تراسل البيانات وشبكات اللاسلكي

اعداد

م.م. هدى نعيم عبدالرضا

المعهد التقني بالبصرة

المصادر

١ـ "تراسل البيانات " تاليف الدكتور خالد يزبك، الجامعة الافتراضية السورية .
٢ـ " تراسل البيانات" تاليف الدكتور حاتم النجدي، الجامعة السورية الخاصة.

الفصل الأول

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.

1. مقدمة Introduction:

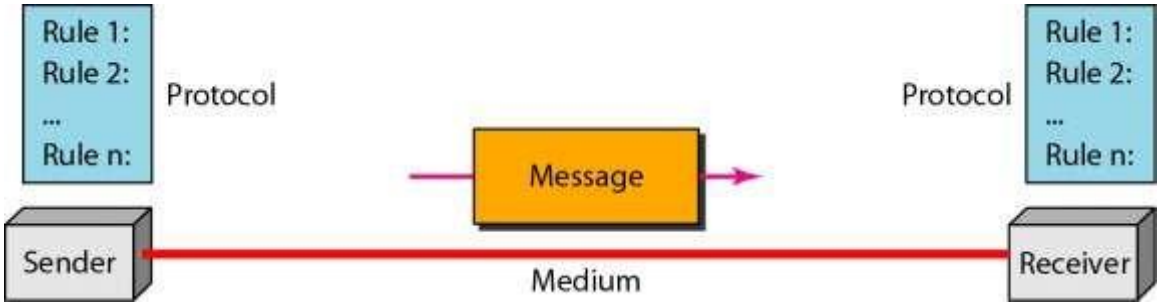
أدى التطور السريع الذي نشهده في أيامنا هذه لعالم الاتصالات، إلى تغيير طريقة حياتنا، والطريقة التي ندير وننظم بها أعمالنا .فالتغييرات الهائلة التي نتجت عن تطوير الحاسوب الشخصي في مختلف مجالات العلوم والتربية والتعليم والاقتصاد وادارة الأعمال والصناعة وغيرها، حصل ما يشبه هذه التغييرات في تراسل البيانات وشبكات الاتصالات بمختلف أنواعها. وسمح التقدم التقني 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 والكيبلات وغيرها من وسائط النقل. وحتى يحصل تراسل البيانات، يجب أن تشكل الأجهزه المتصلة جزءا من نظام اتصالات مكون من تجهيزات (البنيان الصلب) Hardware والبرمجيات Software (البنيان المرن).

١- مكونات تراسل البيانات Data Communications Components

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



الشكل 1: مكونات نظام تراسل البيانات

١- الرسالة Message: هي المعلومات Information اوالبيانات Data المراد إرسالها. هذه المعلومات أو البيانات لها أشكال مختلفة، فيمكن أن تكون على شكل نصوص من أحرف وأعداد ، أو صور، أو صوت، أو مقاطع فيديو.

٢- المرسل Sender or Transmitter: هو الجهاز المسؤول عن إرسال الرسالة التي تحمل البيانات أو المعلومات المراد إرسالها. يمكن أن يكون هذا الجهاز باشكال مختلفة مثل الحاسوب الشخصي ،او جهاز الهاتف، أو كاميرا تلتقط صور أو تسجل مقاطع فيديو، أو محطة بث، او غير ذلك من الأجهزة.

٣- المستقبل Receiver: هو الجهاز المسؤول عن استقبال الرسالة المرسلة من جهة المرسل. يمكن أن يكون هذا الجهاز بأشكال مختلفة مثل الحاسوب الشخصي، أو جهاز الهاتف، أو جهاز التلفاز ،أو جهاز الراديو، أو غير ذلك من الأجهزة.

٤- وسط الإرسال Transmission Medium: هو المسار الفيزيائي لنقل الرسالة من المرسل إلى المستقبل. من الأمثلة التي يمكن ذكرها: الأسلاك النحاسية، الكيبلات المحورية

Coaxial cables، **الألياف البصرية** Fiber-optic cables، **الهواء لنقل الأمواج الراديوية** Radio waves.

٥- **البروتوكول** Protocol: **هو مجموعة 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 أو المعلومات أشكالاً مختلفة في يومنا هذا نذكر منها:

١ – **النص** Text: **نمثل النص في نظام تراسل البيانات على شكل ثنائي من الخانات** (bits) **(أصفار و واحدات)** 0s and 1s **وهناك نماذج مختلفة لهذا التمثيل تسمى رمز** Code **، وكل رمز يجري تشكيله بآلية محددة ومعرفة تسمى الترميز** Coding. **نظام الترميز السائد للحروف والرموز يسمى** Unicode، **ويستخدم** 32 **خانة لتمثيل الحرف في اي لغة من العالم ويعرف رمز ب** ASCII code .

٢ – **الأعداد** Numbers: **وهي على شكل تنائي من الخانات** bits **بالنظام الثنائي** Binary system

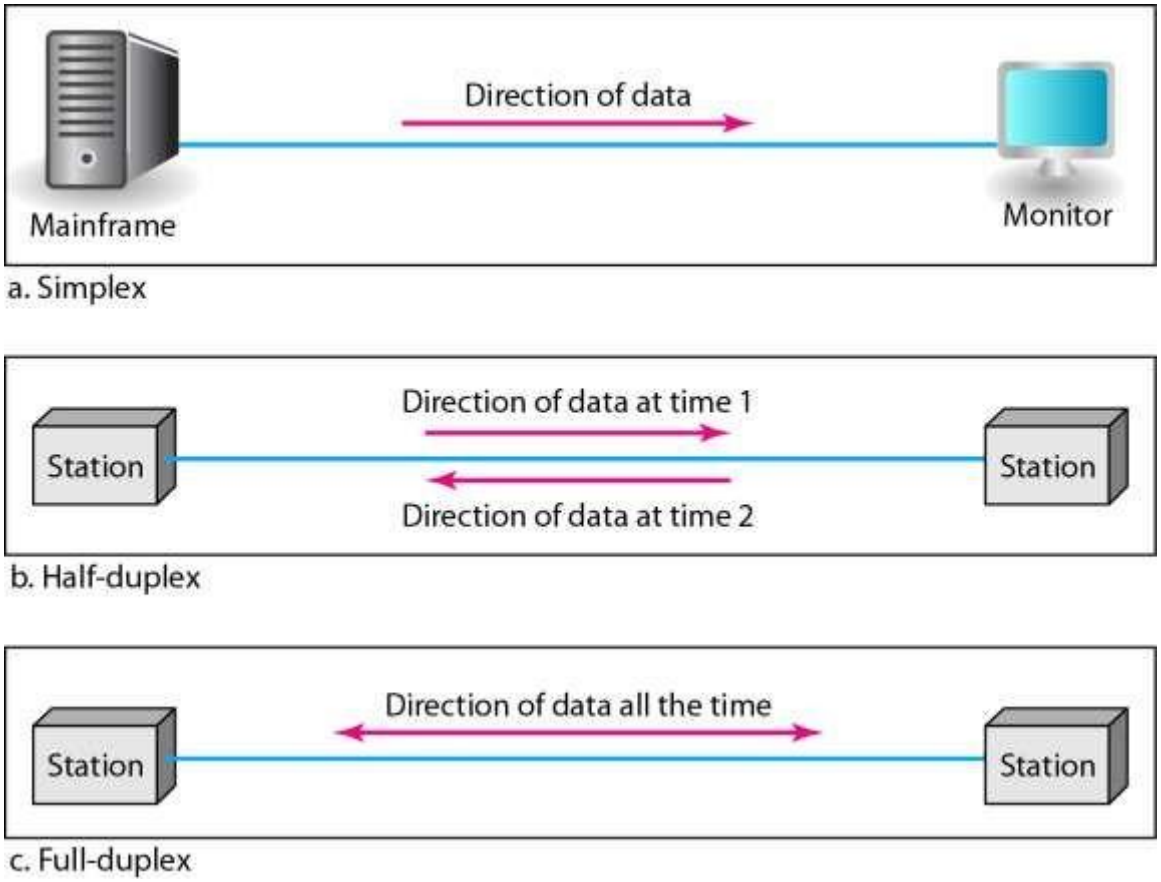
٣ – **الصور** Images: **ممثلة أيضاً على شكل ثنائي من الخانات** bits. **وهي مكونة من مصفوفة من العناصر المتناهية في الصغر تسمى** Pixels. **عدد هذه العناصر في الصورة يحدد الدقة** Resolution. **يعتمد الرمز المستخدم لتمثيل عناصر الصورة على طبيعة الصورة (ابيض وأسود أو ملونة) .**

٤- **السمعيات** Audio: **وتشمل الصوت** Sound **أو الموسيقى** Music **المسجلة التي تبث عبر محطات بث الراديو** FM or AM. **تختلف السمعيات بطبيعتها عن النصوص والأعداد والصور. إنها مستمرة** Continuous **وليست متقطعة** Discrete.

٥- **الفيديو** Video: **ويشمل الصورة المتحركة والأفلام المسجلة أو التي تبث عبر محطات البث. يمكن أن تكون مقاطع الفيديو مستمرة عندما يجري تسجيلها بكاميرا التلفاز مثلاً، أو تركيب من صور تشكل كل صورة وحدة متقطعة، لكن يجري عرضها بشكل يوحي بالحركية (بمعدل صورة** 25 **في الدقيقة على الأقل).**

ج- تدفق البيانات Data flow

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



الشكل 2: **أنماط تدفق البيانات**

١- نمط وحيد الاتجاه Simplex: يكون الاتصال في هذا النمط باتجاه واحد، بمعنى أن جهاز من الجهازين المتصلين يمكنه أن يرسل فقط، والجهاز الآخر يستقبل فقط. من الأمثلة على هذا النمط لوحة المفاتيح وشاشات العرض.

٢- نمط Half-Duplex: يمكن لكل جهاز من الجهازين المتصلين أن يرسل ويستقبل، لكن ليس في نفس الوقت. فعندما يقوم أحد الجهازين بالإرسال، يمكن للجاز الآخر أن يستقبل فقط، والعكس بالعكس. نظام Walkie-talkies مثال على هذا النمط.

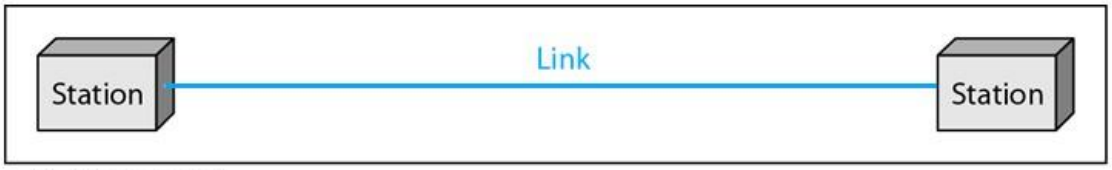
٣- نمط مزدوج الاتجاه Full-Duplex: يمكن للجهازين المتصلين الإرسال والاستقبال في نفس الوقت . من الأمثلة على هذا النمط شبكة الهاتف الثابت أو النقال.

د- أنواع الوصلات Types of Connections

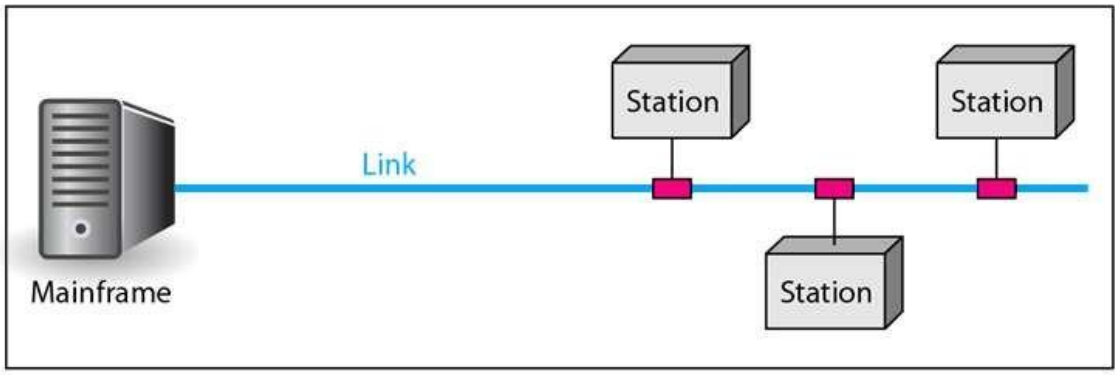
تتكون الشبكة عادة من جهازين أو أكثر متصلين عبر روابط أو وصلات Links. يمثل الرابط المسار الذي تنتقل عبره البيانات من جهاز لآخر. ويحصل الاتصال بين جهازين عندما يكونا متصلين إلى نفس الرابط في نفس الوقت. هناك نوعان من الوصلات:

ا- 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 الجهازيين المتصلين. من الأمثلة على الوصلات نقطة لنقطة يمكن أن نذكر السلك النحاسي أو الكيبل الحوري أو الليف البصري الذي يصل بين الطرفيين . (شكل 3-a) يمثل الوصلة نقطة لنقطة .

ب- 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.



a. Point-to-point



b. Multipoint

الشكل 3: أنواع الوصلات

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:

ا- بنية البيانات Syntax: أي الترتيب المتفق عليه لتمثيل البيانات. فيمكن، على سبيل المثال، أن تحتوي البنية على سلسلة مكونة من عدة خانات لإرسال عنوان كل من المرسل والمستقبل ،وتحتوي السلسلة المتبقية من الخانات على البيانات المراد إرسالها.

ب- دلالة الخانات Semantics: أي دلالة أو معنى كل مقطع من البيانات في البنية المتفق عليها ، وكيف يتم تفسيره، وما هي الإجراءات التي يجب اتخاذها بناء على هذا التفسير.

ج- 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 لتقنيات 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 الى صنفين:

a. 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 أو تقنياتهم.

b. De jure: هي الصنف من المعايير المعتمدة رسمياً من منظمات مختصة.

ومن هذه المنظمات المختصة:

1-International Organization for Standardization (ISO).

2- International Telecommunication Union-Telecommunication Standards Sector (ITU-T).

3- American National Standards Institute (ANSI).

4-Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

5-Electronic Industries Association (EIA).

3. الشبكات:

الشبكات هي البنية التحتية الأساسية لتراسل البيانات. تخصص الفقرة الأخيرة من هذا الفصل بتعريف الشبكات ونموذجها OSI: Open Systems Interconnection المكون من سبع طبقات أصدرته المنظمة الدولية للمواصفات القياسية ISO في نهاية السبعينيات وعُرف لاحقاً بنموذج (OSI) وهو الربط البيني للمنظومات المفتوحة (في عام 1984)، وهو النموذج المعتمد على إطار واسع في دراسة وتصميم الشبكات والأجهزة الشبكية. وهو النموذج الذي اعتمد مبدأ الطبقات في تصميم الشبكات.

المنيجية 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.

-

نموذج OSI

يتضمن نموذج OSI مكونين أساسيين: نموذجاً مجردا لمشبكات يعرف باسم النموذج المرجعي الأساسي أو نموذج الطبقات السبع، ومجموعة من البروتوكولات المحددة.

الطبقات وأدوارها:

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

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

الفصل الثاني

البيانات والإشارات Data and Signals

الكلمات المفتاحية:

البيانات التماثلية Analog Data، البيانات الرقمية Digital Data، الإشارات التماثلية 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، القيمة العظمى Peak Amplitude، الفترة Period، التردد Frequency، الطور Phase، طول الموجة wavelength

المجال الزمني Time domain، المجال الترددي Frequency domain،

الإشارة المربعة Square signal ، التوافقيات Harmonics

الطيف Spectrum، عرض حزمة الإشارة Signal bandwidth، عرض الحزمة الفعلي Effective bandwidth.

الملخص:

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

1. مقدمة Introduction

تختص 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 كيربائية (أو موجات كهرومغناطيسية) مناسبة للإرسال عبر وسط النقل المتاح. يمثل تشكيل هذه الإشارات إحدى الخدمات المقدمة من الطبقة الفيزيائية لتمثيل سلاسل الأصفار والواحدات.

