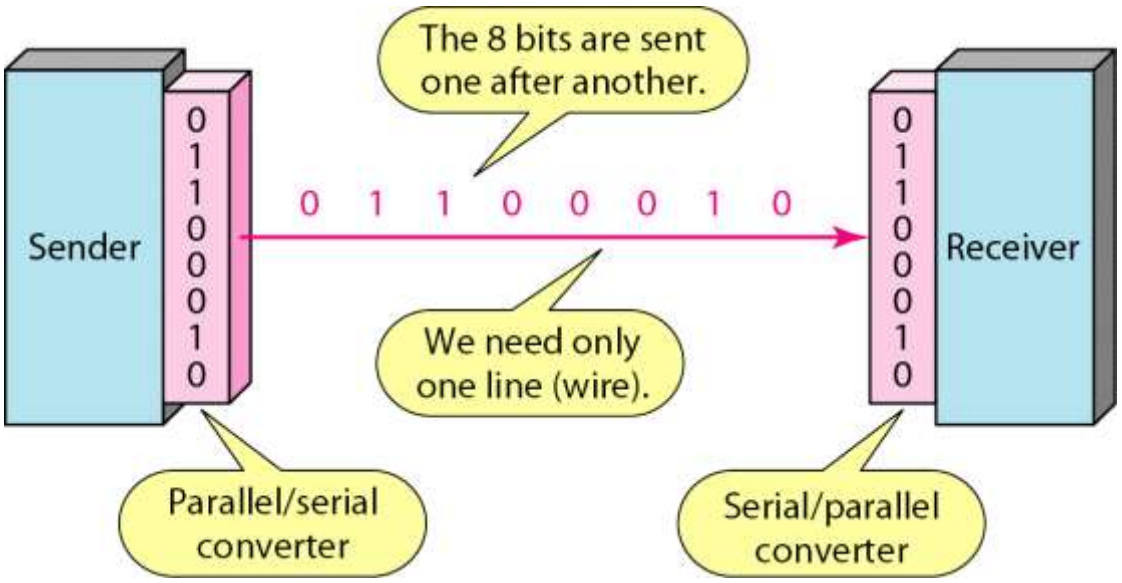


الشكل–19 الإرسال التفرعي لمجموعة من 8 bits.

يتميز النمط التفرعي بسرعة الإرسال؛ فعندما نرسل n bits معاً، نزيد السرعة بمعامل n. لكن ذلك على حساب الكلفة، ولهذا يقتصر الإرسال التفرعي على المسافات القصيرة.

2.7. الإرسال التسلسلي Serial Transmission:

نحتاج في الإرسال التسلسلي لوصلة واحدة بين جهازين، ونرسل خانة واحدة تليها الخانة التالية، كما هو موضح في الشكل-20.



الشكل-20: نمط الإرسال التسلسلي

يتميز النمط التسلسلي على التفرعي بالكلفة القليلة، لحاجته لقناة إرسال واحدة فقط. لكن بما أن التراسل ضمن الجهاز الواحد يكون تفرعياً، يحتاج النمط التسلسلي في الشكل-20 إلى مبدل تفرعي/تسلسلي عند الإرسال، ومبدل تسلسلي/تفرعي عند الاستقبال.

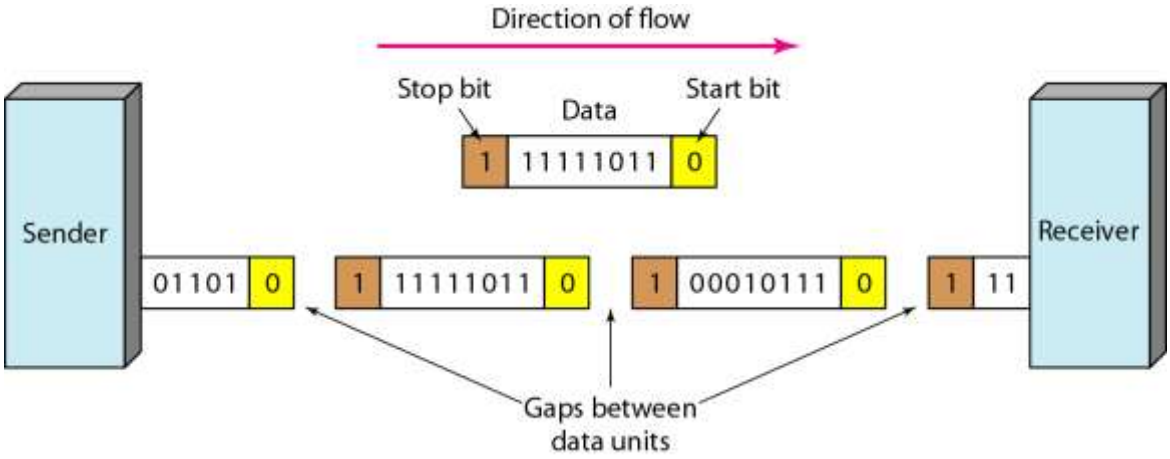
يحصل الإرسال التسلسلي بإحدى الطرق الثلاث التالية:

