جَـامعة
المَـنارة
MANARA UNIVERSITY

DATA TRANSMISS1ION

Lecture Notes

Dr. Professor, J.M. Khalifeh

قسم المعلوماتية

الوحدة الثانية

أسس تراسل المعطيات

Based on: Computer Networks & Communications. Abdel Fatah Aref Tamimi, Jamal Khalifeh, Yazori publisher; Amman; Jordan, 2010

1-مقدمة

تشمل المعلومات مفاهيم واسعة. فقد تكون صفحة نصية أو محادثة هاتفية أو صورة تلفزيونية أو أي شيء آخر من هذا القبيل. ولنقل المعلومات عبر الخطوط والقنوات لابد من إعطائها شكلاً فيزيائياً مناسباً قد يكون كهربائياً أو ضوئياً أو كهرومغناطيسياً. وأي شكل فيزيائي من هذه الأشكال قد يكون رقمياً أو تمثيلياً حسب متطلبات التراسل.

يستخدم تعبير تراسل المعطيات للدلالة على نقل هذه المعطيات من المرسل إلى المستقبل وبالعكس عبر الشبكة المعنية باستخدام شكل ما من أشكال الطاقة الكهربائية أو الضوئية أو الكهرومغناطيسية.

ويجب أن يحقق التراسل بعض المعايير كسرعة التوصيل وسرعة نقل المعطيات، وخلو المعطيات المستقبلة من الأخطاء، وسرعة الاستجابة، إضافة إلى الكلفة. ويمكن أن يتم إرسال المعلومات بشكلها الأولي. أو يمكن تحويل هذه المعلومات لتناسب الوسط الذي يربط المرسل بالمستقبل بما في ذلك مجموع العناصر التي يحويها هذا الوسط. كأن يتم تحويل إشارات الصوت والصورة التمثيلية إلى إشارات رقمية. أو تحويل الإشارات الرقمية إلى إشارات تمثيلية. أو تحويل الإشارات الرقمية من شكل إلى آخر أكثر ملائمة. أو تحويل الإشارات التمثيلية من شكل إلى آخر ومن مجال ترددي إلى مجال ترددي أكثر ملائمة.

وسنقوم في هذا الفصل باستعراض أهم المبادئ التي يقوم عليها تراسل المعطيات في المجالين الرقمي والتمثيلي.

2. أهداف الفصل

ستكون عزيزي القارئ بعد دراسة هذا الفصل واستيعاب محتوياته قادراً على:

1. التميز بين الإشارات والقنوات والتقانات الرقمية والتمثيلية
2. تحديد أنواع وبارامترات وخواص الإشارات
3. شرح أنماط تراسل المعطيات والتمييز بينها
4. تحديد معيقات تراسل الإشارات وتأثيرها على نوعية وجودة التراسل
5. إيضاح خواص قنوات التراسل

3. إشارات الإرسال

يتم تراسل المعلومات في شبكات الحواسب والاتصالات على شكل إشارات. والإشارة هي بشكل عام قيمة فيزيائية مرتبطة بالزمن تكون لها طاقة ما تساعدها على الانتقال ضمن الوسط المستخدم. وتتحدد الإشارة بمجموعة من المحددات سنقوم بإيضاحها فيما يلي.

3.1 محددات الإشارة

يمكن أن تكون الإشارة بسيطة أو معقدة. فالإشارة البسيطة أو الإشارة الجيبية لا يمكن تحليلها إلى إشارات أبسط. على عكس الإشارات المركبة التي يمكن تحليلها إلى إشارات أبسط تكون بمجموعها هذه الإشارة.

كما يمكن أن تكون الإشارة دورية أو غير دورية، عشوائية أو محددة. والإشارة الجيبية هي الشكل الأكثر انتشاراً من أشكال الإشارات الدورية. وتتحدد هذه الإشارة بالمحددات التالية:

3.1.1 المطال

المطال هو القيمة العظمى للإشارة. وهي بالنسبة للإشارة الجيبية مساوية للقيمة العظمى لها التي يمكن أن تصلها على المحور الشاقولي كما هو مبين في الشكل (1).

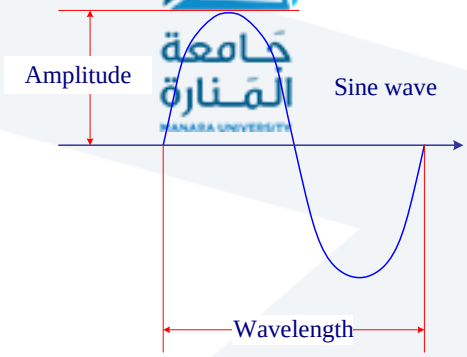
يقاس المطال بالفولت v الذي يعبر عن قيمة جهد الإشارة، أو بالأمبير A ويعبر عن قيمة التيار الذي يمر في دارة ما بسبب تطبيق هذه الإشارة، أو بالوات W ويعبر عن الاستطاعة التي تحملها الإشارة.

3.1.2 التردد

يعبر عن دور الإشارة بالزمن اللازم للإشارة الدورية لتكمل دورة واحدة. ويعبر التردد عن عدد الدورات التي تقوم بها الإشارة في واحدة الزمن. ويرتبط التردد بالدور بعلاقة رياضية يعبر عنها بأن أحدهما مقلوب الآخر. ويكفي معرفة أحدهما لمعرفة الآخر.

وبشكل عام فإن الأمواج الكهربائية تتأرجح بقيمتها حول قيمة وسطية معينة آخذة قيمة عليا وقيمة دنيا. ونستطيع القول بأن معدل هذا التأرجح بين القيمتين العليا والدنيا هو تردد الإشارة. ويقاس التردد بالدورة في الثانية أو الهرتز Hz (الهرتز مساوٍ لدورة واحدة في الثانية الواحدة).

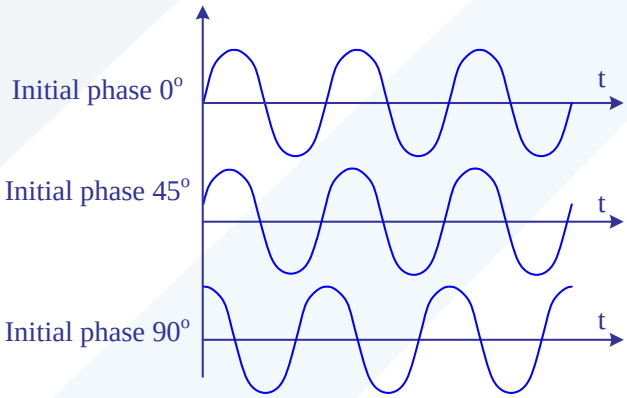
يرتبط طول الموجة بالتردد بشكل عكسي فكلما ازداد التردد كلما نقص طول الموجة والعكس بالعكس.