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

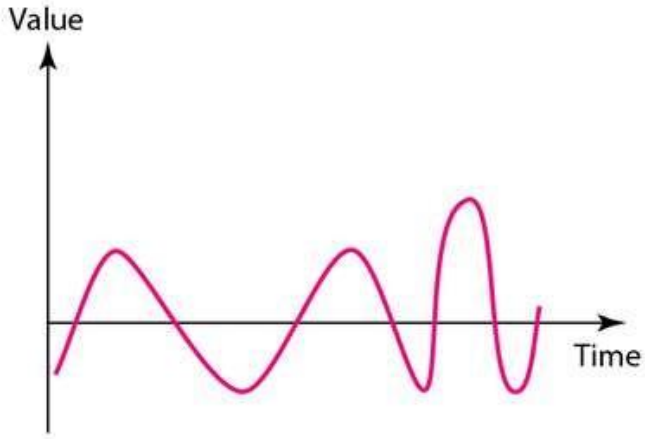
2. البيانات التماثلية والرقمية Analog and Digital Data:

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

3. الإشارات التماثلية والرقمية Analog and Digital Signals

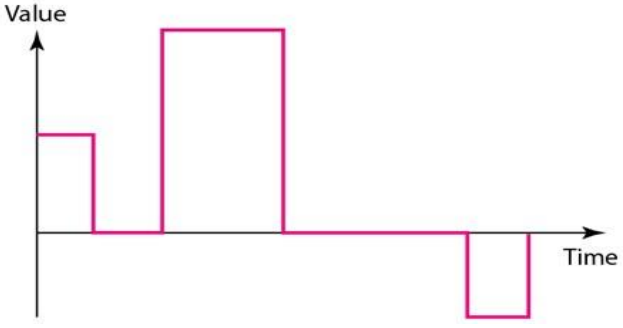
يمكن أن تكون الإشارات التي تمثل البيانات تماثلية أو رقمية. تأخذ الإشارات التماثلية قيماً لا نهائية خلال فترة محدودة من الزمن؛ لكن تأخذ الإشارات الرقمية عدداً محدوداً ومعرفاً من القيم.

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



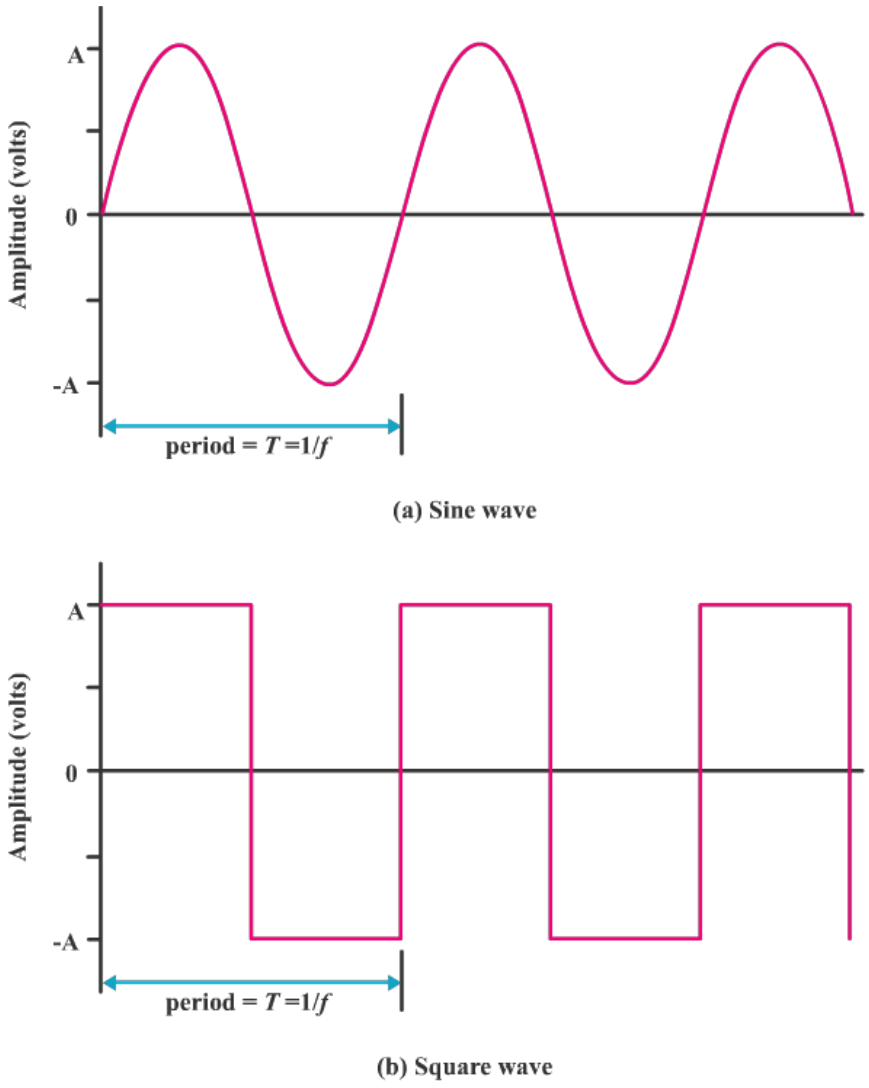
الشكل-1: الإشارة التماثلية

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



الشكل-2: الإشارة الرقمية

يمكن أن تكون الإشارت الرقمية أو التماثلية إما دورية periodic أو غير دورية nonperiodic 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 تماثلية هي الإشارة الجيبية، ويبين الشكل (3-b) إشارة دورية رقمية هي الإشارة المربعة.



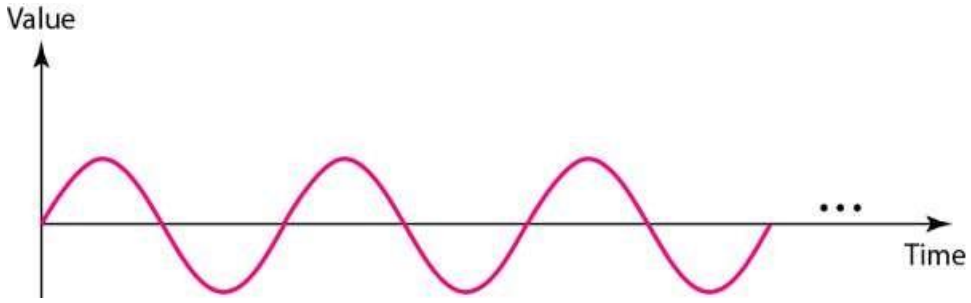
الشكل (3) إشارة دورية تماثلية هي الإشارة الجيبية (a) واشارة دورية رقمية هي الإشارة المربعة (b) .

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

4. الإشارات التماثلية الدورية Periodic Analog Signals:

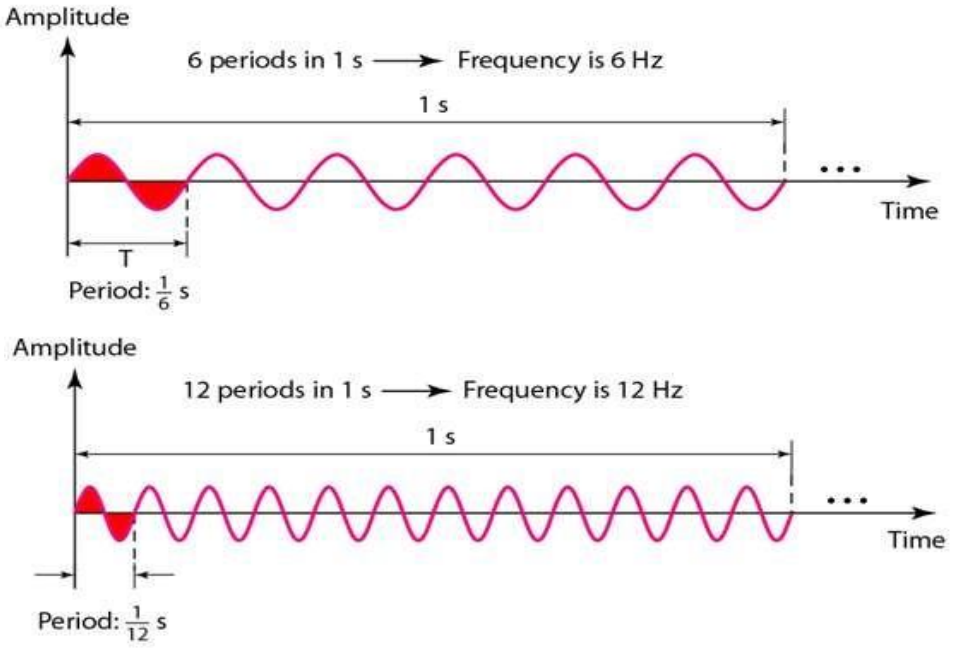
يمكن تصنيف الإشارات التماثلية الدورية في صنفين: الإشارات البسيطة simple والإشارات المركبة composite. الإشارات التماثلية الدورية البسيطة، مثل الإشارات الجيبية sine wave، هي الإشارات التي لا يمكن تحليلها إلى إشارات أبسط منها. بينما تتكون الإشارات التماثلية الدورية المركبة من عدة إشارات جيبية . لذلك سوف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

أ. الإشارة الجيبية Sine Wave يبين الشكل-4 تغييرات الإشارة الجيبية مع الزمن



الشكل (٤) الإشارة الجيبية

- زمن الدورة والتردد Period and Frequency
- حيث يمثل T زمن الدورة ويقدَّر بالثواني، ويمثل f التردّد ويقدَّر بالهرتز Hz.



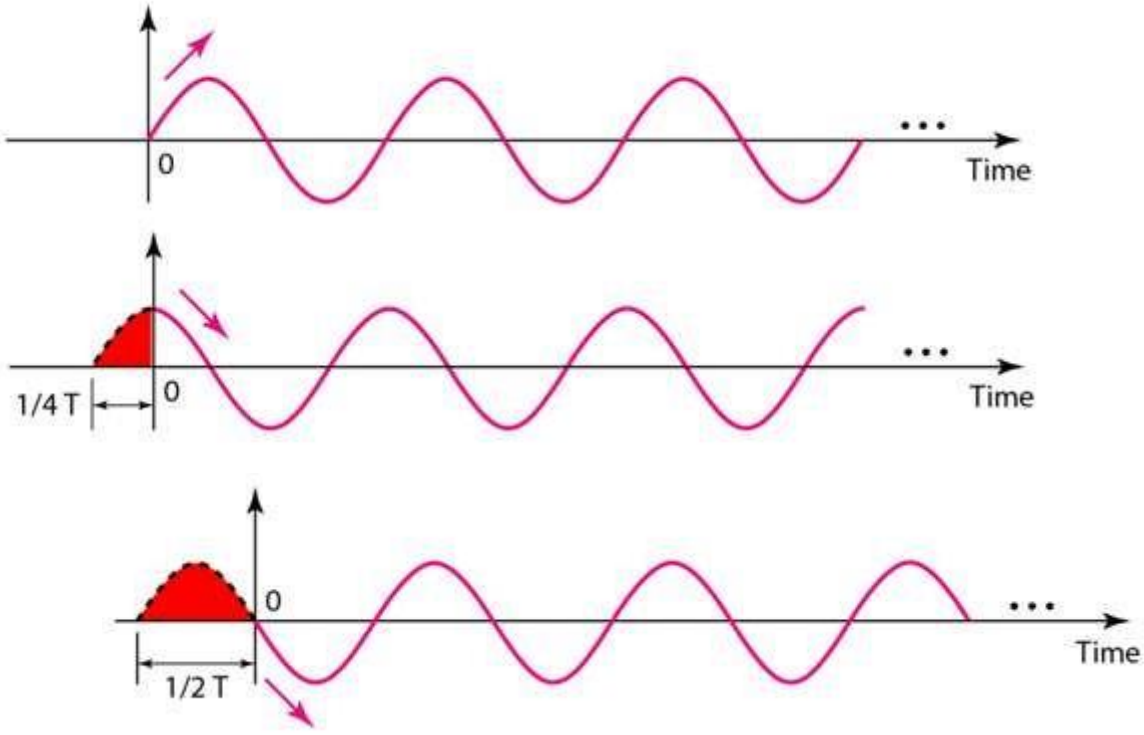
الشكل-6 :إشارة جيبية بترددين مختلفين.

يبين الجدول-1 الوحدات المستخدمة للزمن 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 الزمن والتردد

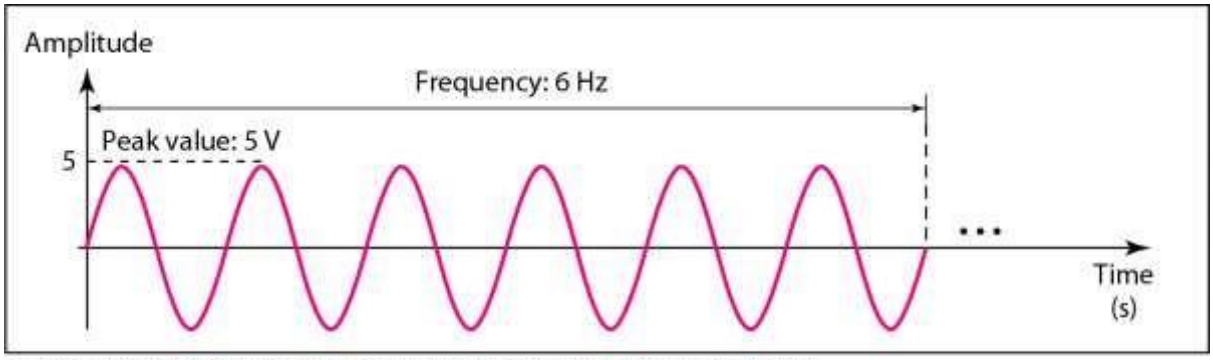
ب.



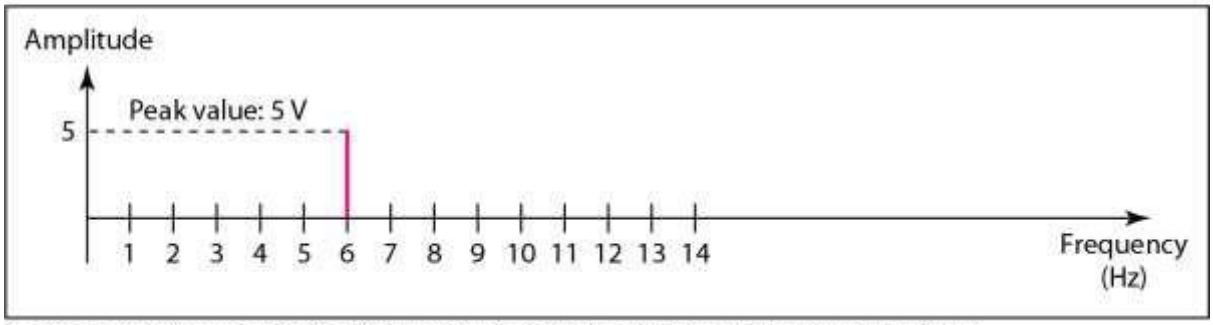
اشارات جيبية لها نفس السعة والتردد لكن بطور مختلف.

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

لإظهار العلاقة بين السعة والتردد، يمكن أن نرسم الإشارة في المجال الترددي، حيث يبين هذا الرسم القيمة العظمى 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)



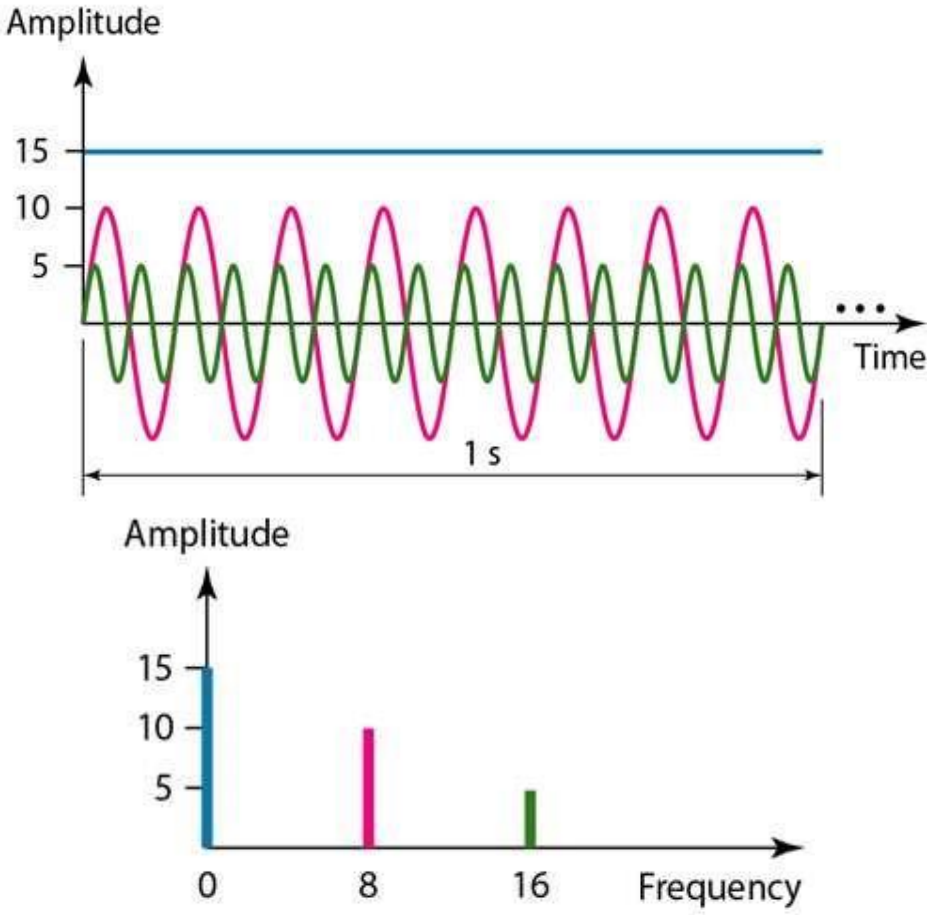
b. The same sine wave in the frequency domain (peak value: 5 V, frequency: 6 Hz)

الشكل-9 إشارة جيبية في المجالين الزمني والترددي.