الإرسال غير المتزامن Asynchronous Transmission

في هذا النمط يكون التوقيت غير مهم، بل يجري الاتفاق بين المرسل والمستقبل على نموذج معين. والنموذج العملي هو تجميع كل ثمان خانات بما يسمى بايت Byte. وبما أنه لا يوجد تزامن بين المرسل والمستقبل في نمط الإرسال غير المتزامن، يتم إضافة خانة إلى بداية كل بايت لإعلام المستقبل بوصول مجموعة جديدة من البيانات. تسمى هذه الخانة الإضافية خانة البدء start bit، وتكون قيمتها عادة 0. ولإخطار المستقبل بنهاية البايت، يضاف خانة أو أكثر إلى نهاية البايت، وتكون القيمة عادة 1، وتسمى بخانة التوقف stop bit.

نلاحظ أن كل بايت من البيانات المراد إرسالها بدون تزامن، زاد حجمه إلى 10 bits على الأقل. كما يمكن أن يلي إرسال البايت فترة توقف Gap متغيرة، لا تستعمل فيها القناة لإرسال البيانات، لذلك يمكن إرسال خانات توقف إضافية. يوضح الشكل-21 نمط الإرسال التسلسلي غير المتزامن.

من المهم لفت الانتباه أن الإرسال غير المتزامن يكون على مستوى البايت، لكن لا بد من التزامن على مستوى كل خانة من البايت، لأن زمن البت محدد ومتساوي.

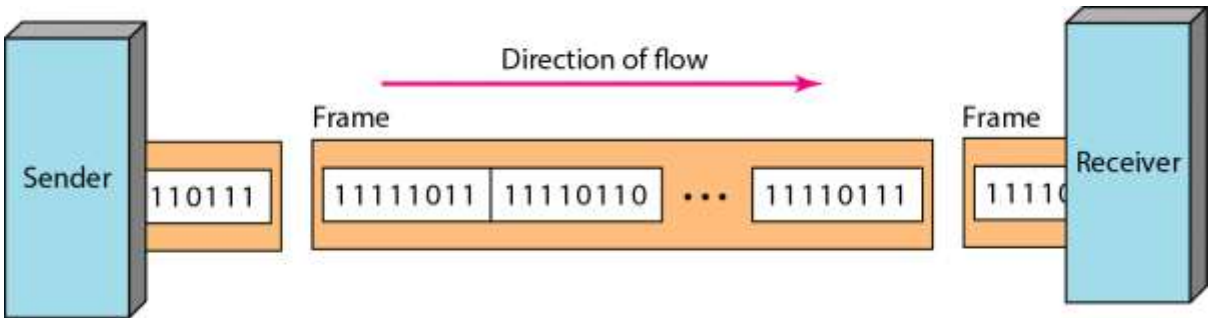


الشكل-21: مخطط توضيحي لنمط الإرسال التسلسلي غير المتزامن.

إضافة خانات البدء والتوقف، وفترة التوقف بين البايت والآخر، يجعل الإرسال غير المتزامن أبطأ من غيره. لكنه رخيص وفعال، وهذا ما يجعله جذاباً للتطبيقات البطيئة السرعة. مثال على ذلك، الوصلة بين لوحة المفاتيح والحاسوب تستخدم الإرسال غير المتزامن.

الإرسال المتزامن Synchronous Transmission

في الإرسال المتزامن، نرسل الخانة تلو الأخرى، بدون خانة بدء أو توقف، وبدون فترات توقف، ويتوجب على المستقبل عد الخانات وتجميع كل 8 bits في بايت. يظهر في الشكل-22 مخطط توضيحي لنمط الإرسال التسلسلي المتزامن. نلاحظ في هذا الشكل أن البيانات المرسلة مجمعة في أطر، وكل إطار Frame يضم عدة وحدات من البايت، مع فترات توقف متغيرة بين الإطار والآخر.



الشكل-22: مخطط توضيحي لنمط الإرسال التسلسلي المتزامن.

ميزة الإرسال المتزامن هي السرعة مقارنة بالإرسال غير المتزامن، لذلك يستخدم للتطبيقات عالية السرعة، مثل نقل البيانات من حاسوب لآخر.

الإرسال Isochronous

في تطبيقات نقل الصوت والصورة بالزمن الحقيقي، حيث لا يسمح بفترات تأخير مختلفة بين الأطر، لا يمكن استخدام الإرسال المتزامن. فمثلاً، يجري بث صور التلفاز بمعدل 30 صورة بالثانية؛ ويجب إظهارهم على الشاشة بنفس المعدل، وبدون تأخير.