الشكل (1): محددات الموجة الجيبية

3.1.3 طور الإشارة

ويصف هذا المحدد موقع الإشارة بالنسبة لمبدأ الزمن. ويمكن أن تسبب بعض العمليات على الإشارة انزياحاً في الطور أماماً أو خلفاً بقيمة معينة. ويعبر الطور عن قيمة الإنزياح في هذه الحالة. حيث يعبر عن حالة وموقع الدورة الأولى من الإشارة الجيبية على سبيل المثال.

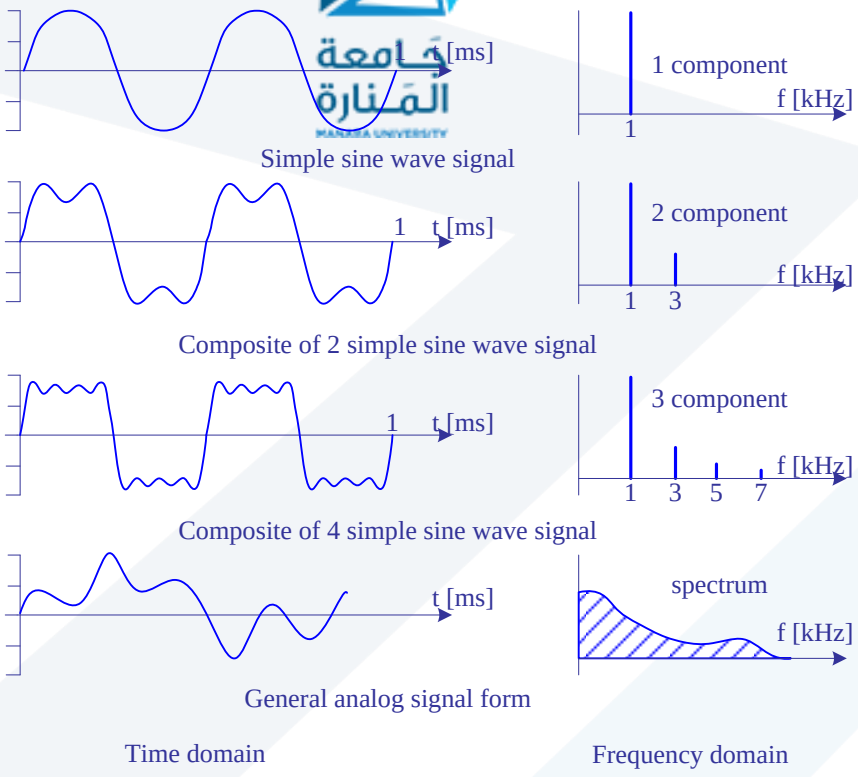


الشكل (2): يبين هذا الشكل انزياحاً لطور الإشارة يختلف من حالة إلى أخرى

يقاس الطور بالدرجات أو بالراديان (كل 360 درجة تعادل 2π راديان). وتعبر الإزاحة الطورية بقيمة 360 درجة عن إزاحة بقيمة دور كامل. ويبين الشكل (2) إزاحات طورية بقيم مختلفة.

يمكننا التعبير عن الإشارة في المجال الزمني أو في المجال الترددي كما في الشكل (3). وحيث أن للإشارة مطال وتردد وطور. فإن جمع إشارتين جيبيتين مختلفتين في الطور والتردد والمطال سينتج إشارات مختلفة حسب قيمة الاختلاف بين الإشارتين. ويبين الشكل أيضاً مجموع أكثر من إشارتين جيبيتين بحيث يعطي فكرة ما عن تمثيل الإشارات المركبة في المجالين الزمني والترددي. وتدعى المركبة ذات التردد الأدنى في هذه الحالة بالمركبة الأساس بينما تدعى المركبات الأعلى بالتوافقيات.

يتم عملياً استخدام إشارات عشوائية أثناء تراسل المعطيات. وتحتوي هذه الإشارات في المجال الترددي على حزمة ترددية يتم فيها تمثيل جميع الترددات بين أدنى تردد والمساوي للصفر وبين أعلى تردد. وتسمى هذه الحزمة بطيف الإشارة. ونعرف عرض حزمة الإشارة بأنه المجال الترددي بين أعلى وأصغر تردد للمركبات في طيف الإشارة.



الشكل(3): تمثيل الإشارات البسيطة والمركبة في المجالين الزمني والترددي

وكمثال على ذلك فإن طيف إشارة الصوت البشري يحتوي مركبات ترددية تمتد إلى أكثر من 3000 هرتز. مع تمركز لطاقة حول 800 هرتز أي أن المركبات القريبة من هذا التردد تمتلك القيمة العظمى من طاقة الإشارة. ويعتبر طيف الإشارة الهاتفية ممتداً من 100 هرتز وحتى 3300 هرتز. بينما تستطيع الأذن البشرية تمييز الترددات بين 20 هرتز و 20000 هرتز.

يعتبر عرض الحزمة مؤشراً على سعة القناة. ويعبر عن قدرة الإشارة على حمل المعلومات. وهناك علاقة مباشرة بين عرض الحزمة وبين التردد الحامل من جهة والفرق بين الترددين الأدنى والأعلى للإشارات التي يمكن إرسالها في هذه القناة. كما أن هناك علاقة مباشرة بين عرض الحزمة للقناة من جهة وبين معدل الإرسال لهذه القناة فكلما ازداد عرض الحزمة ازداد معدل الإرسال الممكن استخدامه.

3.2 أنواع الإشارات

هناك نوعين من الإشارات لنقل المعطيات وهما الإشارات التمثيلية والإشارات الرقمية.

3.2.1 الإشارات التناظرية (التمثيلية أو التشابهية) *Analog Signals*

وأكثر ما يعبر عن هذا النوع من الإشارات هو إشارات الصوت والصورة بطبيعتها دون تحويل بمجرد خروجها من الميكرفون أو من الكاميرا ونقلها مباشرة عبر سلكين من النحاس مثلاً. ويتم التعبير عن الإشارات التمثيلية كهربائياً بإشارات الجهد والتيار المستمرة في الزمن والمتغيرة في القيمة تبعاً للمعطيات التي تمثلها والتي سيتم إرسالها. وتسمى الإشارة تمثيلية لأنها تماثل السبب الذي أدى إلى توليدها أو القيمة التي تعبر عنها.