لاحظ في الشكل-9 أن الإشارة الجيبية في المجال الترددي ممثلة بنبضة spike تسمى نبضة Dirac، يكون موضعها على المحور الأفقي عند تردد الإشارة (6 Hz) وارتفاعها على المحور العمودي هو القيمة العظمى (5 V).

مثال

يبين الشكل-11 ثلاث إشارات جيبية كل منها بسعة 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.

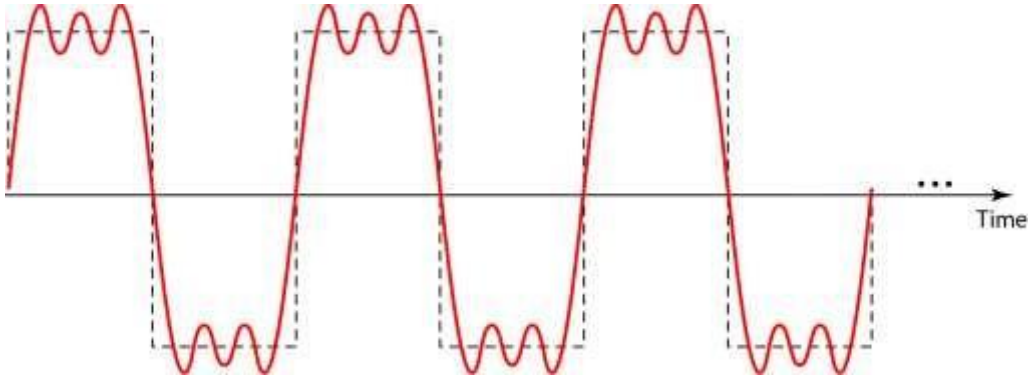


الشكل-11 ثلاث إشارات جيبية كل منها بسعة وتردد مختلف في المجالين الزمني والترددي.

6. الإشارات المركبة Composite Signals

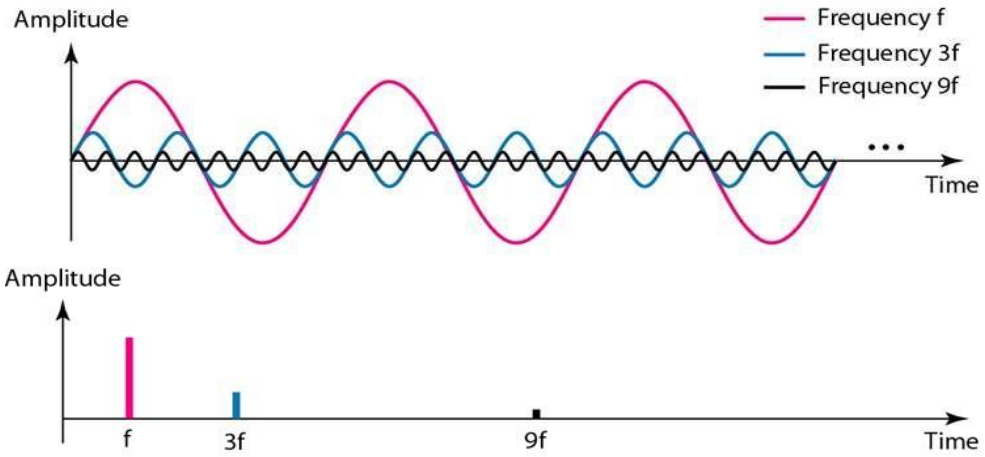
درسنا فيما سبق الإشارة الجيبية وهي إشارة بسيطة. إنيا تستخدم في تطبيقات عديدة في حياتنا اليومية، مثل التيار الكهربائي الذي يغذي المنازل، وهو موجة جيبية بتردد 50 Hz. لكننا نحتاج في نظم الاتصالات وتراسل البيانات لنقل معلومات، أي إشارة مركبة مكونة من أكثر من إشارة جيبية (أكثر من تردد). فالإشارة الجيبية البسيطة غير مفيدة في هذه الحالة ولا تحمل معلومات، إنما تستخدم كحامل carrier للمعلومات. يمكن أن تكون الإشارة المركبة دورية أو غير دورية. ويمكن تحميل 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 إشارت جيبية مبينة في الشكل-12 بترددات f و $3f$ و $9f$. نلاحظ أن طيف الإشارة مكون من ثلاث ترددات متقطعة.



ا

الشكل (١١) الاشارة المركبة الدورية المركبة



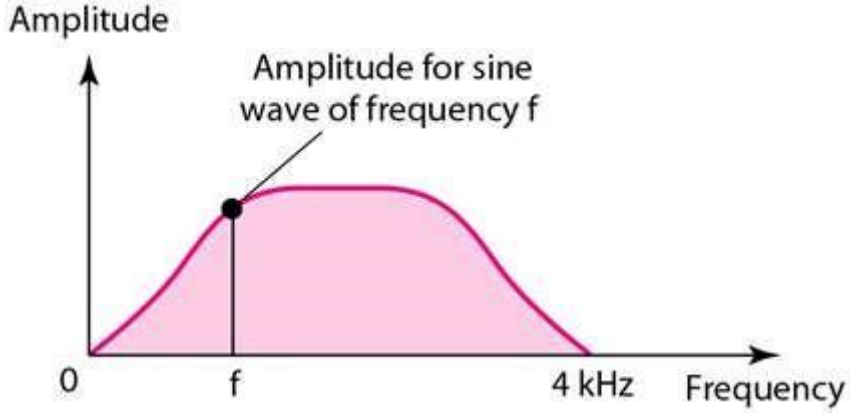
الشكل-12: ثلاث إشارات جيبية مكونة للإشارة في الشكل(١١)

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 مستمرا على المجال [4000 – 0] Hz.



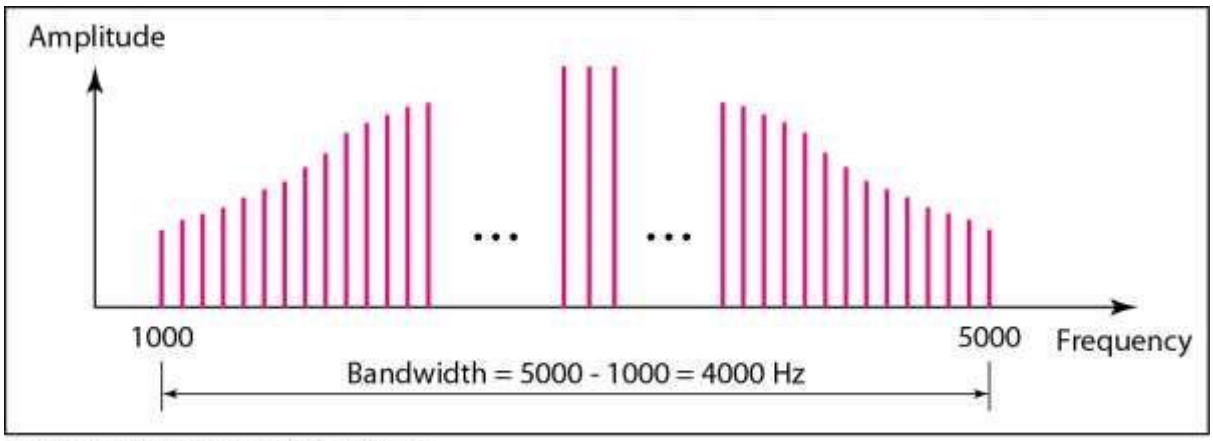
الشكل-

14 طيف الإشارة الكلامية للإنسان

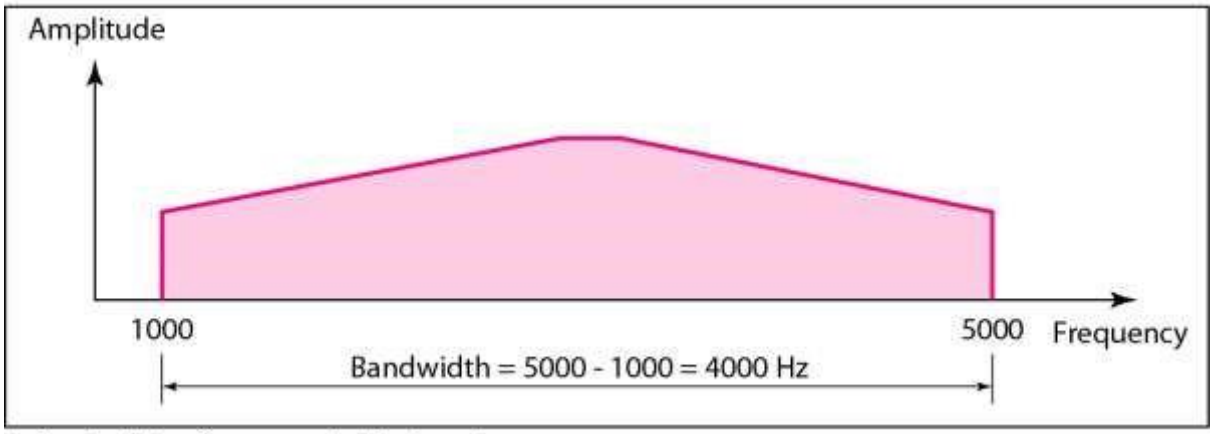
7. **عرض حزمة الإشارة** Signal bandwidth

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 مستمرا. يبين الشكل-15 (a) طيف إشارة مركبة دورية يحتوي ترددات متقطعة بين 1000 Hz و5000 Hz،

ويبين الشكل-15 (b) طيف إشارة مركبة غير دورية يحتوي ترددات مستمرة بين 1000 Hz و 5000 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

الفصل الثالث

الإشارات الرقمية ومعدل النقل

Digital Signal and Bit Rate

الكممات المفتاحية:

البيانات التماثلية **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 نايكوست **Nyquist Theorem**، عرض الحزمة الأصغر **Minimum bandwidth**، عيوب الإرسال **Transmission Impairment**، التخميد **Attenuation**، التشويه **Distortion**، الضجيج **Noise**، معدل النقل الأعظم **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:

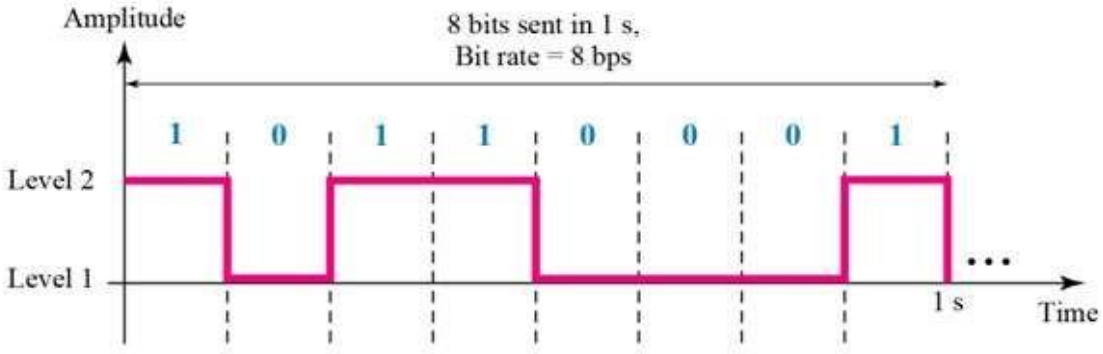
نتعرف في هذا الفصل على تعريف وتقدير معدل النقل لإشارة رقمية بعدة مستويات على قناة اتصال بعرض حزمة ترددية معين وبنسبة إشارة إلى الضجيج محددة. حيث يتعرف الطالب على استخدام صيغتين لذلك: صيغة نايكويست لقناة غير مضجة ،وصيغة شانون لقناة مضجة. كما يتعرف الطالب على أنواع الإرسال: الحزمة القاعدية وتمرير الحزمة،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

1. مقدمة:

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

2. الإشارة الرقمية Digital Signal

يمكن تمثيل البيانات بإشارات تماثلية 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.

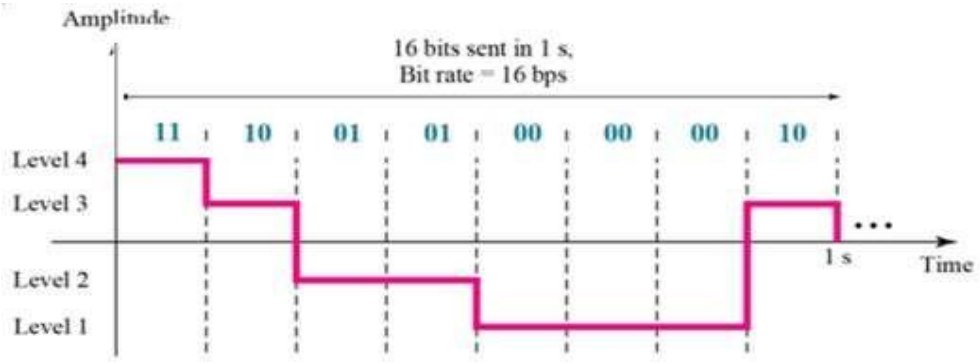


الشكل-1

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 الثنائية Binary bits التي نحتاجها لتمثيل مستويات الإشارة من العلاقة السابقة فنجد

$$\mathbf{Log_2\ L = log_2\ 8 = 3\ bits}$$

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

3. تعريف معدل النقل **Bit Rate**:

تكون معظم الإشارات الرقمية عادة غير دورية، وبالتالي لا يكون الزمن 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.

نعرّف معدل النقل بأنه عدد الخانات الثنائية المرسلة خلال ثانية واحدة، ويقَدّر بـ

bps (bits per seconds) . ففي الشكل-**1** مثلاً، يكون معدل النقل مساوياً **8 bps**، أي يتم إرسال ثمان خانات ثنائية في ثانية واحدة؛ وفي الشكل-**2** يكون معدل النقل مساوياً **16 bps**.

مثال

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

$$\mathbf{4000\ x2 = 8000\ Hz}$$

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

$$\mathbf{8000\ x\ 8 = 64000\ bps = 64\ kbps}$$

4. إرسال الإشارات الرقمية Transmission of Digital Signals:

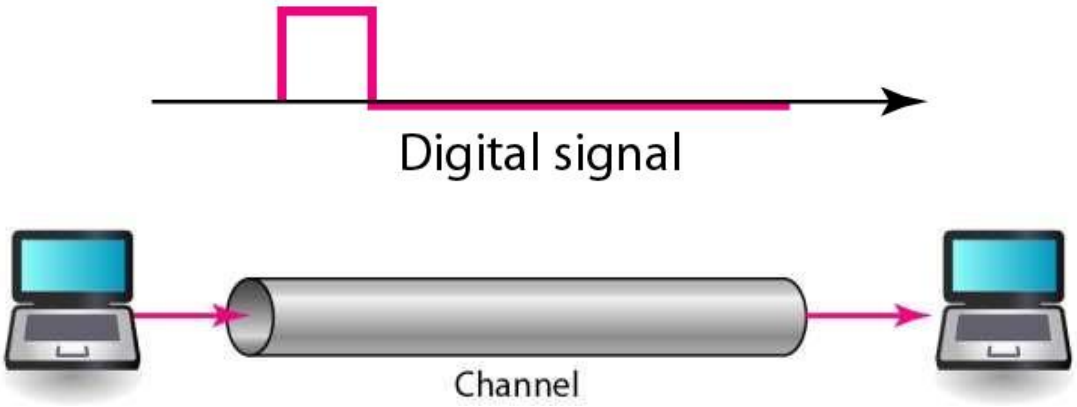
رأينا أن الإشارة الرقمية، الدورية وغير الدورية، هي إشارة مركبة من ترددات تشغل الطيف كاملاً من الصفر حتى اللانهاية. لنناقش حالة الإشارة الرقمية غير الدورية الأكثر استخداماً في نظم تراسل البيانات.