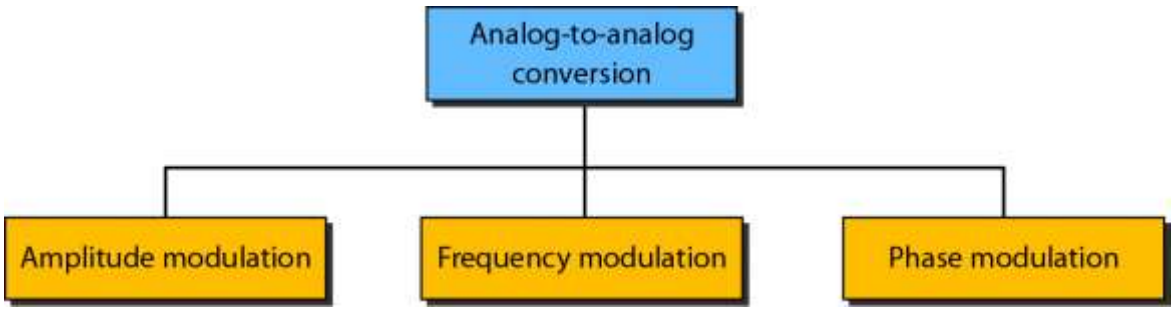
نستخدم لهذه التطبيقات الإرسال Isochronous الذي يضمن وصول الصور بمعدل ثابت.

8. الخلاصة Conclusion:

- يتطلب التبديل الرقمي–الرقمي استخدام ثلاث تقنيات: تقنية أساسية هي ترميز الخط، وتقنيتان لتحسين الأداء هما الترميز الكتلي والخلط.
- يستخدم ترميز الخط لتحويل البيانات الرقمية إلى إشارات رقمية.
- تعرفنا على خمسة أصناف لترميز الخط هي: وحيدة القطبية، قطبية، ثنائية الطور، ثنائية القطبية، ومتعددة المستويات.
- يساعد الترميز الكتلي مع ترميز الخط على تأمين التزامن وكشف الخطأ، لكن بإضافة خانات حشو.
- تعرفنا على تقنيتين للخلط هما B8ZS و HDB3 لتأمين التزامن مع ترميز الخط بدون خانات حشو.
- تعتمد الرقمنة في أغلب الأحيان تقنية تعديل ترميز النبضة PCM لتحويل الإشارة التماثلية إلى بيانات رقمية، بعملية الاعتيان لأخذ عينات من الإشارة بمعدل/تردد اعتيان يساوي ضعفي أعلى تردد في الإشارة التماثلية، حسب نظرية نايكويست.
- تعرفنا على نمطين للإرسال الرقمي هما التفرعي، والتسلسلي بأنواعه الثلاثة: المتزامن وغير المتزامن والـ Isochronous.

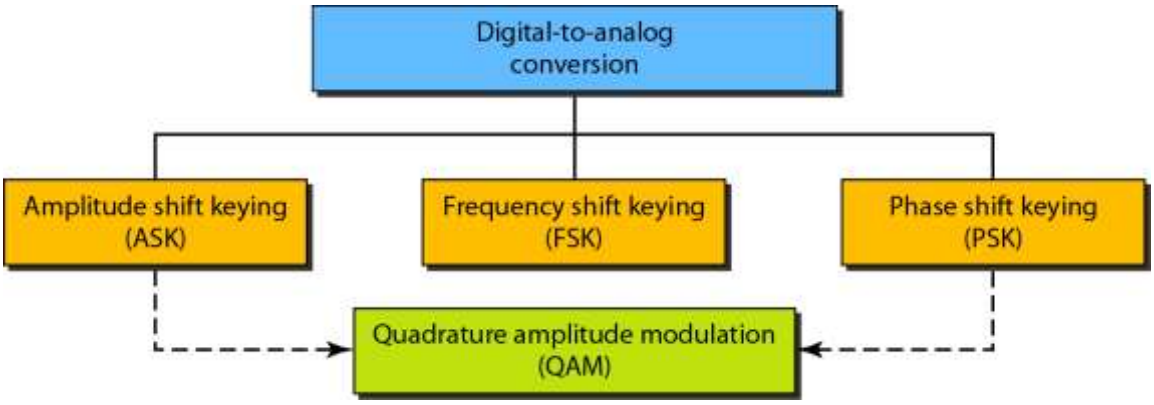
حين لا يكون عرض حزمة قناة الاتصال عريضاً بقدر كافٍ لإرسال الإشارات المرمزة بترميز الخط عليه، أو حين لا تتوفر قناة تمرير منخفض، نستعمل تقنيات تعديل تمرير الحزمة، لنوائم طيف الإشارات المرسَلة مع طيف القناة. يصبح الإرسال في هكذا حالات تماثلياً، ونستخدم تقنيات التبديل الرقمي–التماثلي، أو التماثلي–التماثلي.