3.2.1.1 حسنات الإشارات التمثيلية

تتمتع الإشارات التمثيلية بعدد من الحسنات منها:

- تعد خياراً جيداً للتعامل مع المبدلات الكهروميكانيكية والمبدلات الإلكترونية التمثيلية.
- أثبتت فعاليتها بالنسبة للكثير من التطبيقات خصوصاً في النصف الأول من القرن العشرين
- تمتع الأجهزة التي تستخدمها ببساطة التركيب وانخفاض التكلفة
- يمكن استخدام أبسط أنواع التجميع وهو التجميع بتقسيم التردد لتجميع مثل هذه الإشارات وإرسالها ضمن قناة واحدة.
- لا يحتاج إرسالها إل تجهيزات إضافية ومعالجات إضافية كالتحويل إلى شكل رقمي مثلاً.

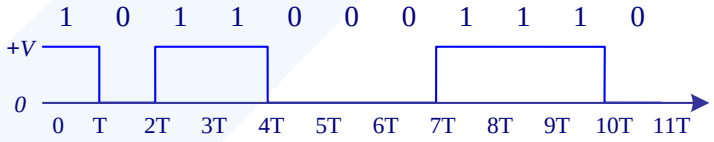
3.2.1.2 سيئات الإشارات التمثيلية

- هذه الإشارات أكثر عرضة للتداخل الخارجي من الإشارات المعيقة مثل الإشارات الناتجة عن خطوط القدرة الكهربائية والبرق والتأثيرات الفضائية وغيرها.
- انخفاض معدلات الإرسال التي يمكن أن تنقلها مقارنة بالإشارات الرقمية
- يتم استخدامها بشكل قليل في الآونة الأخيرة بعد الانتشار الواسع للدارات الرقمية والتي تعتبر أكثر فعالية ومردوداً.
- أصبحت كلفة تشغيل الدارات التمثيلية التي تعتمد استخدام الإشارات التمثيلية أكبر من تشغيل الدارات الرقمية
- تعتبر الإشارات الرقمية أكثر ملائمة لعمل التجهيزات والقنوات الحديثة مثل تلك المرتبطة بالكابلات الضوئية.

3.2.2 الإشارات الرقمية *Digital Signals*

التقانة الرقمية هي تلك التي تصف العملية التي يتم بها توليد وحفظ ومعالجة المعطيات على شكل سلسلة من الأصفار والواحدات يسمى كل منها بيتاً.

فالبيت هو أصغر وحدة من وحدات المعطيات. وتمتلك البيت قيمة ثنائية هي الصفر أو الواحد كما في الشكل (4). ويتم تخزين البيت في أجهزة التخزين عادة على شكل مستوى من الجهد أعلى أو أخفض من مستوى مرجعي معين هو الصفر عادة.



الشكل (4): مثال على الإشارة الرقمية

يتم استخدام الإشارات الرقمية مع أوساط النقل الحديثة مثل الاتصالات عبر التوابع الصنعية والألياف الضوئية وغيرها. ويستخدم المودم لتحويل إشارة الكومبيوتر الرقمية إلى إشارة تمثيلية مناسبة لنقلها عبر خط الهاتف الذي يشكل قناة تمثيلية. ويقوم أيضاً بتحويل الإشارة التمثيلية المارة عبر خط الهاتف إلى إشارة رقمية مناسبة لتطبيقات الحاسوبية.

يتم مع الإشارات الرقمية استخدام عبارتين جديتين تختلفان عما هو في حالة وصف الإشارات التمثيلية وهما فترة البيت بدلاً من الدور ومعدل الإرسال بدلاً من التردد. وفترة البيت هي الزمن اللازم لإرسال بيت واحد. أما معدل الإرسال فهو عدد فترات البيت في الثانية الواحدة. أي بعبارة أخرى هو عدد البيتات التي يتم إرسالها في الثانية الواحدة bps.

يتميز الإرسال الرقمي بعدد من الحسنات التي تجعله متفوقاً على الإرسال التمثيلي منها:

- معدل الأخطاء الناجمة عن استخدام الإرسال الرقمي أقل مما هو عليه في الإرسال التمثيلي

- الإرسال الرقمي أكثر فعالية
- يسمح الإرسال الرقمي بالوصول إلى معدلات إرسال عالية
- تسمح التعمية المستخدمة مع الإرسال الرقمي بتطبيق وسائل أكثر أمناً وسرية من حالة الإرسال التمثيلي.
- يقدم الإرسال الرقمي إمكانات أكثر بساطة وفعالية في تجميع الإشارات
- يسمح الإرسال الرقمي بإرسال معطيات ذات طبيعة مختلفة كتلك التي تثل الصوت ومعطيات الكمبيوتر وتلك التي تمثل الفيديو وغيرها ضمن قناة واحدة بطرق أبسط قياساً مع ما يمكن أن يتم في القنوات التمثيلية.
- يعطي الإرسال الرقمي إمكانية التحكم الرقمي بالقنوات والشبكات المستخدمة.
- يسمح الإرسال الرقمي بالمعالجة الرقمية وتطبيق ما يسمى بالشبكات الذكية IN.

يسمح ترميز المعطيات الكهربائية والضوئية والكهرطيسية بتقديم أشكال مختلفة للإشارات الرقمية التي يجري فيها تمثيل الصفر والواحد بمستويين مختلفين من الطاقة يمثل أحدهما الصفر بينما يمثل الآخر الواحد.

4 تراسل المعطيات

يمكن أن يتم تراسل المعطيات عبر الشبكة في شكلها الذي تم تمثيلها به ، كما يمكن أن يتم تحويلها لتأخذ شكلاً مناسباً لهذه القناة أو تلك. كما يمكن أن يتم تحويل الإشارات من شكل إلى آخر فيتم بذلك إرسال الإشارات الرقمية عبر القنوات التمثيلية أو إرسال الإشارات التمثيلية عبر القنوات الرقمية. وفي جميع الأحوال فإنه يتم تطبيق معالجة ما أو تحويل ما لتتم ملائمة الإشارات المرسلة مع قنوات وأنماط الإرسال المستخدمة.

4.1 أنماط الإرسال

يمكن تصنيف أنماط تراسل المعطيات حسب مجموعة من العوامل والمحددات كما في الفقرات التالية.