السؤال الأساسي هو: كيف نستطيع إرسال هذه الإشارة من الجهاز A إلى الجهاز B

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

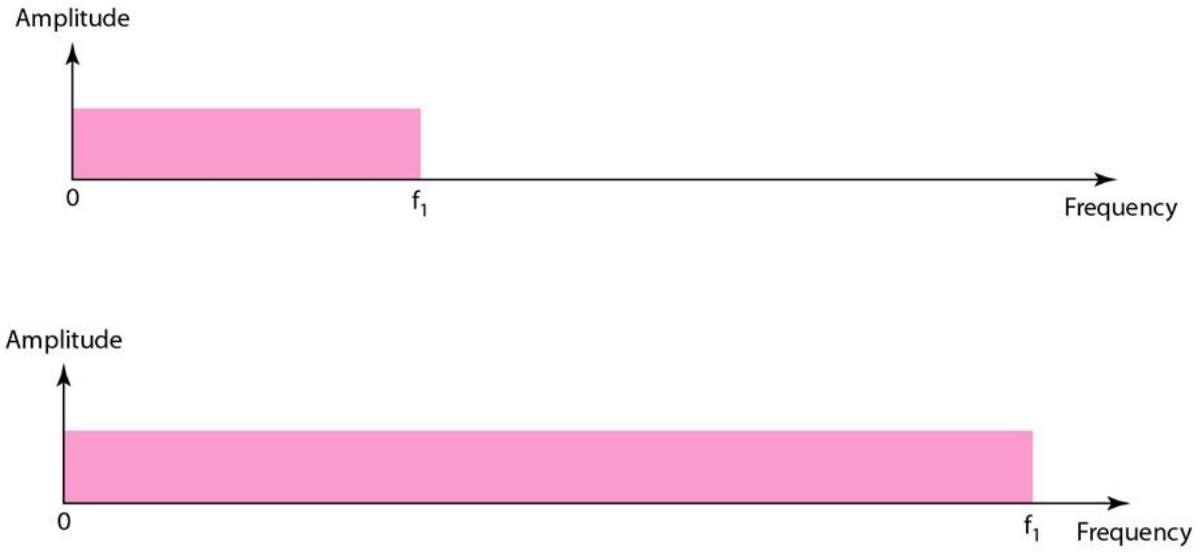
1.4. إرسال الحزمة القاعدية Baseband transmission:

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 تماثلية. يبين الشكل-3 مفيوم إرسال الحزمة القاعدية.



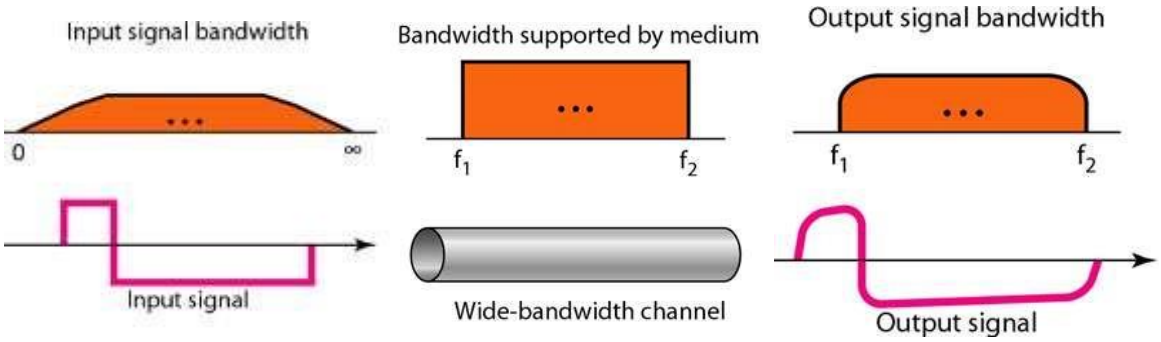
الشكل-3: إرسال الحزمة القاعدية

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

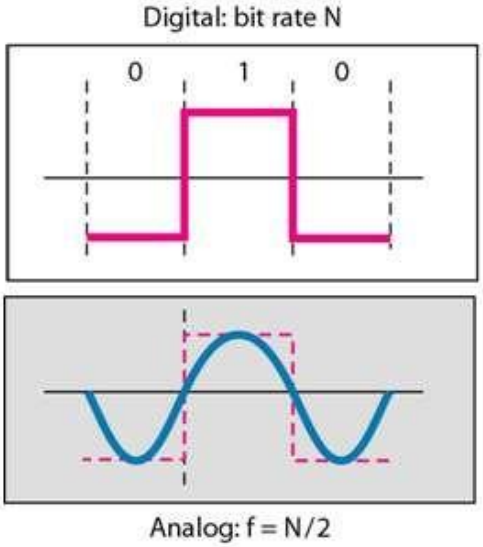
للحفاظ على شكل قريب من الإشارة الرقمية غير الدورية عند إرسالها عبر قناة تمرير منخفض، نحتاج لقناة بعرض حزمة لا نهائي أو عريض جداً، تسمح بنقل التردد الأساسي وعدد كبير من التوافقيات، بحيث نستطيع استخلاص البيانات من الإشارة المستقبلة، مع أن القناة ستمنع مرور بعض ترددات الإشارة كما في الشكل-5. فإشارة الدخل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

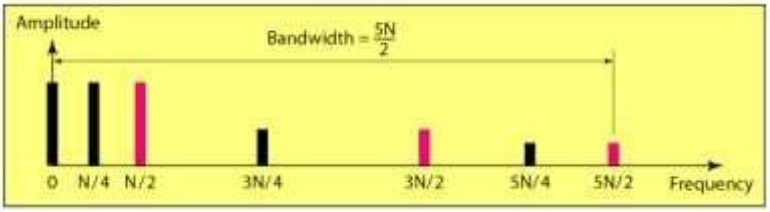


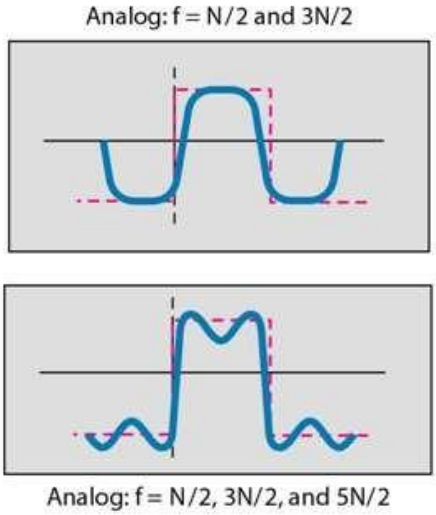
الشكل-5: إرسال الحزمة القاعدية باستخدام قناة مخصصة عريضة الحزمة

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 تماثلية 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 التماثلية أقرب إلى شكل الإشارة الرقمية، نحتاج لزيادة عرض الحزمة لإرسال بعض التوافقيات كما في الشكل-6.







الشكل-6: تمثيل الإشارة الرقمية بإشارات تماثلية ذات عرض حزمة مختلف.

خلاصة ذلك إلى أن عرض الحزمة المطلوبة في إرسال الحزمة القاعدية يتناسب طرديا 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

$$N = 2\ B_{min}\ or\ B_{min} = N / 2$$

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 الأصغر B_{min} المطلوب لنقل البيانات بمعدل 1 Mbps حسب نظرية نايكويست هو

$$B_{min} = N / 2 = 500\ kHz$$

أي نحتاج لقناة تمرير منخفض بين 0 Hz و500 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:

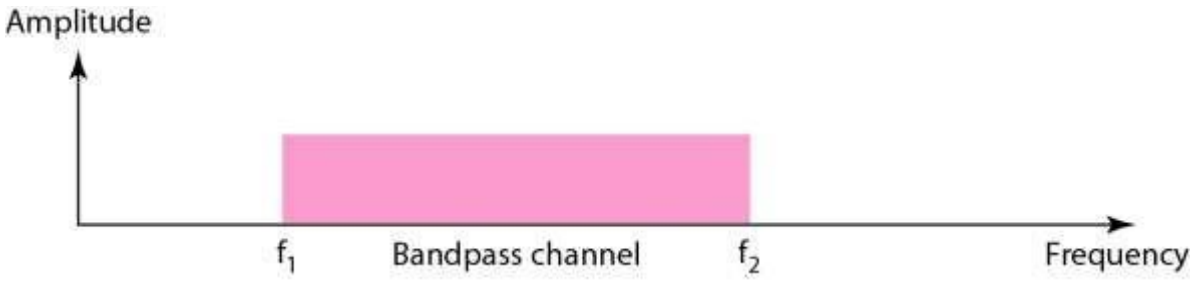
$$B = 5 \times 500 \text{ kHz} = 2.5 \text{ MHz}$$

مثال 2

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

2.4. إرسال تمرير الحزمة Bandpass transmission:

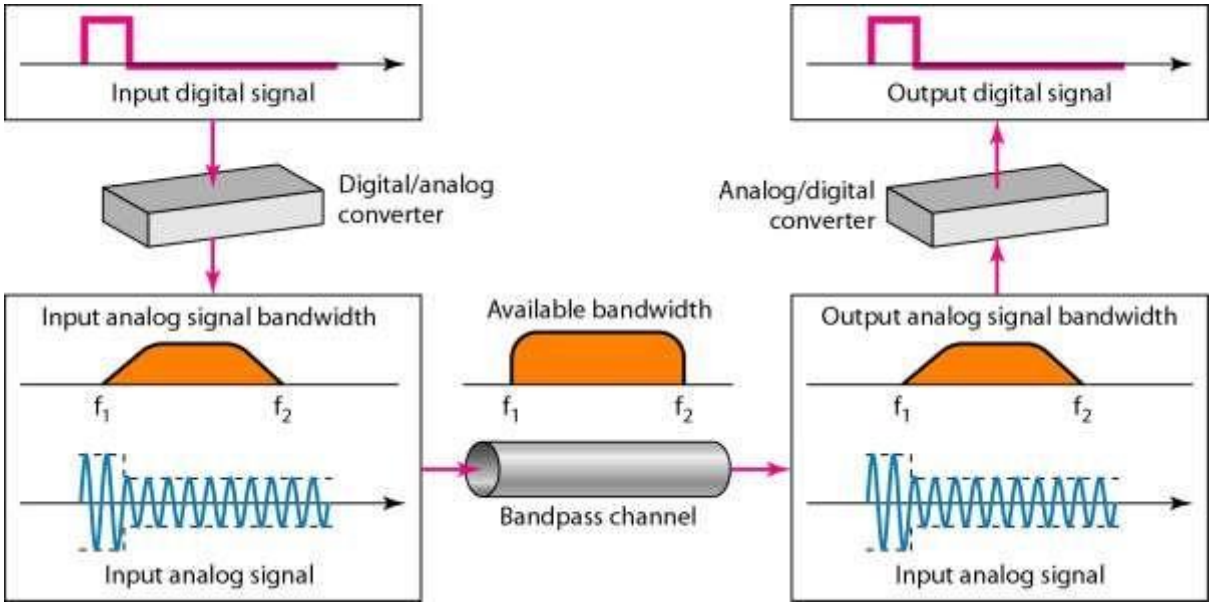
تسمح قناة تمرير الحزمة Bandpass channel هي قناة بمرور ترددات بين f_1 و f_2، حيث f_2. لا يساوي 0 وبما أن إشارة البيانات الرقمية ذات حزمة قاعدية تبدأ من $f = 0$، نحتاج إلى تحويل الإشارة من رقمية إلى تماثلية لنقلها عبر قناة تمرير الحزمة، بعملية تسمى التحميل Modulation. من ناحية عملية، قناة تمرير الحزمة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



الشكل-7 قناة تمرير حزمة.

يبين الشكل-8 عملية تحميل الإشارة الرقمية لنقلها عبر قناة تمرير الحزمة. يجري أولاً تحويل الإشارة الرقمية إلى إشارة تماثلية مركبة (باختيار نوع التحميل المناسب) · حيث يتم في الشكل-8 تحميل مقدار 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 التحميل Demodulation.

ويسمى الجهاز الذي يقوم بعمليات التحميل وفك التحميل اختصارا
.modem (modulator/demodulator)

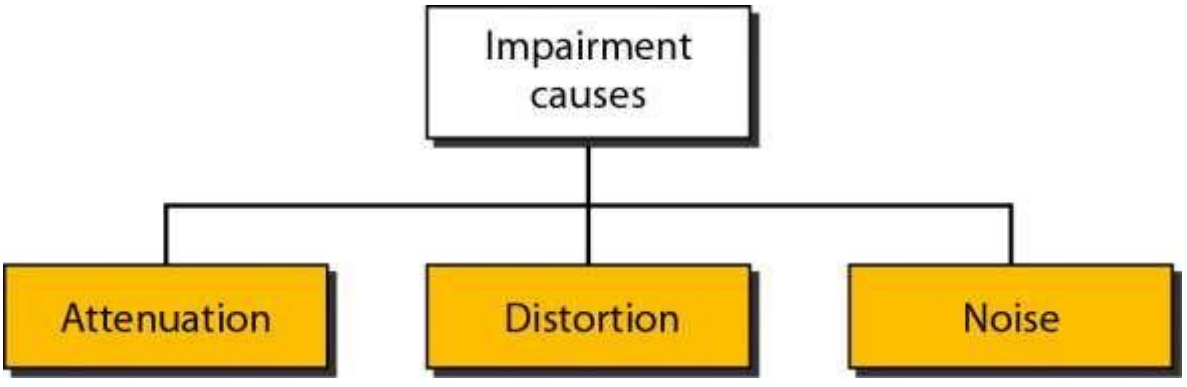


الشكل-8 تحميل الإشارة الرقمية لنقلها عبر قناة تمرير الحزمة

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

5.عيوب الإرسال Transmission Impairment:

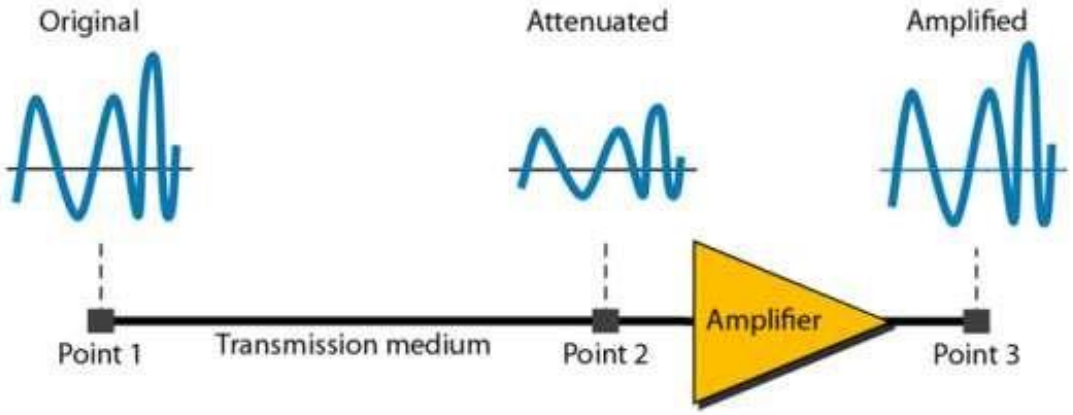
يكون وسط الإرسال عملياً ليس مثالياً، ويسبب عيوباً في الإشارة المرسلة عبره. يعني ذلك أن الإشارة في نهاية وسط النقل (القناة) لا تشبه الإشارة قبل إرسالها. تتمثل هذه العيوب بثلاثة أسباب أساسية هي: التخميد والتشويه والضجيج (الشكل-9).



الشكل – ٩: عيوب الإرسال

1.5: التخميد Attenuation:

يعني التخميد فقْدُ 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 الكيربائية في السلك المقاوم لمرور التيار، وتحويل الطاقة الكهربائية المفقودة إلى حرارة. لتعويض هذا الفقد أو التخميد، يجري عادة استخدام المضخمات، وهي دائرة إلكترونية تضخم سعة الإشارة. يوضح الشكل-11 ذلك.



الشكل-

11: تخميد إشارة ثم تضخيمها

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

$$10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} \text{ [dB]}$$

وسيكون المقدار الناتج سالباً لأن $P_2 < P_1$.

ويكون مقدار التضخيم عند خرج المضخم (Point 3) بالنسبة لدخله (Point 2):

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

يكون المقدار الناتج موجباً لأن $P_2 > P_1$.

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 $-3\,\text{dB}$

إذا كان لدينا $P_3 = 2P_2$ يكون مقدار التضخيم $3\,\text{dB}$

إذا كان لدينا $P_2 = \frac{1}{10}P_1$ يكون مقدار التخميد $-10\,\text{dB}$

إذا كان لدينا $P_2 = 10P_1$ يكون مقدار التضخيم $10\,\text{dB}$

مثال

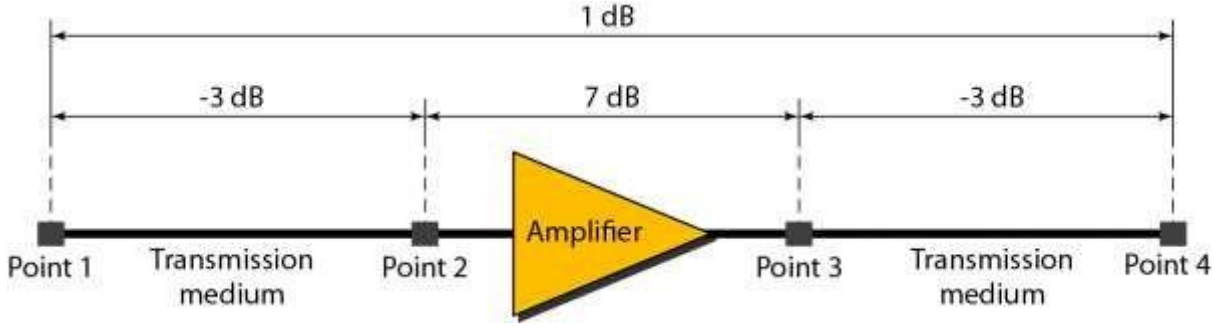
يبين الشكل-11 مقدار التخميد أو التضخيم بين كل نقطتين من مراحل الإرسال. نلاحظ أن مقدار التخميد في المرحمتين الأولى والثالثة يسبب فقد نصف القدرة في كل مرحلة. أما مرحلة التضخيم فترفع قدرة الإشارة بمقدار

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

أي $P_3 = 5P_2$.