سندرس تقنيات التبديل التماثلي–التماثلي، المذكورة في الشكل–23، في مقرر الاتصالات التماثلية بالتفصيل.



الشكل–23: تقنيات التبديل التماثلي–التماثلي

وسندرس تقنيات التبديل الرقمي–التماثلي، المذكورة في الشكل–24، في مقرر الاتصالات الرقمية بالتفصيل.



الشكل–24: تقنيات التبديل الرقمي–التماثلي

9. مذاكرة:

درجة واحدة لكل سؤال؛ وعلامة النجاح 7/10

1. نفضل أن تكون النسبة r أصغر ما يمكن في نظام تراسل البيانات
   a. صح
   b. خطأ

(راجع تعاريف ومفاهيم أساسية)

2. نفضل أن يكون معدل الإشارة أكبر ما يمكن في نظام تراسل البيانات
   a. صح
   b. خطأ

(راجع تعاريف ومفاهيم أساسية)

3. إشارة رقمية تحمل بيانات رقمية بحيث كل ثلاث وحدات بيانات محمولة بعنصري إشارة، فتكون النسبة r
   a. $\frac{2}{3}$
   b. 3
   c. 2
   d. $\frac{3}{2}$

(راجع تعاريف ومفاهيم أساسية)

4. قناة بعرض حزمة 200 kHz تنقل إشارة رقمية ($c = \frac{1}{2}$) تحمل بيانات رقمية بحيث كل ثلاث وحدات بيانات محمولة بعنصري إشارة، فيكون معدل النقل الأعظمي

a. 600 kbps

b. 600 kbaud

c. 200 kbps

d. 200 kbaud

(راجع تعاريف ومفاهيم أساسية)

5. معدل الاعتيان الأصغري لإشارة تمرير حزمة بعرض 200 kHz وتبدأ بالتردد 100 kHz يساوي

a. 600 kHz

b. 400 kHz

c. 200 kHz

d. 100 kHz

(راجع نظرية الاعتيان لنايكويست)

6. نفضل استعمال ترميز الخط الذي يتضمن طيفه مركبة مستمرة

a. صح

b. خطأ

(راجع خواص الإشارة الرقمية)

7. نفضل استعمال ترميز الخط الذي يحقق ثبات في المطال على فترات زمنية طويلة

a. صح

b. خطأ

(راجع خواص الإشارة الرقمية)

8. يؤدي استخدام تقنية الخلط scrambling مع ترميز الخط AMI إلى تحقيق التزامن وتخفيض معدل النقل

a. صح

b. خطأ

(راجع تقنية الخلط scrambling)

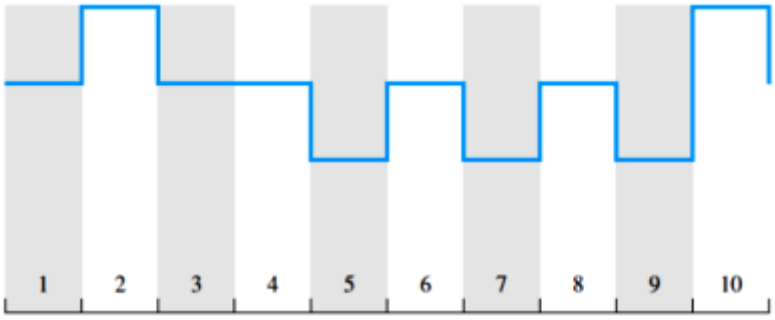
9. تم استقبال إشارة AMI في الشكل أدناه تمثل سلسلة البيانات. حدد موقع النبضة الخطأ؟

a. 5

b. 6

c. 7

d. 8



(راجع الترامیز الثنائیة القطبیة)

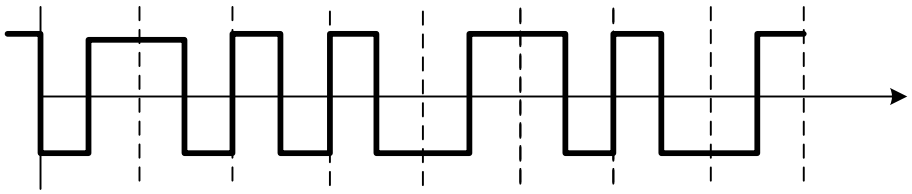
10. سلسلة وحدات البيانات المقابلة لترميز Differential Manchester في الشكل أدناه هي

a. 11001101

b. 10001101

c. 01001110

d. 01001101



(راجع الترامیز الثنائیة الطور)

الإجابات الصحيحة:

رقم التمرين	الإجابة الصحيحة
1	b
2	b
3	d
4	a
5	a
6	b
7	b
8	b
9	c
10	d