4.1.1 أنماط التراسل وفقاً لطريقة تدفق المعطيات

4.1.1.1 سمبلكس Simplex

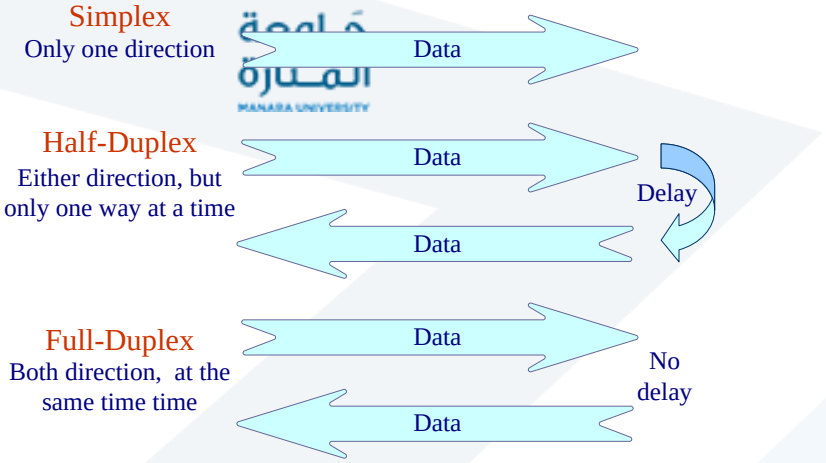
ويتم في هذا النمط إرسال المعطيات في اتجاه واحد فقط دون أن يتم في الاتجاه الآخر. و كمثال عليه هناك المعلومات التي يتم نقلها من الحساسات إلى أجهزة المراقبة في المعامل والمستشفيات وكذلك البث الإذاعي والتلفزيوني. ويحتاج تطبيق مثل هذا النمط إلى استخدام قناة اتصال واحدة كما هو مبين في الشكل 5.

4.1.1.2 النمط نصف المزدوج Half-duplex

في هذا النمط يتم نقل المعطيات في كلا الاتجاهين في القناة، ولكن هذا النقل لا يمكن أن يتم نفس الوقت. حيث تقوم القناة في زمن ما بالنقل في اتجاه ما، بينما تقوم بالنقل في الاتجاه الآخر في زمن آخر مختلف وذلك كما في الشكل 5.

4.1.1.3 النمط المضاعف الكامل Full-duplex

يتم في هذا النمط نقل المعطيات في الاتجاهين في نفس الوقت. ويحتاج إلى تقانات وآليات أكثر تعقيداً من سابقيه للتحكم بالإرسال. وكمثال عليه هناك تراسل المعطيات بين حاسبين ويتم استخدام قناتين فيزيائيتين أو افتراضيتين (منطقيتين) للإنجاز التراسل وفق هذا النمط كمل هو مبين في الشكل (5).

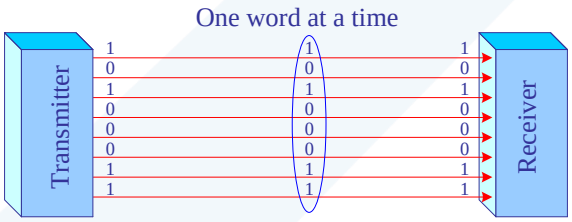


الشكل (5): أنماط التراسل

4.1.2 أنماط التراسل وفقاً لنمط الوسط الفيزيائي

4.1.2.1 النمط التفرعي

ويسمح هذا النمط بنقل المعطيات ككتل، بحيث يتم نقل بيتات الكتلة الواحدة على التوازي في نفس الوقت كما هو مبين في الشكل 6. ويتم نقل المعطيات ضمن الحاسب عبر باصات النقل بالشكل التفرعي. كما يمكن استخدام النقل التفرعي كنمط للتراسل بين الحاسب وأجهزته المحيطة مثل الطابعات لتأمين السرعة العالية في الأداء. ولكن هذا النقل يتم لمسافات قصيرة نسبياً. ويتسم بانخفاض الوثوقية.

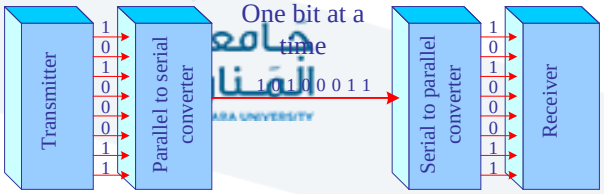


الشكل (6): نمط الإرسال التفرعي

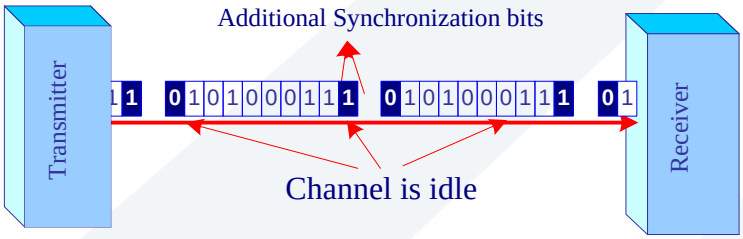
4.1.2.2 النمط التسلسلي

وهذا النمط هو الأكثر انتشاراً في تطبيقات تراسل المعطيات، ويتم باستخدام هذا النمط إرسال المعطيات على التوالي بيت بعد الآخر. ويمكن تطبيق هذا النمط وفقاً لإحدى آليتين:

- التراسل غير المتزامن: ويسمى أيضاً نمط التراسل ابدأ–توقف حيث يمكن يتم إرسال حرف واحد (بايت واحد) في كل مرة بشكل مستقل. ويتم استخدام بيتات للتحكم في بداية ونهاية الإرسال تسمى بيت البدء وبيت التوقف، وتقوم هذه البيتات بضبط عملية التزامن التي لا يتم تأمينها مسبقاً. وهذا النمط رخيص وواسع الانتشار ولكنه يضطرنا إلى إرسال بيتات زائدة لا تحمل أي معلومات حقيقية مؤثرة بذلك على معدل الإرسال. يتم في هذا النمط عادة إرسال إطار واحد من المعطيات في الوقت الواحد محتوياً على بيتات التحكم وضبط التزامن كما في الشكل 8. ويستخدم المستقبل بيتات التحكم والتزامن لضبط استقباله للمعطيات وفقاً للفترة التي تم إرسالها فيها.

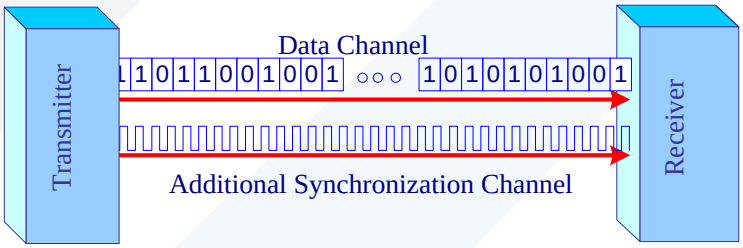


الشكل (7): نمط النقل التسلسلي



الشكل (8): النمط غير المتزامن

- النمط المتزامن: ويمكن إرسال كتل من المعطيات بسرعة عالية وفق هذا النمط. إذ يتم ضبط توقيت المرسل والمستقبل خلال فترة تراسل الكتل كما في الشكل 9. ويتم في هذا النمط استخدام قناة إضافية خاصة لتأمين التزامن.