وتكون النتيجة في النياية (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 الارسال

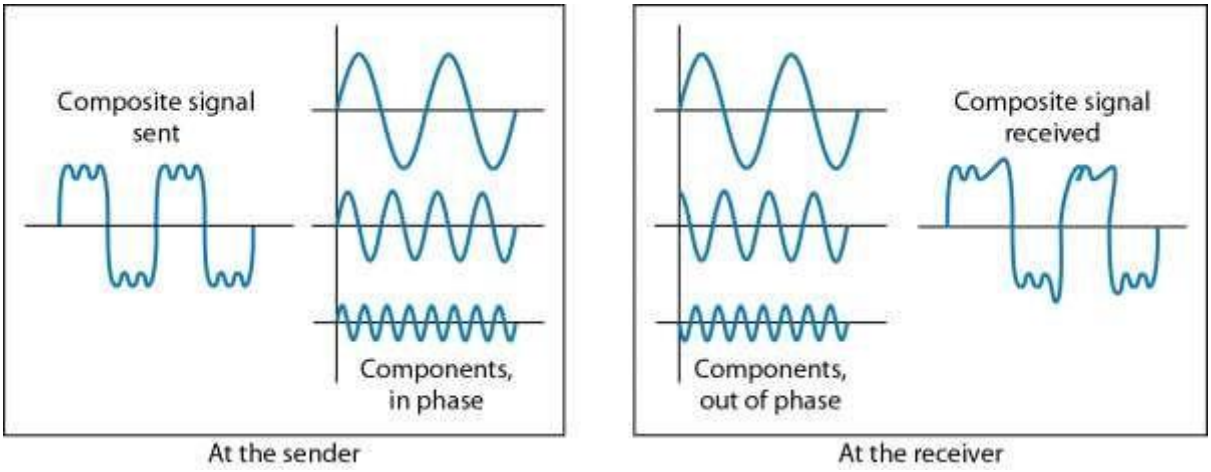
أي أن النتيجة هي زيادة في القدرة أو ربح بمقدار

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

لأن النتيجة 1 dB موجبة.

2.5. التشويه Distortion:

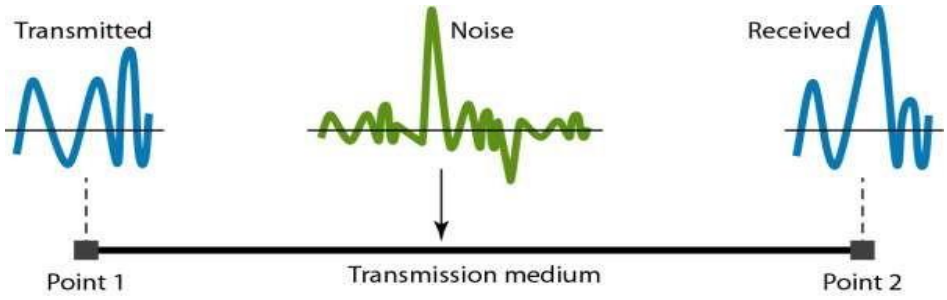
يسبب التشويه تغيير شكل الإشارة، ويحدث في الإشارات المركبة. فالإشارة المركبة تحتوي عدة مركبات ترددية ،وكل مركبة ترددية يمكن أن تنتشر بسرعة مختلفة حسب خواص وسط النقل، لتصل هذه المركبات بتأخيرات زمنية مختلفة إلى المستقبل الذي يقوم بتركيبها في لحظة محددة، وبسبب التأخير ينتج اختلاف في الطور، فتنتج إشارة مشوهة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



الشكل-12: تشويه الإشارة عند الاستقبال

3.5. الضجيج Noise:

يسبب الضجيج عيوباً في سعة الإشارة وترددها، وأثره على السعة 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 الكيبل الذي يصل مقسم الهاتف بمجمع سكني، ويسمى هذا النوع من الضجيج crosstalk، حيث تؤثر الإشارة المارة بسلك بالإشارات المارة بالأسلاك القريبة جدا منه. وفي حال الإرسال اللاسلكي، يستقبل الهوائي الإشارة المفيدة والإشارات الأخرى التي تنتشر في الهواء، ينتج عن ذلك الضجيج بسبب التداخل بين الأمواج الكهرومغناطيسية. يبين الشكل-13 أثر الضجيج على الإشارة المستقبلة.



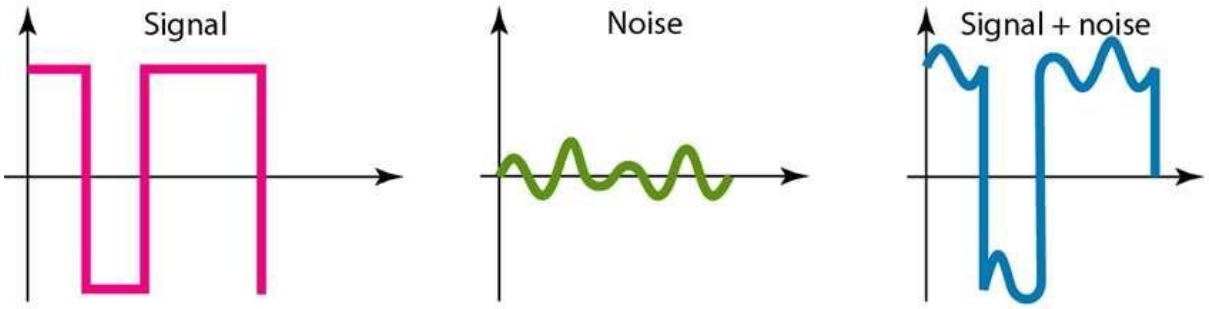
الشكل-13: أثر الضجيج على الإشارة المستقبلة

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

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

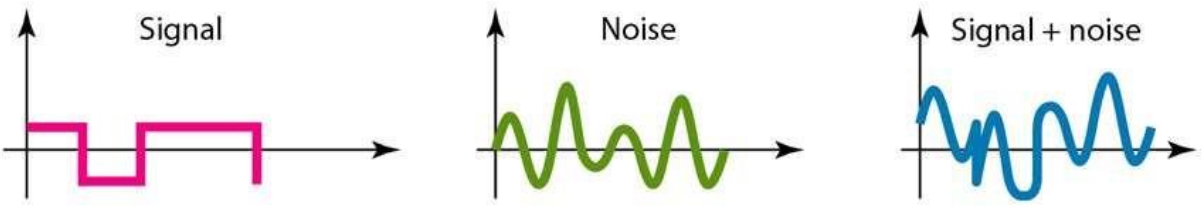
ويقاس عملياً بالديسيبل:

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 كبيرا 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 علمة ،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 الأعظم 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 .**

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 الأعظم للبيانات عبر القناة ضمن شروط محددة.

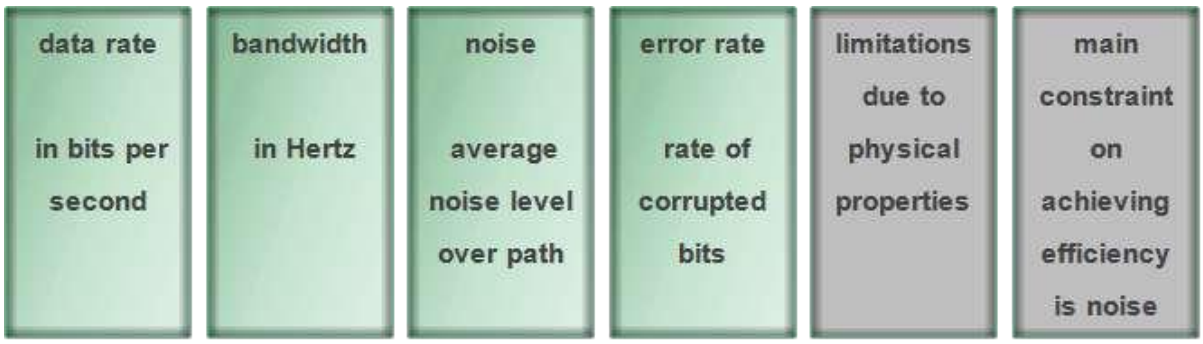
يبين الشكل-16 أربعة مفاهيم مرتبطة ببعضها البعض وتؤثر على سعة القناة وهي

معدل النقل مقدرا بعدد البتات المرسلة خلال ثانية bits per second - bps

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

الضجيج: معدل قدرة 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 جدا، وأهمها التردد وعرض الحزمة من جهة، والقدرة من جية 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 الأعظم نظرياً:

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

تعطي صيغة نايكويست معدل النقل الأعظم نظرياً لقناة بدون ضجيج

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

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

لكن زيادة عدد مستويات الإشارة متعلق بوثوقية reliability نظام الاستقبال، أي قدرة المستقبل على تمييز مستويات الإشارة من بعضها، أو تمييز الأصفار والواحدات. فالإشارة التي عدد مسوتياتها 256 مثلاً، تتطلب جياز 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 لنقل 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 kbps.

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 مستويات 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 الأعظم لخط الهاتف المنزلي، بعرض حزمة 3 kHz، ونسبة SNR =3162:

$$C_{max} = 3\times10^{3}\times\log_2\left(1+3162\right) = 34860 \text{ bps}$$

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:

$$B = 2 \text{ MHz} \text{ و } SNR_{\text{dB}} = 36 \text{ dB}$$

تكون سعة القناة النظرية:

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

$$C_{max} = 2\times10^{6}\times\log_2\left(1+3981\right) = 24 \text{ Mbps}$$

صيغة عملية

عندما تكون قيمة *SNR* عالية جدا، تصبح صيغة شانون من الشكل

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

بتطبيق هذه الصيغة على المثال التطبيقي السابق نجد

$$C_{max} = 2\times10^{6}\times\frac{36}{3} = 24 \text{ Mbps}$$

وهي نفس النتيجة السابقة.

حالة حدية

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

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

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 ومستويات الإشارة المناسبة لقناة بعرض حزمة $B = 1$ MHz و SNR = 63.

نستخدم صيغة شانون لحساب الحد الأعلى لمعدل النقل:

$$C_{max} = 1\times10^{6}\times\log_2(1+63) = 6 \text{ Mbps}$$

ثم نستخدم صيغة نايكويست لإيجاد عدد مستويات الإشارة:

$$N_{max} = 2B\times\log_2 L \rightarrow 6 \text{ Mbps} = 2\times10^{6}\times\log_2 L \rightarrow L = 8$$

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

$$4 \text{ Mbps} = 2\times10^{6}\times\log_2 L \rightarrow L = 4$$

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.

الفصل الرابع

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 أيضا على تقنيات تحسين أداء تقنيات ترميز الخط (الترميز الكتلي والخلط). ثم يتعرف الطالب على تقنيات تحويل الإشارة التماثلية إلى بيانات رقمية(تحميل ترميز النبضة وتحميل دلتا) لترميزها بتقنيات ترميز الخط، ويتعرف على نظرية نايكويست. كما يتعرف الطالب على أنماط الإرسال الرقمي: المتوازي والتسلسلي (المتزامن وغير المتزامن)

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 والواحدات(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 إشالات تماثلية، نحولها أولاً إلى بيانات رقمية، ثم نرسلها باستخدام تقنيات النقل الرقمي.**
- **انماط الارسال 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 وهي 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).

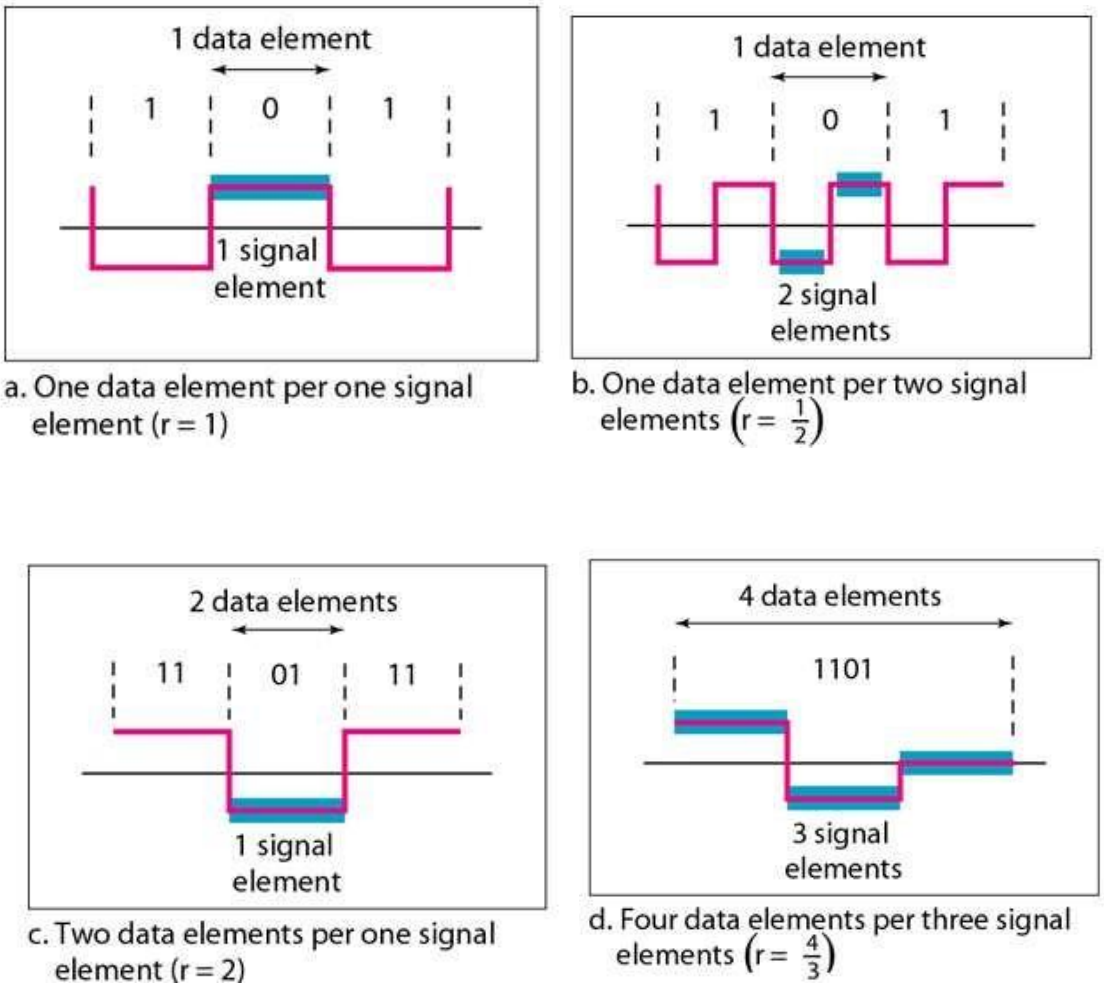
بمعنى آخر، الوحدات البيانية هي ما نريد إرساله؛ وعناصر الإشارة هي ما يمكننا إرساله. أي تكون وحدات البيانات محمولة، وعناصر الإشارة هي الحوامل Carriers.

نعرف النسبة *r* على أنيا 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؛ اي r = 1 .**
b) **خانة واحدة (وحدة بيانات واحدة) بكل عنصري إشارة؛ أي r = 1/2**
c) **خانتان (وحدتا بيانات) بكل عنصر إشارة؛ أي r = 2 .**
d) **أربع خانات (أربع وحدات بيانات) بكل ثلاثة عناصر إشارة؛ أي *r = 4/3***

نعرف معدل النقل Bit rate، أو معدل نقل البيانات Data rate، بأنه عدد وحدات البيانات (أو الخانات) المرسلة في وحدة من 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 ب ال baud. وننوه إلى أننا نجد عدة مصطلحات تعبر عن معدل الإشارة، مثل: معدل النبضة pulse rate؛ معدل التعديل baud rate ، او مصطلح Modulation rate .



a. One data element per one signal element (r = 1)

b. One data element per two signal elements $\left(r = \frac{1}{2}\right)$

c. Two data elements per one signal element (r = 2)

d. Four data elements per three signal elements $\left(r = \frac{4}{3}\right)$

الشكل-1 حالات مختلفة لوحدات البيانات وعناصر الإشارة

اليدف في تراسل البيانات (وهو هدف كل نظام اتصالات) هو زيادة معدل النقل وانقاص معدل الإشارة. فزيادة معدل النقل يزيد من سرعة إرسال البيانات؛ وانقاص 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 الواحدات "1" أو الأصفار "0"، يكون معدل الإشارة مختلفاً عن حالة النموذج المكون من تعاقب الأصفار والواحدات .

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:

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

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

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

وعندما يكون عرض الحزمة معطى، نكتب معدل النقل الأعظم 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 = 1/2 ، بكون معدل الإشارة (لاحظ ان r=1)

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

مثال 2

تعطي صيغة نايكويست معدل النقل الأعظم 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=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 ومستمرا. 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، وأخيرا تعقيد الإشارة Complexity.