الشكل (9): نمط الإرسال المتزامن

يتم في القنوات غير المتزامنة تضمين معلومات التزامن وضبط التوقيت في المعطيات المرسلة على شكل بيتات تحدد بداية ونهاية المعطيات. بينما يتم في النمط المتزامن إرسال معلومات التزامن باستخدام قناة خاصة

4.1.3 أنماط الإرسال وفقاً لعرض الحزمة اللازم

4.1.3.1 تراسل حزمة الأساس

ويمكن وصفه بأنه التطبيق المباشر للإشارة على وسط الإرسال، وهذا النمط غير ملائم من أجل المسافات البعيدة. ويمكن استخدامه مع أوساط النقل الموجهة guided مثل زوج الأسلاك المجدولة والكبل المحوري. وتتعرض الإشارات في مثل هذا النمط إلى التخامد والضياع بعد مسافة محددة تختلف باختلاف الوسط. ولذلك يتم اللجوء إلى استخدام مكررات الإشارة.

4.1.3.2 تراسل الحزمة العريضة

ويتم في هذا لنوع نقل طيف الإشارة إلى مجال ترددي أعلى. ويحتاج الأمر إلى استخدام التعديل في مرحلة الإرسال والكشف في مرحلة الاستقبال أي إلى استخدام الموديمات. كما يؤمن هذا النمط إمكانية إرسال عدة إشارات دفعة واحدة بنقل كل منها إلى مجال ترددي

مختلف وتأمين حيز للأمان بين الإشارات وهذا ما نسميه تجميع الإشارات بتقسيم التردد FDM. حيث يسمح ذلك باستخدام قنوات التراسل ذات الحزمة العريضة ومعدلات الإرسال العالية. ويستخدم في تطبيقات الشبكات الحاسوبية لنقل الإشارات عبر موديمات الكابلات وخطوط الـ DSL ونقل الإشارات عبر الكابلات الضوئية والكثير من التطبيقات اللاسلكية.

5 معيقات الإرسال

إن هدف الاتصال هو إرسال واستقبال المعلومات إلى أي مكان دون تأخير وبدون أخطاء. ومن الصعوبة بمكان تحقيق هذا الهدف. ويعود أحد أهم الأسباب في صعوبة تحقيق ذلك إلى معيقات التراسل. وسنقوم فيما يلي بتوضيح أهم معيقات التراسل.

5.1 التخامد

عندما تنتشر الإشارة إلى مسافة بعيدة في وسط الانتشار فإن مطالها يتناقص كما في الشكل 10. وعندما تتجاوز المسافة حداً معيناً فلا بد من أجل الحفاظ على إمكانية الاستقبال الصحيح للإشارة من القيام بإعادة الإشارة إلى المستوى المقبول عن طريق استخدام مضخمات لإشارة أو استخدام مكررات الإشارة.

تسمى ظاهرة تناقص مطال الإشارة مع ازدياد المسافة التي تنقلها الإشارة بالتخامد. ويقاس التخامد بالديسيبل dB. ويتم تصحيح أثر التخامد وتعويضه باستخدام المضخمات عند إرسال الإشارات التمثيلية. حيث تقوم هذه المضخمات بحقن الإشارة بالطاقة اللازمة لإعادتها إلى المستوى المطلوب. أما عند إرسال الإشارات الرقمية فتتم معالجة التخامد باستخدام المكررات. حيث تقوم المكررات بكشف الإشارة المرسلة وإعادتها إلى حالتها الأصلية قبل الإرسال ومن ثم إرسالها من جديد إلى مسافة أخرى.

ويختلف التخامد باختلاف وسط الإرسال. الكابلات النحاسية أكثر تخميداً للإشارة من الكابلات الضوئية، ولهذا فإن الكابلات النحاسية تناسب المسافات القصيرة في حين تناسب الكابلات الضوئية نقل الإشارة إلى المسافات الأبعد.

5.2 التشتت

تميل الإشارات إلى الانتشار والتوسع في أشكالها حين نقلها وبشكل مرتبط بالتردد، كما في الشكل 10. ويلاحظ هذا النوع من الإعاقة في الكابلات الضوئية. وتختلف خواص الانتشار للأمواج المنقولة في قناة معينة باختلاف طول الموجة، وتتعرض الإشارة إلى شيء من تمدد الإشارة. ويؤثر التشتت بشكل مباشر على معدل الإرسال ضمن القناة.

5.3 التشوه

يمكن أن يسبب وسط النقل للإشارة امارة عبره نوعين من التشوه هما التشوه المطالي والتشوه الطوري.

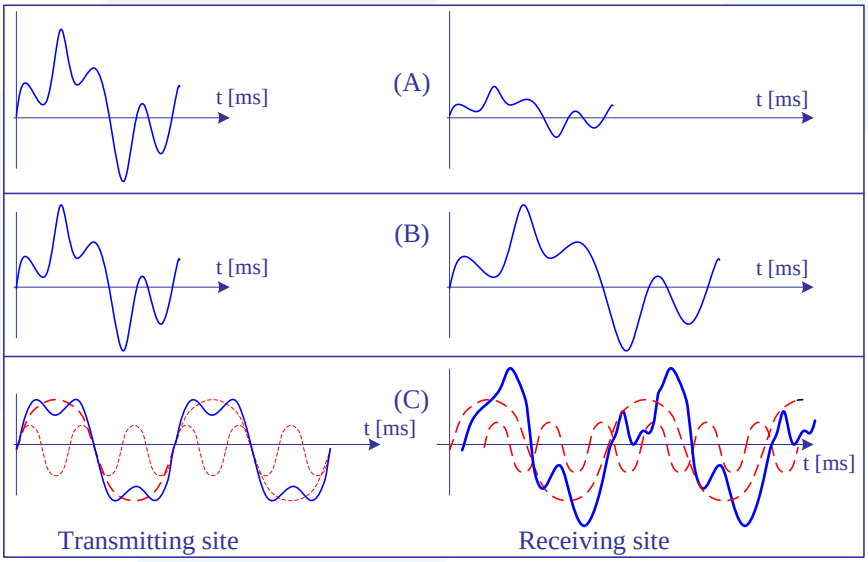
5.3.1 التشوه المطالي

وينشأ هذا النوع من التشوه نتيجة لتغير التخميد الذي تسببه القناة للإشارة بشكل متناسب مع التردد. وهذا يعني أن القناة تخمد بعض المركبات في طيف الإشارة بشكل أكثر أو أقل مما تقوم به بالنسبة لمركبات أخرى. وهذا يقود بالنتيجة إلى طيف الإشارة المستقبلة سيكون مختلفاً عن طيف الإشارة المرسلة. وبالرغم من ذلك فإن الكثير من التطبيقات تتحمل مستوى معيناً من التشوه دون أن يؤدي ذلك إلى خطأ في الاستقبال. ولكن حتى في الحالات التي يكون فيها هذا التشوه كبيراً فإن معرفتنا المسبقة لخواص القناة المطالية–الترددية يسمح لنا باستخدام معوض خطي لهذا التشوه يقوم بتسوية التشوه الحاصل. ويسمى هذا المعوض بالمسوي أو المعادل equalizer ويعمل بشكل جيد ضمن المجال الترددي للإشارة بتقوية الإشارة بشكل متغير ومتناسب مع التخميد الحاصل لكل مركبة.

5.3.2 التشوه الطوري

ويعتبر هذا التشوه من أكثر معيقات التراسل سوءاً في حال حصوله. وينتج عن اختلاف سرعة انتشار مركبات طيف الإشارة باختلاف ترددات هذه المركبات. ولتوضيح ذلك لنفترض أن إشارة ما مكونة من مركبتين الأولى ذات تردد 400 Hz والثانية ذات تردد 1800 Hz، وأن هذه الإشارة قد مرت عبر وسط التراسل. ولنعتبر أن الإشارة ذات التردد الأعلى ستعبر الوسط بشكل أسرع، أي أن المركبة ذات التردد 400 Hz ستتعرض لتأخير زمني أكبر مما ستتعرض له المركبة الأخرى. بالنتيجة فإن الإشارة المكونة من مجموع المركبتين على دخل القناة ستكون مختلفة عن الإشارة المكونة من مجموع المركبتين على خرجها. أي أن الإشارة تكون قد تعرضت لما يعرف بالتشوه الناجم عن التأخير الزمني غير المنتظم أي تعرضت لتشوه طوري.

وهذا النوع من التشوه خطير بالأخص على إشارات المعطيات الرقمية. حيث أن تغير شكل الإشارة سيؤدي إلى تغير قيمة الإشارة في اللحظة التي علينا فيها أن نقرر فيما إذا كانت تمثل صفراً أو واحداً وبالتالي قد تؤدي إلى استقبال خاطئ لهذه المعطيات. ويوضح الشكل 10 كيفية حصول التشوه الطوري.



الشكل (10): (أ) التخميد، (ب) التشتت، (ج) التشوه الطوري

5.4 الضجيج

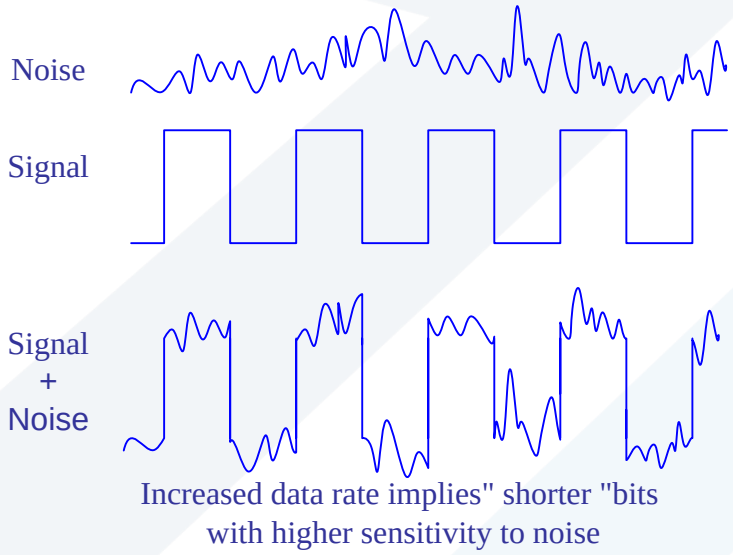
من المفترض أنه وبغياب أية إشارات من وسط الإرسال فإن الوسط من الناحية المثالية سيكون خالٍ من أية إشارات أخرى. ولكن الحقيقة من الناحية العملية هي غير ذلك فالوسط سيحوي إشارات عشوائية كما في الشكل (11). وهذه الإشارات هي الضجيج.

إن مصادر الضجيج متعددة ولكن يمكن تصنيفها ضمن أربعة أصناف وهي: الضجيج الحراري وضجيج التعديل التداخلي وضجيج التسميع والضجيج النبضي وسنقوم بشرح هذه الأنواع فيما يلي.

5.1 الضجيج الحراري

ويعود السبب في نشوء هذا النوع من الضجيج إلى التحريض الحراري للإلكترونات في الوسط الناقل مما يجعلها تتحرك حركة عشوائية ينتج عنها تيارات كهربائية عشوائية. وينشأ هذا النوع من الضجيج في النواقل الكهربائية وجميع الأجهزة والعناصر الإلكترونية بسبب اختلاف درجة الحرارة عن درجة الصفر المطلق.

يسمى هذا النوع من الضجيج بالضجيج الأبيض. وتأتي هذه التسمية لكون هذا الضجيج هو عبارة عن إشارات عشوائية يحتوي طيفها مركبات ترددية تغطي كامل الطيف الترددي المعروف بنفس الطريقة التي يغطي بها الضوء الأبيض كافة الطيف الضوئي المرئي. ومن أهم سيئات هذا النوع من الضجيج أنه لا يمكن إزالته وتخليص القناة منه.



الشكل (11): تمثيل الإشارات والضجيج في وسط النقل

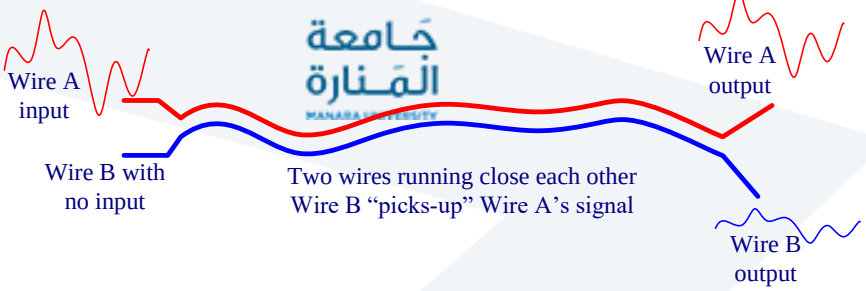
5.2 ضجيج التعديل التداخلي

ينتج ضجيج التعديل التداخلي عن التأثير المتبادل لإشارتين في الوسط إحداهما الإشارة التي نريد إرسالها. ويظهر هذا التأثير على شكل مزج للإشارتين ينتج عنه مركبات جديدة لها ترددات مساوية لمجموع وفرق الإشارتين. حيث إن مزج إشارتين بترددين f_1 و f_2 ينتج إشارات بتردد f_1+f_2 وبتردد f_2-f_1. وفي الحالات التي تكون فيها استطاعة الإشارات الجديدة محسوسة بالمقارنة مع الإشارات الأصلية فإنها تشكل عائقاً من العوائق في وسط الإرسال.