سنشرح الخواص الأساسية للإشارة الحامل للبيانات.

أ. عرض الحزمة الفعلي:

يمكن القول أن معدل الإشارة وليس معدل النقل، يحدد عرض الحزمة المطلوب للإشارة الرقمية. في نظام تراسل البيانات، صحيح أننا نهتم بعرض الحزمة الفعلي المطلوب، لكن هذا لا يكفي عمليا؛ 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).

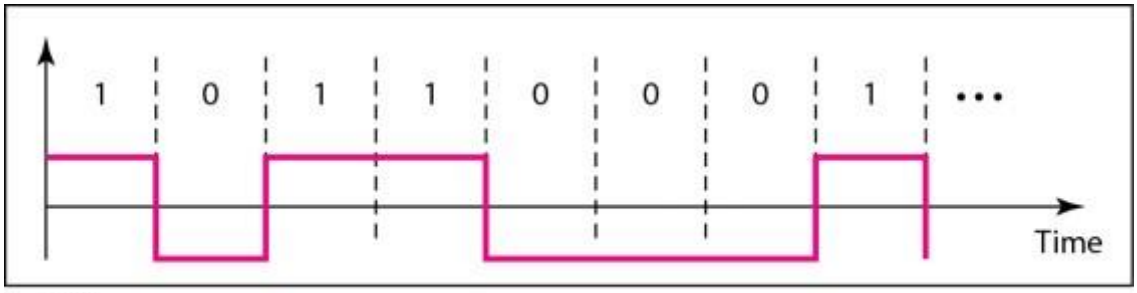
ب. المركبة المستمرة DC Component:

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 جدا (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.

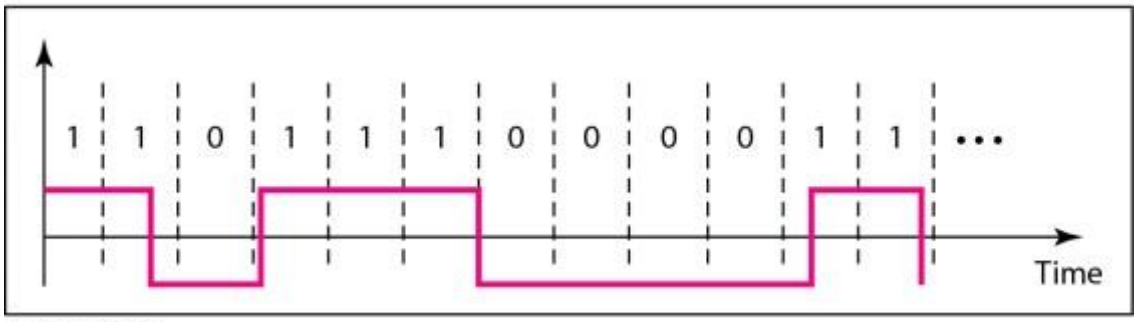
ج. التزامن الذاتي Self Synchronization

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

نقول أن الإشارة الرقمية متزامنة 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.



a. Sent

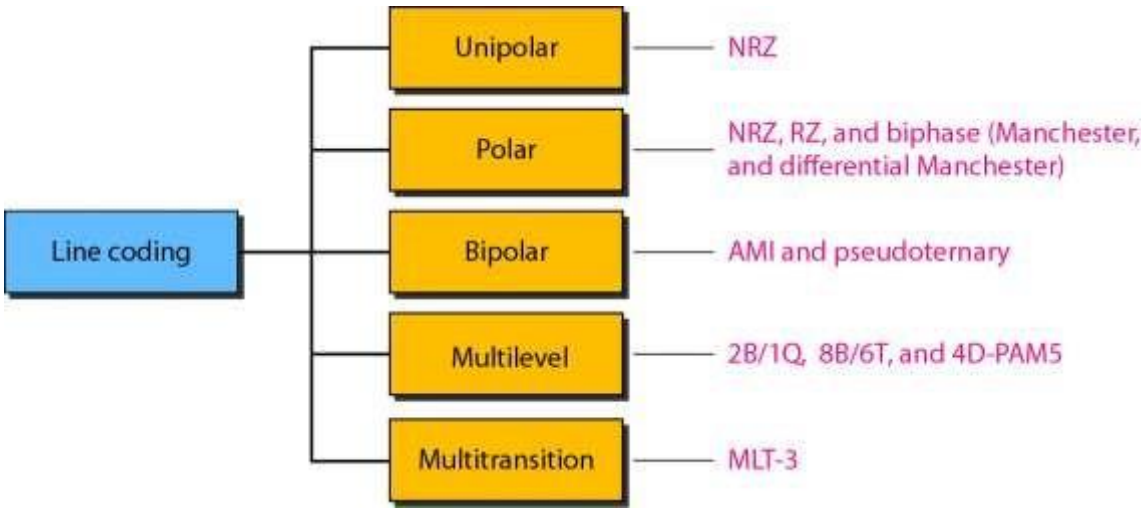


b. Received

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.



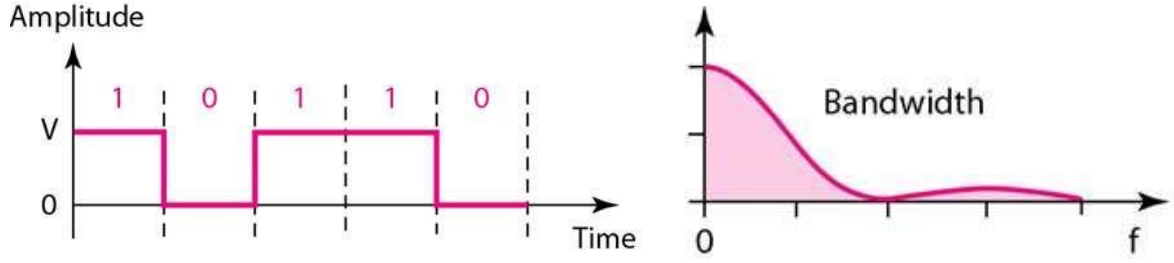
الشكل-3: أصناف تقنيات ترميز الخط

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 وواحدات، ترسَل بمعدل N bps حيث $T_b = 1/N$ زمن البت مقدرا بالثانية. حين يكون عرض حزمة قناة الإرسال عريضاً بقدر كاف نرسل البتات من دون تحميل إضافي، باستعمال ما يسمى ترميز الخط، وهو يرمز البيانات بتمثيلها بإشارات مناسبة للإرسال على الكيبلات. 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 سعة الإشارة ثابتا خلال زمن البت وهذه القيمة هي 0V من أجل قيمة البت 0، وفولتية 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 سعة 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 الواحدات**

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

2.4. الترميز القطبية Polar Encoding:

في الترميز القطبية يأخذ مقدار الإشارة قيماً موجبة وسالبة. كأن يأخذ البت 0 الفولتية الموجبة، ويأخذ البت 1 الفولتية السالبة مثلاً. أنواع هذه الترميز هي:

ترميز عدم العودة إلى الصفر Polar NRZ

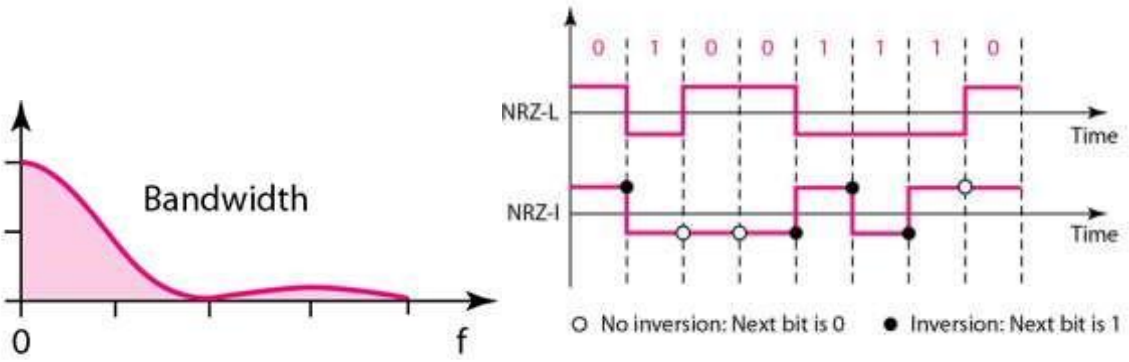
نستخدم في هذا الترميز مستويين لسعة الإشارة، ويكون لإشارته أحد الشكلين المبينين في الشكل-6:

الترميز NRZ-L (NRZ-Level): في هذا النوع، نحدد قيمة البت(0 أو 1) من مستوى فولتية الإشارة.

الترميز NRZ-I (NRZ-Invert): في هذا النوع، نحدد قيمة البت (صفر أو واحد) من إذا بقي مستوى فولتية الإشارة بدون تغيير، تكون قيمة البت التالي 0، واذا تغير مستوى فولتية الإشارة، تكون قيمة البت التالي 1.

نستنتج من الشكل-5 الخواص التالية للترميز القطبي Polar NRZ:

- **توجد مركبة مستمرة عن 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 الواحدات من أجل NRZ-L، ومن أجل سلسلة طويلة من الأصفار فقط من أجل NRZ-I**
- **يعاني من مشكلة أن معظم الطاقة المحمولة بالإشارة مركزة عند الترددات القريبة من المركبة المستمرة**
- **يستخدم في التسجيل المغناطيسي Magnetic recording**
- **لا يستخدم عادة لإرسال الإشارة**



الشكل-5: الترميز القطبي عدم العودة إلى الصفر Polar NRZ وكثافة الطاقة الطيفية

مثال 3

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

الحل

معدل الإشارة الوسطي:

$$S = N/2 = 500 \text{ kbaud}$$

وعرض الحزمة الأصغري

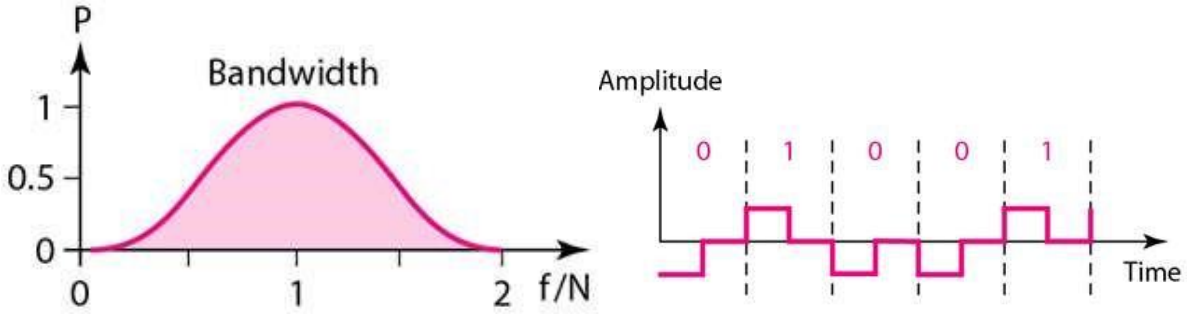
$$B_{min} = S = 500 \text{ kHz}$$

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 عرضيا $T_b/2$، ونمثل البت 0 بنبضة سالبة عرضيا $T_b/2$، 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 N = S؛ يحتاج إلى ضعفي عرض الحزمة مقارنة بالترميز NRZ**
- **لا يعاني من مشكلة التزامن**
- **تعقيد أعلى لأنه يحتاج لثلاثة مستويات**

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



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

3.4. الترميز الثنائية الطور Biphase: Manchester and Differential Manchester

يجمع الترميز Manchester **بين فكرة العودة إلى الصفر عند** $T_b/2$ **في الترميز** RZ**، وفكرة** NRZ-L**. ينقسم زمن البت إلى نصفين ،يمثل البت** 0 **بنبضة موجبة متبوعة بنبضة سالبة لهما المقدار نفسه، ويساوي زمن كل منيما** $T_b/2$**، وتعكس قطبية النبضتين في حال إرسال البت** 1**، كما يبين الشكل-**7**.**

ويجمع الترميز Differential Manchester **بين فكرة العودة إلى الصفر عند** $T_b/2$ **في الترميز** RZ**، وفكرة** NRZ-I**. ينقسم زمن البت إلى نصفين كما في الترميز** Manchester**، لكن تتحدد قيمة البت في بدايته:**

أ. إذا كان البت التالي 0**، يحصل انتقال في المستوى**

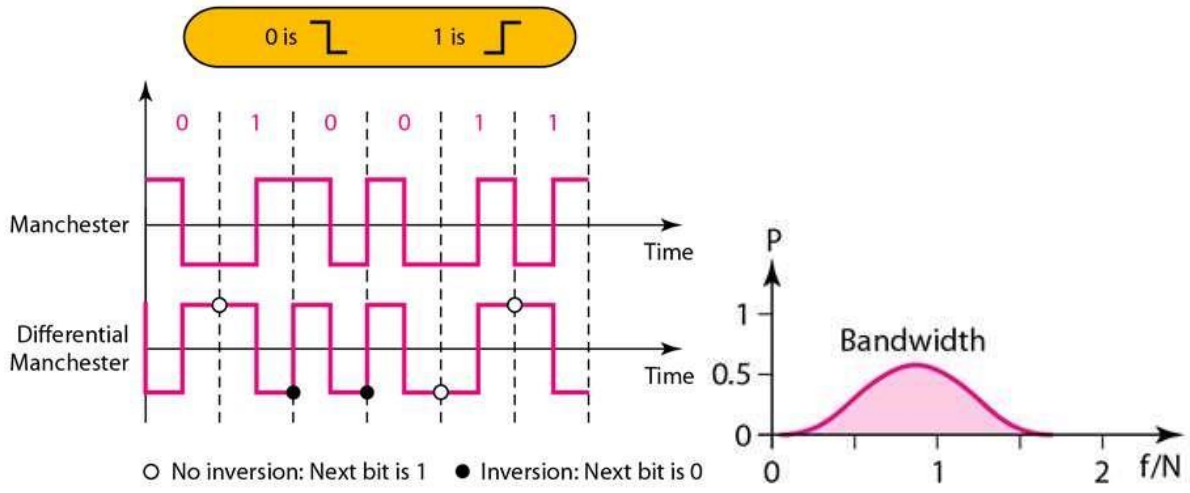
ب. إذا كان البت التالي 1**، لا يحصل انتقال في المستوى**

الترميز Differential Manchester **والترميز** NRZ-I **تفاضليان، لأنه يتم الترميز حسب قيمة البت التالي، ولا تأخذ الإشارة قيمة مطلقة من أجل قيمة البت .**

نستخلص من الشكل-7 **خواص وسيئات الترميز الثنائي الطور:**

- **لا توجد مركبة مستمرة عند** $f = 0$
- **النسبة** $r = 1/2$
- **السرعة المتوسطة** $S = N$**؛ يحتاج إلى ضعفي عرض الحزمة مقارنة بالترميز** NRZ
- **يؤمن التوامن بشكل جيد**

يستخدم الترميز Manchester **في المعيار** IEEE802 Ethernet **لمشبكات المحمية** LAN **من أجل إرسال الحزمة القاعدية في الكيبلات المحورية والمجدولة.**



الشكل-7: التراميز الثنائية الطور Biphase: Manchester and Differential Manchester **وكثافة الطاقة الطيفية**

4.4. التراميز الثنائية القطبية Bipolar Encoding:

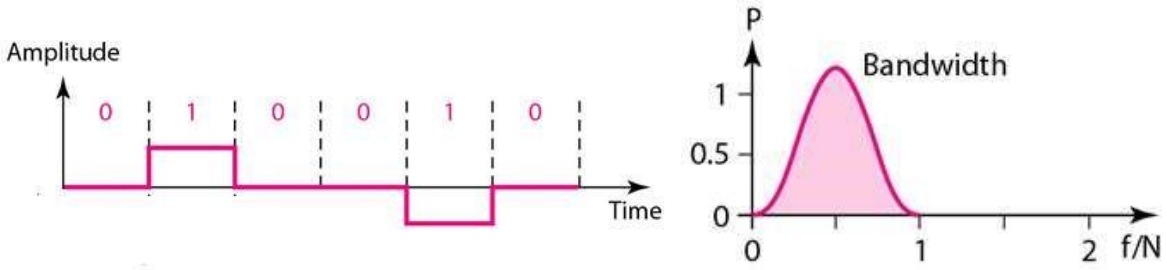
هي تراميز تأخذ فيها الإشارة ثلاثة مستويات: موجب وسالب وصفر، ولذلك تدعى أحياناً متعددة المستويات Multilevel binary**، من أنواعها:** Alternate Mark Inversion AMI**: تدل الكلمة** Mark **على قيمة البت 1. فعندما تكون الفولتية 0V، تكون قيمة البت 0؛ بينما يقابل قيمة البت 1، تناوب للفولتية الموجبة والسالبة، 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 بالفولتية 0V، ويحصل تناوب للفولتية الموجبة والسالبة من أجل البت 0 التالي.**

نستخلص من الشكل-8 خواص وسيئات التراميز الثنائية القطبية:

- **لا توجد مركبة مستمرة عند** $f = 0$
- **نسبة** $r = 1$
- **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 الطاقة الطيفية

5.4. الترميز المتعددة المستويات Multilevel Encoding:

نظرا للحاجة إلى زيادة معدل نقل البيانات أو إنقاص عرض الحزمة المطلوب، في نظام تراسل البيانات ،ترميز أخرى عديدة. يتحقق ذلك بزيادة عدد البتات المرسلة بوحدة معدل الإشارة وهي baud، وذلك بترميز m عنصر بيانات ضمن n عنصر إشارة. بما أن عناصر البيانات هي الأصفار والواحدات، 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 الترميز 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 منيما 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 الياتف.