5.3 التسميع

وينتج هذا النوع عن كون مسار الإشارة المفيدة يجاور مسار إشارة أخرى حيث ينتج عن هذه الإشارة حقلاً كهرطيسياً يحرض في مسار الإشارة المفيدة تياراً كهربائياً متناسباً مع شدة الحقل. وبعبارة أخرى تحرض الإشارة المارة في أحد الناقلين إشارة في الناقل الآخر كما هو مبين في الشكل 12. وهذه الإشارة تكون معيقة للإشارة الموجودة في هذا الناقل أصلاً.

في كثير من الحالات يمكن لمستخدمي شبكة الهاتف التقليدية أن يستمع إلى مكالمة هاتفية أخرى في نفس الوقت الذي يجري فيه مكالمته بنتيجة هذا التأثير تزداد هذه الظاهرة وضوحاً كلما كانت المسافة التي يتجاور فيها الناقلين أطول وكلما كانت فعالية تحجيب الناقلين وعزلهما كهرطيسياً أقل. كما يمكن لظاهرة التسميع أن تنتج في قنوات التجميع نتيجة تداخل أطياف الإشارات الجزئية في القناة الواحدة.



الشكل (12): ضجيج التسميع

5.4 الضجيج النبضي

ينتج هذا الضجيج عن تأثير تشغيل الآلات الكهربائية ومحركات الآليات الميكانيكية وتشغيل أجهزة الاتصالات أحياناً. حيث ينتج عن تبديل مستويات الطاقة وتوزيعها حالات وصل وفصل للتيار الكهربائي بما يؤدي إلى حالات عابرة في مستوى الجهد والتيار تكون على شكل نبضة ضيقة في المنتصف وتتناقص قيمتها بشكل سريع. ومن المعروف أنه كلما ضاقت الإشارة في المجال الزمني يزداد عرضها في المجال الترددي. وهذا يعني أن المركبات الترددية لهذه النبضات الضيقة يمتد ترددياً بشكل واسع ليشمل كامل المجال الترددي المستخدم في تراسل المعطيات. لتشكل ضرراً قد يؤدي إلى فقد المعطيات في مجال محدد من الإشارة المفيدة. ويؤثر هذا النوع من الضجيج على تراسل المعطيات الرقمية أكثر بكثير مما يؤثر على إرسال الإشارات التمثيلية. فعلى سبيل المثال قد ينتج عن نبضة تمتد لفترة 0.01 sec تأثير لا يذكر على الإشارات الهاتفية، في حين أنه قد يؤدي إلى ضياع 96 بيت من المعطيات الرقمية التي يتم إرسالها بمعدل 9600 bps.

يستدعي وجود الضجيج في قنوات الاتصال استخدام مضخمات الإشارة أو مكررات الإشارة للتقليل من تأثيره أو حذف هذا التأثير.

فالمضخمات هي أجهزة تمثيلية تقوم بتضخيم مستوى الإشارة ولكنه في نفس الوقت يقوم بتضخيم مستوى إشارة الضجيج المرافقة.

أما المكررات فهي أجهزة رقمية تقوم باستعادة الإشارة المرسلة الأصلية ومن ثم بث هذه الإشارة إلى مسافة جديدة.

6 خصائص قنوات المعطيات

يتم توصيف قنوات المعطيات وتحديد خصائصها من خلال سعتها وعرض الحزمة المتوفر ومعدل الإرسال ونسبة الإشارة إلى الضجيج واحتمال الخطأ والمردود.

6.1 سعة القناة *Channel Capacity*

والسعة هي معدل الإرسال الأعلى الذي يمكن استخدامه ضمن هذه القناة. وفي حال كون القناة مثالية أي خالية من الضجيج فإن معدل الإرسال الأعلى يعتمد على عرض حزمة القناة وعلى مستوى الترميز المستخدم وفق العلاقة التالية التي تسمى علاقة نايكويست:

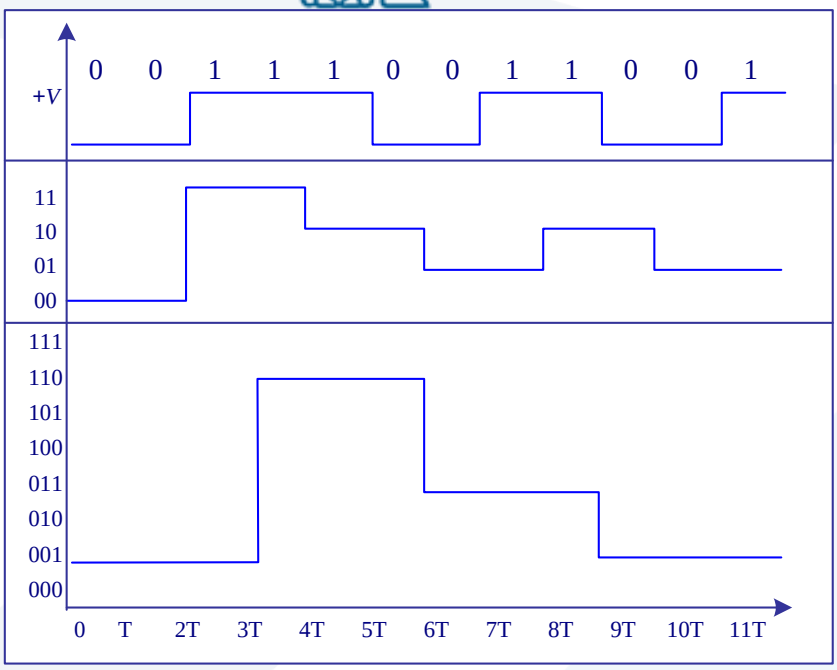
$$C = 2W \log_2 M$$

حيث:

C هي سعة القناة بالبيت في الثانية bps.

W هي عرض الحزمة بالهرتز

M عدد مستويات الترميز المستخدمة



الشكل (13): الترميز ثنائي ورباعي وثماني المستويات

مثال:

تستطيع قناة بعرض حزمة 5 KHz وباستخدام ترميز ثنائي المستوى نقل 10.000 bps

كما تستطيع نفس القناة نقل 20.000 bps باستخدام الترميز رباعي المستويات

في حين تستطيع هذه القناة نقل 30.000 bps باستخدام الترميز ثماني المستويات.