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 $3N/4$

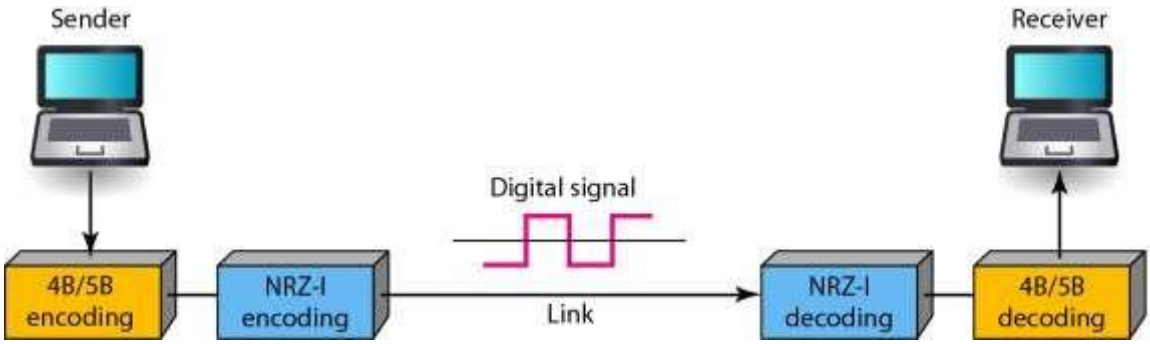
5. تقنيات تحسين الأداء Performance Improvement Techniques:

يمكن تحسين أداء تراميز 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 وارسالها، لتأمين التزامن وكشف الخطأ. المبدأ هو الاستعاضة عن كتلة Block من البيانات حجمها m-bits بكتلة أخرى حجميا 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 5bits-، 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 الأصغر 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 الأصغر المطلوب في حال استخدمنا ترميز الخط** NRZ-I:

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

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 مشكمة** DC؛ **بينما لا يوجد مشكمة** DC **في** Manchester **الذي يحتاج لعرض حزمة أعمى.**

2.5. الخلط Scrambling:

التراميز الثنائية الطور، المناسبة لموصلات المخصصة بين الأجهزة المتصلة بشبكة محمية LAN، **غير مناسبة لموصلات لمسافات طويلة بسبب عرض الحزمة العريض المطلوب. استخدام الترميز الكتلي مع ترميز الخط** NRZ **غير مناسب لموصلات لمسافات طويلة بسبب المركبة المستمرة. الترميز الثنائي القطبية** AMI، **من جية 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 عمى كشف الأخطاء.**

Bipolar with 8-Zeroes Substitution - B8ZS

التعويض 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

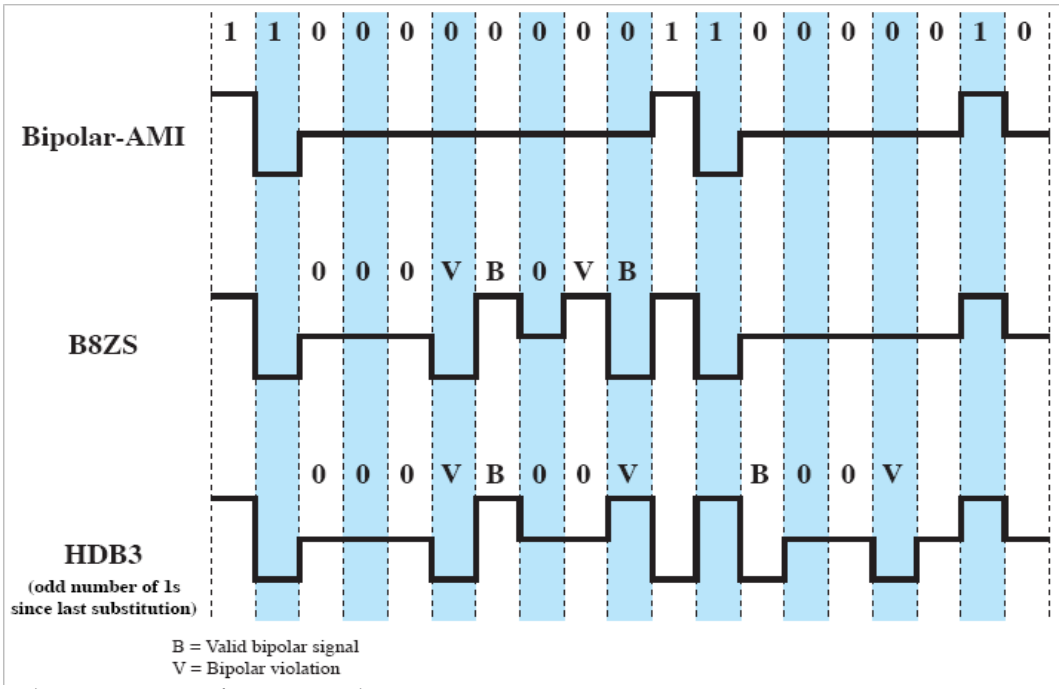
000−+0+−

High-density bipolar 3-3zero - HDB

التعويضة عن سلسلة من أربعة أصفار متتالية بسلسلة من الشكل V000 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 تغييراه بتقنية B8ZS، أو تغييرا 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 وHDB3:

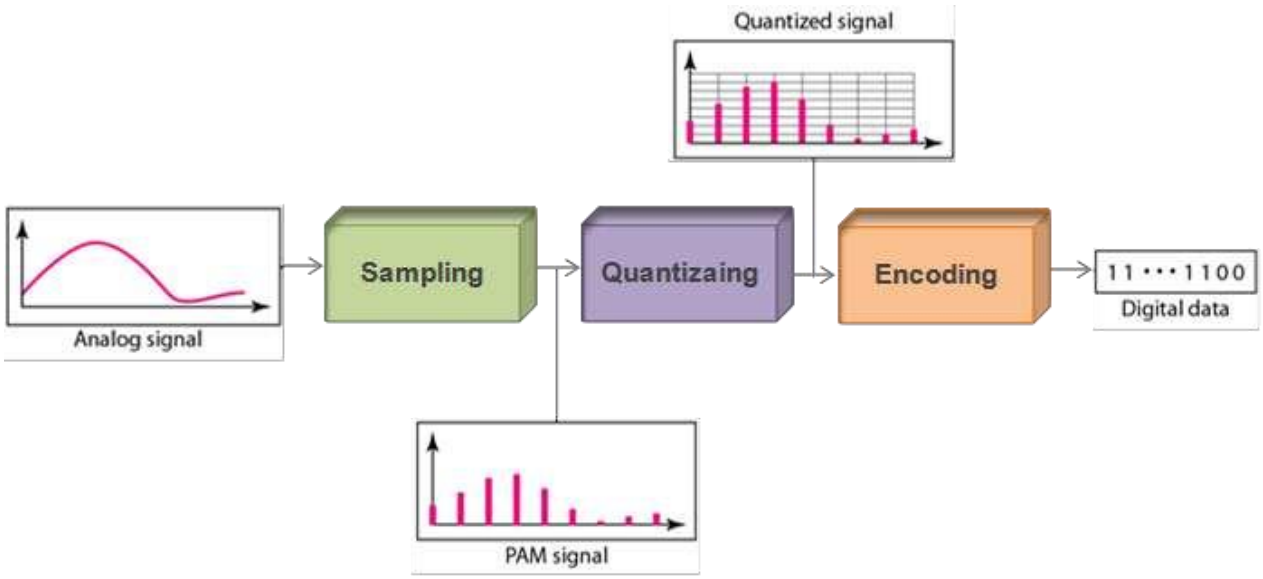
- **لا يوجد مركبة DC.**
- **تأمين التزامن بشكل جيد.**
- **معظم الطاقة مركزة ضمن عرض حزمة ضيق حول $f = N/2$ ، وبالتالي يصبح الترميزان الناتجان مناسبين للإرسال بمعدلات نقل عالية.**

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

ناقشنا فيما سبق التقنيات المستخدمة لترميز البيانات الرقمية بإشارارت 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[1] Digitization.

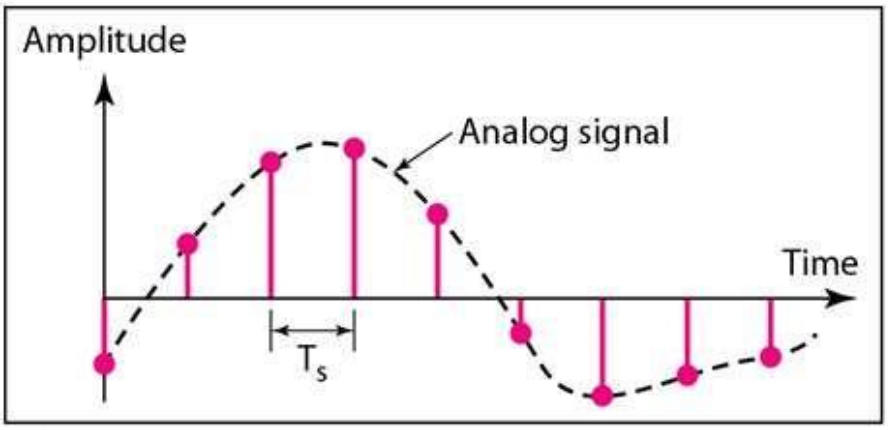
1.6. تعديل ترميز النبضة Pulse Code Modulation:

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



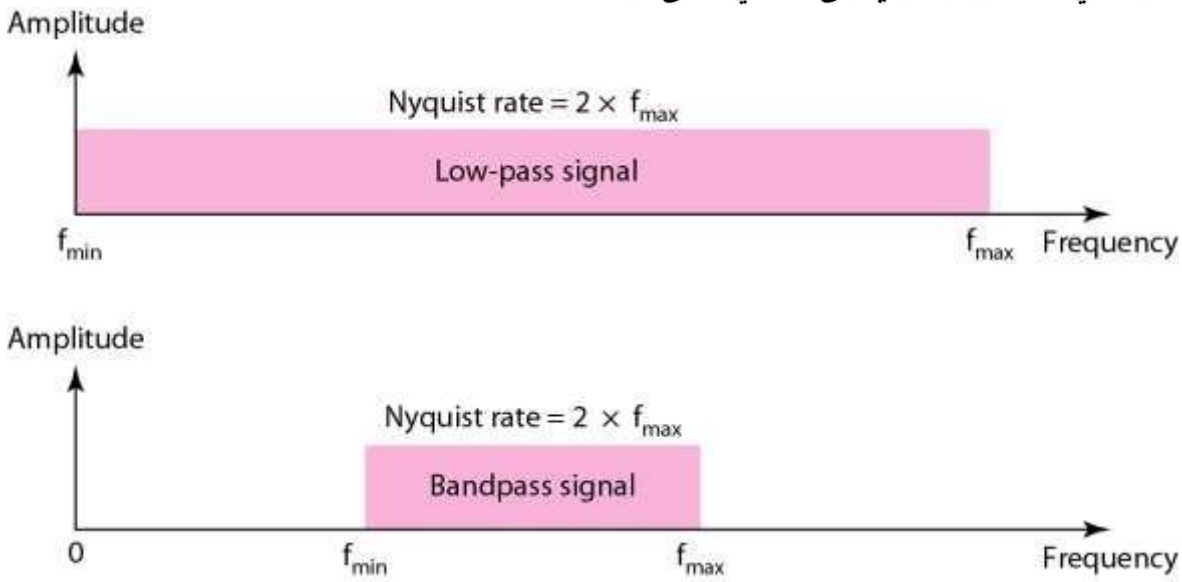
الشكل-11: مراحل تعديل ترميز النبضة

العينات Sampling أخذ عينات من الإشارة التماثلية، بفترة زمنية T_s، يقابله تردد عينة $f_s = 1/T_s$ sampling frequency، ويسمى أيضاً معدل العينة sampling rate. يبين الشكل-12 عملية العينة. يخضع f_s لنظرية نايكويست Nyquist theorem التي تنص على أن f_s يجب أن يساوي على الأقل ضعفي أعلى تردد في الإشارة التمالليلة الأصلية، لاستعادتها في الاستقبال.



الشكل-12: العينات

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



الشكل-13: معدل العينة لإشارة تمرير منخفض واشارة تمرير حزمة.

مثال 5

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

التقسيم Quantization

ينتج عن عملية التقسيم نبضات (باللون الأحمر في الشكل-12) يتراوح مقدرها بين أصغر V_{min} وأكبر V_{max} مقدار للإشارة التماثلية. يهدف التقسيم إلى إسناد قيمة لسعة كل نبضة لنتمكن من ترميزها في المرحلة اللاحقة ،وذلك كما يلي:

نقسم المجال السعوي V_{max} -- V_{min} إلى L مقدار جزئي (منطقة) قيمتها:

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

ثم نسند قيماً مقسمة quantized **(من الصفر إلى** L-1 **) إلى نقطة الوسط لكل منطقة من السعات الجزئية؛ وأخيرا نقرب قيم مقدار نبضات القسمة الناتجة إلى هذه القيم المجزئة. يمكن أن تكون التقسيم منتظم أو غير منتظم حسب شكل الإشارة الأصلية.**

الترميز Encoding**:**

نحسب أولاً عدد البتات اللازمة لتمثيل كل سعة مقسمة L **من العلاقة**

$$nb = \log_2 L$$

ثم نحول قيمة كل سعة مقسمة إلى شفرة code **طولها** nb**. وأخيرا يمكن حساب معدل النقل من العلاقة**

$$N = f_s \; X \; nb$$

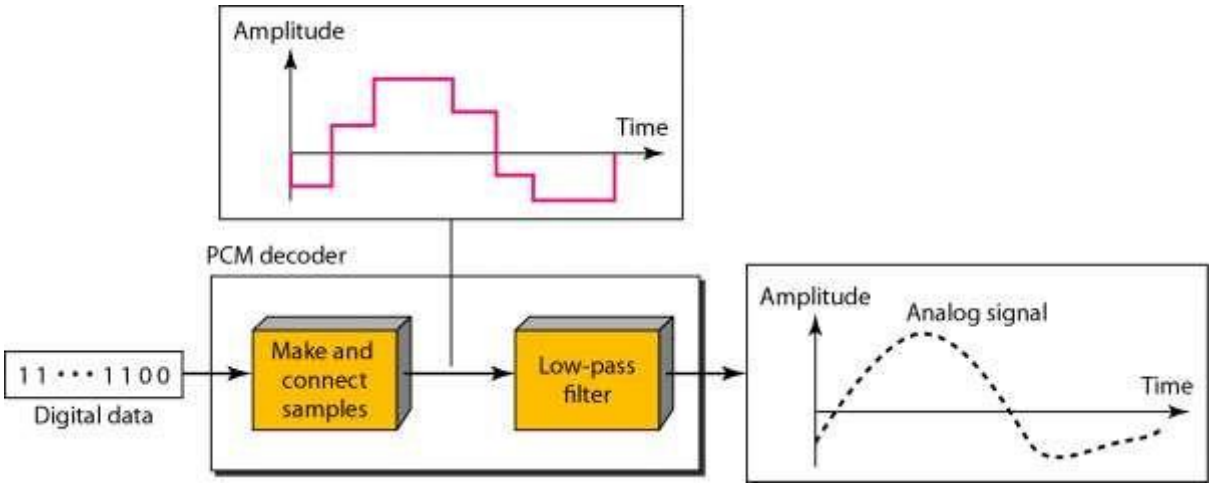
مثال 6

بالعودة إلى المثال 5**، تجري عادة تقسيم عينات صوت الإنسان بشفرات من** 8 bits**، فيكون معدل النقل اللازم لإرسال صوت الإنسان رقمياً هو**

$$N = f_s \; x \; nb \quad = 8000 \text{ x } 8 = 64 \text{ kbps}$$

استعادة الإشارة التماثيلة

يبين الشكل-14 **مراحل فك التحميل** PCM **عند الاستقبال.**



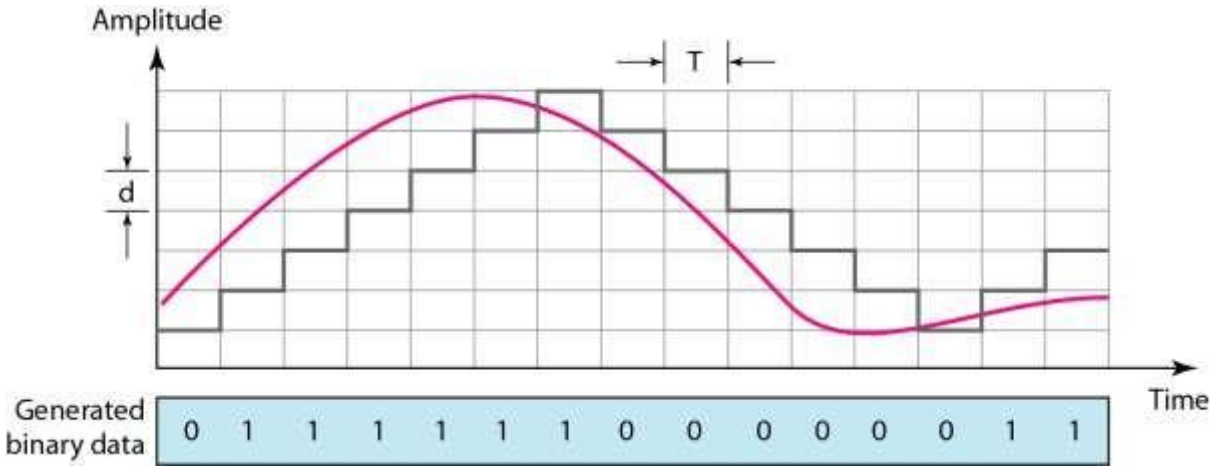
الشكل-14 **م ارحل فك التيحمل** PCM **عند الاستقبال.**

codec

هو الجياز الذي يقوم بعملية التحميل وفك التحميل PCM**.**

2.6. تحميل دلتا Delta Modulation:

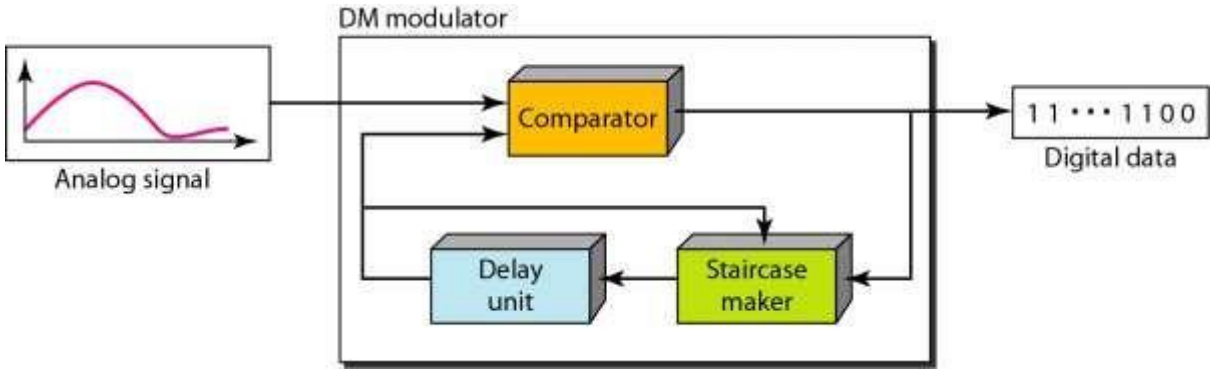
التحميل PCM تقنية معقدة جدا كما رأينا. لذلك تم تطوير تقنيات أبسط، منها تقنية التحميل دلتا. فعوضاً عن إيجاد قيمة مقابلة لكل عينة، تعمل تقنية التحميل دلتا على إيجاد الفرق δ بين العينة وسابقتها، كما هو موضح في الشكل-15.



الشكل-15: مبدأ عمل التعديل دلتا

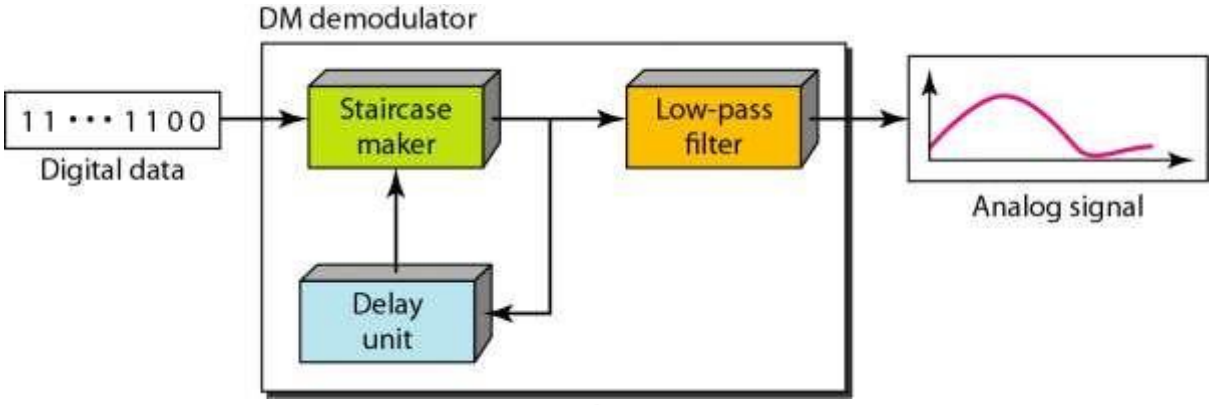
المحمل دلتا Delta Modulator يبين الشكل-16 مراحل هذا المحمل الذي يعطي في خرجه سلسلة من الأصفار والواحدات على النحو الآتي:

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



الشكل-16: مراحل التحميل دلتا

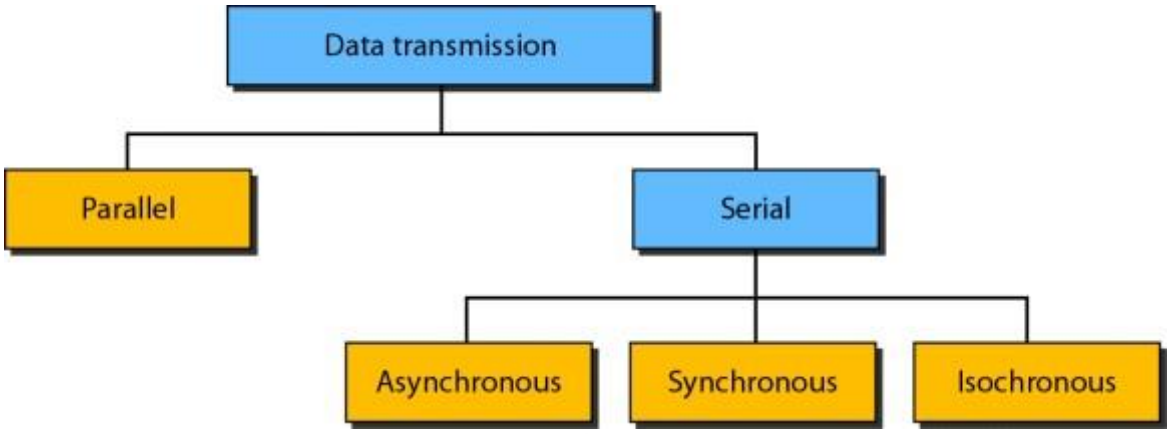
كاشف التحميل دلتا Delta Demodulator



الشكل-17: مراحل فك التحميل دلتا

7. **أنماط الإرسال** Transmission Modes:

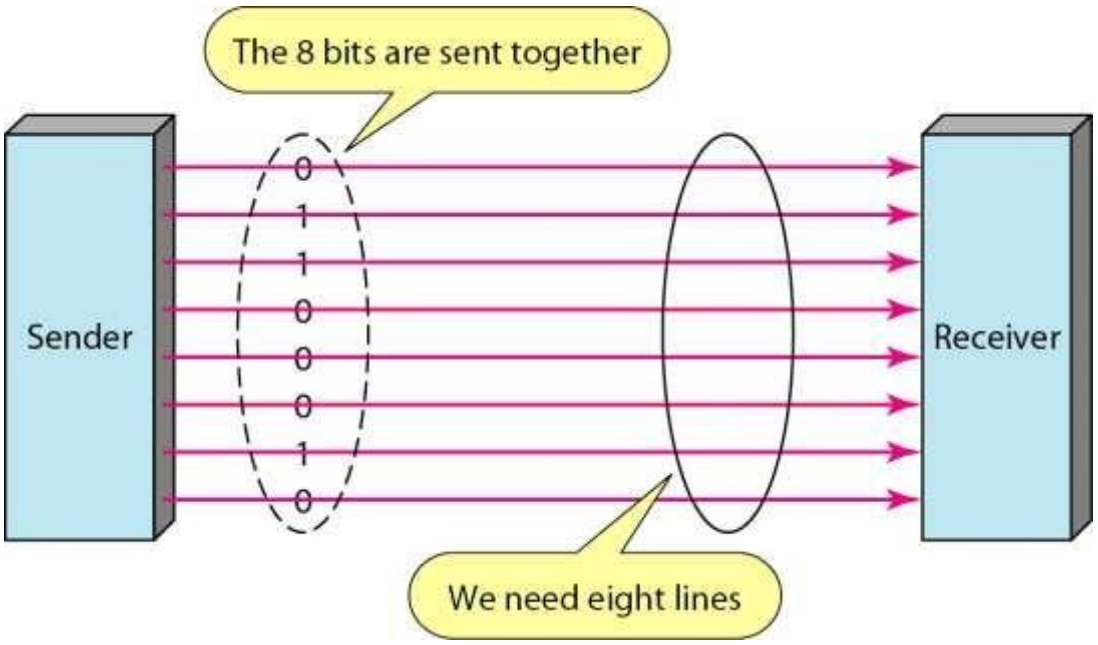
يمكن إرسال البيانات الثنائية Binary data **عبر وصلة في نظام تراسل البيانات بين جهازين بأحد نمطين: متوازي** Parallel **أو تسلسلي** Serial**، كما هو مبين في الشكل-18.**



الشكل-18: أنماط الإرسال

1.7. **الإرسال المتوازي** Parallel Transmission:

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

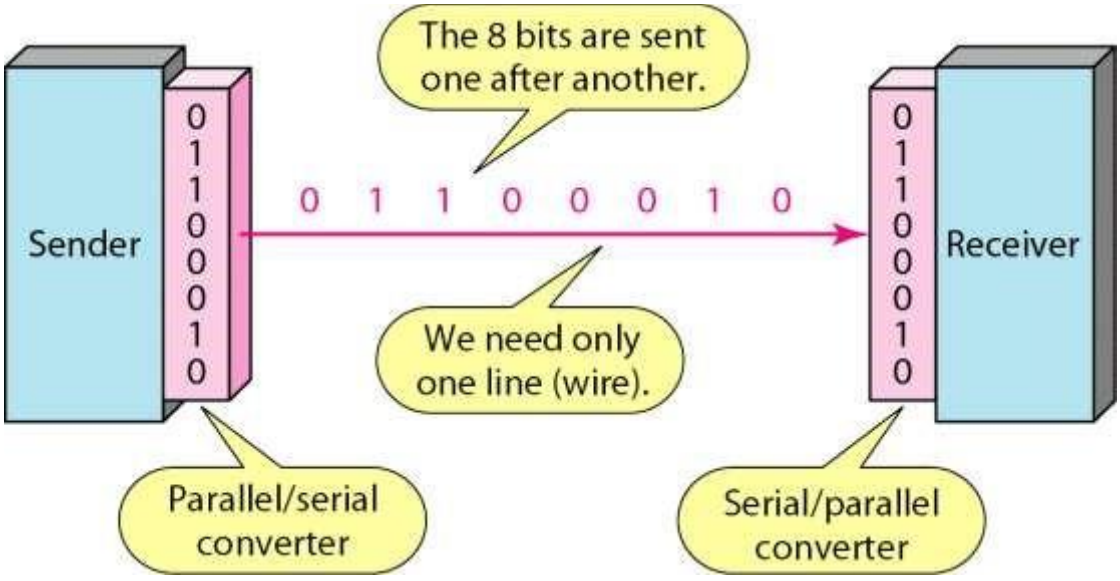


الشكل-19 الإرسال المتوازي لمجموعة من 8 bits.

يتميز النمط المتوازي بسرعة الإرسال؛ فعندما نرسل n Bits **، نزيد السرعة بمعامل** n**. لكن ذلك على حساب الكلفة، وليذا يقتصر الإرسال المتوازي على المسافات القصيرة.**

2.7. **الإرسال التسلسلي** Serial Transmission:

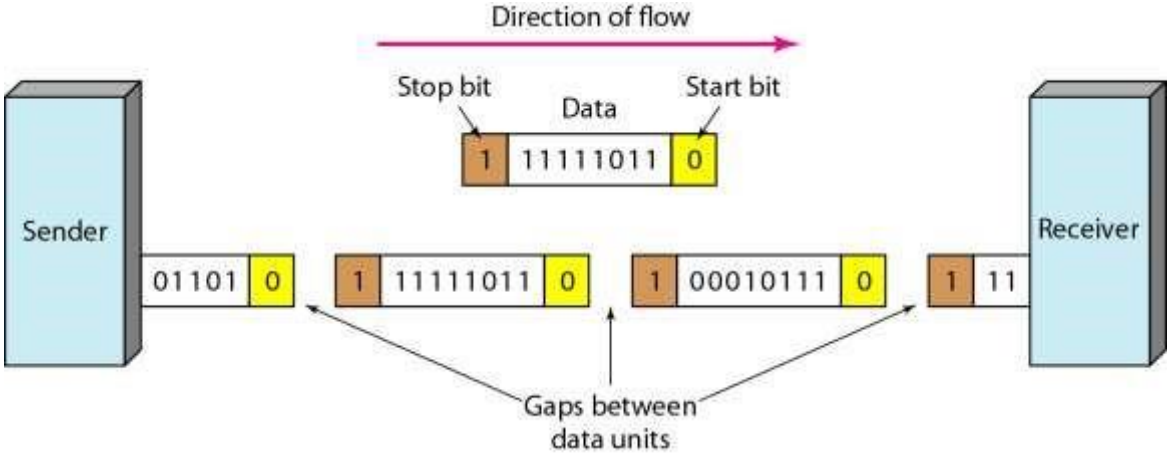
نحتاج في الإرسال التسلسلي لوصلة واحدة بين جهازين، ونرسل خانة واحدة تليها الخانة التالية، كماهو موضح في الشكل-20.



الشكل-20**: نمط الإرسال التسلسلي**

يتميز النمط التسلسلي على المتوازي بالكلفة القليلة، لحاجته لقناة إرسال واحدة فقط. لكن بما أن التراسل ضمن الجياز الواحد يكون متوازياً، يحتاج النمط التسلسلي في الشكل-20 إلى مبدل متوازي/تسلسلي عند الإرسال ،ومبدل تسلسلي/ متوازي عند الاستقبال.
يحصل الإرسال التسلسلي بإحدى الطرق الثلاث التالية:

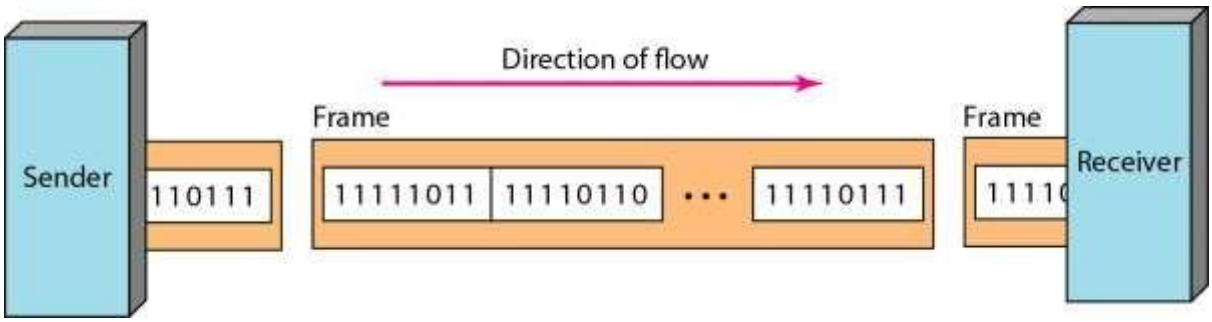
الإرسال غير المتزامن Asynchronous Transmission في هذا النمط يكون التوقيت غير مهم، بل يجري الاتفاق بين المرسل والمستقبل على نموذج معين. والنموذج العملي هو تجميع كل ثمان خانات بما يسمى بايت Byte. وبما أنه لا يوجد تزامن بين المرسل والمستقبل في نمط الإرسال غير المتزامن، يتم إضافة خانة إلى بداية كل بايت لإعلام المستقبل بوصول مجموعة جديدة من البيانات. تسمى هذه الخانة الإضافية خانة البدء start bit، وتكون قيمتيا 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 حجمها 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، هذا ما يجعله جذاباً لمتطبيقات 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. يظير 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 التسلسبي 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 25 صورة بالثانية؛ ويجب إظهارهم على الشاشة بنفس المعدل، وبدون تأخير.**
نستخدم لهذه التطبيقات الإرسال Isochronous **الذي يضمن وصول الصور بمعدل ثابت.**