تختلف سعة القناة المثالية أي بغياب الضجيج عن سعة القناة العملية أي بوجود الضجيج التي يمكن حسابها باستخدام علاقة شانون والتي توضح أن سعة القناة مرتبطة بعاملين:

1. عرض الحزمة المتوفر أي معدل الإرسال الممكن
2. نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR وهو نسبة استطاعة الإشارة إلى نسبة استطاعة الضجيج الموجود في القناة.

تقاس نسبة الإشارة إلى الضجيج على دخل المستقبل حيث يجب التخلص من الضجيج وتقدر بالديسيبل، ويمكن التعبير عنها بالغلاقة التالية:

$$SNR= 10 \log (S/N) \text{ [dB]}$$

حيث S هي استطاعة الإشارة و N استطاعة الضجيج

يمكن حساب سعة القناة وفق علاقة شانون على الشكل التالي:

$$C = 2W \log_2 (1+ S/N)$$

حيث:

S هي استطاعة الإشارة بالوات W

N هي استطاعة الضجيج بالوات W

W عرض الحزمة بالهرتز Hz

تقوم علاقة شانون بحساب السعة النظرية فقط ، ولكن السعة العملية تكون أقل من ذلك والسبب يعود إلى أن علاقة شانون لاتأخذ بالحسبان إلا الضجيج الحراري.

6.2 المردود

يقاس مردود إرسال القناة في أنظمة تراسل المعطيات بنسبة سعة القناة مقدرة بالـ bps إلى عرض حزمة القناة مقاساً بالـ Hz.

مثال:

من أجل خط هاتفي واعتبار تأثير الضجيج الحراري فقط، وعرض الحزمة كما ذكرنا سابقاً 3100 Hz و نسبة إشارة إلى الضجيج SNR = 30 dB يكون:

SNR = 10 log 10 (S/N)

30 = 10 log 10 (S/N)

S/N = 1000

وتكون سعة الخط:

Capacity = 3100 log 2 (1 + 1000)

= 30,894 bps

ويكون مردود الخط:

Line efficiency = C / W = 30,894/3100 = 9.966 bps/hertz.

ومن أجل نجاح عملية التراسل لابد من توفر مستوى عال من التزامن والمواقته بين الطرف المرسل والطرف المستقبل بحيث يستطيع الطرف المستقبل زمن بداية كل بيت يتم إرسالها.

6.3 معدل الإرسال

6.3.1 معدل التعديل (معدل بود)

وهو معدل إرسال الدارة حيث يعتبر عدد المرات التي تتغير فيها الإشارة بالمطال أو التردد أو الطور. فإن تغير التردد 1000 مرة نقول إن معدل بود هو 1000 أو أن معدل الإرسال هو 1000 Baud.

6.3.1 معدل الدارة (معدل التشوير)

وهو عدد البيتات التي تستطيع الدارة أو القناة تمريرها في واحدة الزمن ويتم قياسها بالبيت في واحدة الزمن bps. ومعدل الإرسال هذا يختلف عن معدل بود في الحالة العامة. ويكون المعدلان متساويين عندما يتم تمثيل البيت بإشارة واحدة. يمكن في الحالة العامة أن تمثل الإشارة الواحدة أو الرمز الواحد أكثر من بيت. وفي هذه الحالة يمكن أن يكون معدل إرسال البيت 2400 Buad ويتم إرسال 2400 أو 4800 أو 7200 أو 9600 بيت في الثانية.

البود هو عدد الرموز التي يتم إرسالها في واحدة الزمن وهو يعبر عن سرعة إشارة الحامل.

يعبر معدل إرسال البيت عن عدد البيتات التي يمكن إرسالها في واحدة الزمن حيث يمكن لكل رمز أن يحمل بيت واحد أو أكثر وفي بعض الأحيان أقل وذلك حسب التعديل المستخدم.

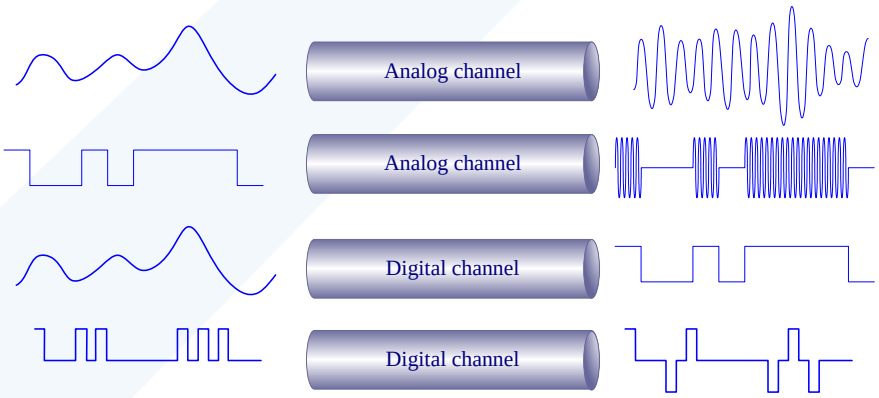
6.4 معدل خطأ البيت

ويعتبر معدل خطأ البيت من أهم مقاييس أداء أنظمة الاتصالات. يختلف عدد البيتات التي تتضرر بسبب معيقات التراسل من نظام إلى آخر ومن وقت إلى آخر. لذلك نعبر عن معدل الخطأ باحتمالية الخطأ. فعندما يكون معدل الخطأ باحتمال 2.10^{-6} فإن احتمال ورود الخطأ في كل 10^6 بيت هو 2 بيت فقط. هذا لا يعني بالضرورة أن هناك 2 بيت فقط أو بالضرورة في كل مليون بيت. فقد يكون أقل أو أكثر ولكن متوسط الأخطاء الممكنة الحدوث هو 2 بيت في كل مليون بيت.

6.5 قنوات إرسال المعطيات

يمكن أن تكون الإشارات التي تستخدم لنقل المعطيات من نقطة إلى أخرى تمثيلية أو رقمية. كما أنه من الممكن التحويل بين أنواع الإشارات من تمثيلية إلى رقمية أو من رقمية إلى تمثيلية دون فقد للمعلومات التي تحملها. ويمكن تصور التركيبات التالية الممكنة للإشارات والقنوات كما هو مبين في الشكل (14) وكل منها تمثل إحدى الحالات الممكنة في مجال تراسل المعطيات وهي كما يلي:

- الإرسال الرقمي للمعطيات الرقمية
- الإرسال التمثيلي للمعطيات الرقمية
- الإرسال الرقمي للإشارات التمثيلية
- الإرسال التمثيلي للإشارات التمثيلية



الشكل (14): القنوات التمثيلية والرقمية