بسم الله الرحمن الرحيم

جامعة السّودان المفتوحة

برنامج الحاسوب وتقنية المعلومات

تراسل البيانات

رمز المقرر ورقمه: حسب 2042

تأليف:

د. محمد علي حمد عباس

التحكيم العلمـــي ◄◄ د. أبو بكر الصديق ميرغني

التصميم التعليمي ◄◄ د. عبد الباسط محمد شرف

التنضيد الطباعي والتصميم الفني ◄◄ وفاء محمد موسى

منشورات جامعة السودان المفتوحة الطبعة الأولي 2007م

جميع الحقوق محفوظة لجامعة السودان المفتوحة، لا يجوز إعادة إنتاج أيّ جزء من هذا الكتاب، وبأيّ وجه من الوجوه، إلاّ بعد الموافقة المكتوبة من الجامعة.

مقدمة المقرر

الحمد لله الذي بفضله تتم الصالحات ثم الصلاة والسلام على نبي الهدى المبعوث رحمة للعالمين وعلى آله وصحبه أجمعين .

يمثل هذا الكتاب مدخلاً لطرق ونظم تراسل البيانات. يطلق مصطلح تراسل البيانات على عملية تبادل البيانات بين طرفين وتشمل هذه العملية الجوانب المتعلقة بالإرسال والربط البيني والتحكم في الوصلة وفي عملية تبادل البيانات مثل انسيابها وتصحيح الأخطاء التي تعتريها وخلط الإشارات.

والفئة المستهدفة بهذا الكتاب هم دارسو علوم وتقانات الحاسوب في المقام الأول إلا أن فئات أخرى مثل دارسي الإلكترونيات والاتصالات يمكن أيضاً أن يجدوا هذا الكتاب مفيداً. وقد تُوخِيَ في هذا الكتاب البساطة وعدم اللجوء للرياضيات المعقدة من غير اختزال للتحليلات الضرورية ما أمكن ذلك.

عزيزي الدارس ،،

يشتمل هذا الكتاب على ستة وحدات ...

تمثل الوحدة الأولى مدخلاً للتعريف بنظم إرسال البيانات. وتتطرق لتعريف المعلومات والبيانات وللمفاهيم الأساسية المتعلقة بعملية الاتصال وما يعتريها من مشاكل ناتجة عن الضجيج والتشوه وغيرهما من المؤثِّرات.

تعرض الوحدة الثانية أنواع الوسائط الفيزيائية المستخدمة في نقل البيانات مثل الكوابل وموجهات الموجة، وتوضح خصائصها المختلفة مثل التوهين ومعدلات الإرسال المناسبة لاستخدام كل منها.

تصنف الوحدة الثالثة الإشارات إلى أنواعها المختلفة مثل الإشارة الجيبية والدورية والعابرة والعشوائية وتوضح خواصها الطيفية. كما يوضح أهمية الإشارة الجيبية ومتسلسلة التي تستخدم لتركيب الإشارة الدورية من الإشارات الجيبية ومتحول فورير الذي يستخدم في تحليل الإشارات عموماً والإشارات العابرة خاصة.

تشرح الوحدة الرابعة طرائق الترميز المختلفة التي تستخدم لمواءمة الإشارة مع الوسط الناقل وكذلك لتحصين الإشارة ضد الأخطاء ولتأمينها. كما تشرح طرق خلط الإشارات التي تساعد في الإستفادة من الوسط الناقل بكفاءة عالية.

تعطي الوحدة الخامسة شرحاً للربط بين الأطراف المتخاطبة بالوصل المباشر أو عبر الشبكات ولاستخدام المواديم في هذا الربط كأداة ربط بين الأجهزة الطرفية والوسط الناقل. كما نجد وصفاً لدارات تبادل الإشارات بين واجهات الربط والمواديم حسب مواصفات القياسية العالمية V24.

تغطي الوحدة السادسة بروتوكولات تراسل البيانات المختلفة، وتفصل نموذج ربط النظم المفتوح (OSI model)، وطريقة الاتصال المبنية على متراصَّة البروتوكولات المستخدمة لتحقيق عملية الاتصال.

الأهداف العامة للمقرر



بعد فراغك من دراسة هذا المقرر ينبغي أن تكون قادرا علي أن:

- **تعرف** المعلومات والبيانات.
- **تشرح** مهمة تراسل البيانات.
- **تشرح** كيف تستخدم الأسلاك لنقل التيارات الكهربائية الممثلـــة للبيانات والمعلومات بين طرفين .
- **تعدد** أنواع الإشارات الكهربائية .
- **تذكر** الأغراض التي تتحقق من العمليات التي على البيانات.
- **تعدد** طرق ترميز الخط.
- **تشرح** بالرسم طريقة الإرسال غير المتزامن.
- **تصف** طبيعة الإرسال المتزامن.
- **تعدد** مطلوبات ضمان وصول البيانات.
- **تصف** كيف تتحقق عملية الاتصال.

وختاما نرجوا أن نكون قد وفقنا في تقديم إضافة جديدة لمكتبة جامعة السودان المفتوحة من خلال هذا الكتاب ونسأل الله تعالى أن ينتفع الجميع بهذا العمل .

اشتملت هذه الوحدات على عدد من أسئلة التقويم الذاتي والتدريبات التي وضعت لتساعدك في إثراء معلوماتك وتعزيز ما تتعلمه وتقيم درجة فهمك واستيعابك للمفاهيم والمعلومات والأفكار التي وردت في هذا الكتاب .

ونحن نرحب بكل نقد بناء يسهم في تطوير هذا العمل إلى الصورة الأفضل ، والله نسأل الأجر والثواب .

و فيما يلي قائمه بعناوين الوحدات الواردة في هذا المقرر مع أرقام صفحاتها .

محتويات المقرر

رقم الوحدة	اسم الوحدة	الصفحة
الوحدة الأولى	مفاهيم أساسية	**1**
الوحدة الثانية	وسائط إرسال البيانات	**17**
الوحدة الثالثة	الإشارات الكهربائية والموجات	**39**
الوحدة الرابعة	ترميز البيانات وخلطها	**63**
الوحدة الخامسة	الربط في طرق تراسل البيانات – الطبقة المادية	**105**
الوحدة السادسة	تراسل البيانات والتحكم في انسيابها	**127**


الوحدة الأولى
مفاهيم أساسية

محتويات الوحدة

الموضـــــوع	الصفحة
المقدمة	**3**
تمهيد	3
أهداف الوحدة	3
1. المعلومات وتمثيل البيانات	**5**
1.1 تمثيل البيانات	5
2. نظم تراسل البيانات	**7**
3. التشوه الخلقي والاضمحلال	**9**
1.3 الضجيج	11
2.3 معالجات	12
الخلاصة	**13**
لمحة مسبقة عن الوحدة التالية	**14**
إجابات التدريبات	**15**
مسرد المصطلحات	**16**

المقدمة

تمهيد

عزيزي الدارس،،

مرحباً بك في الوحدة الأولى من مقرر " تراسل البيانات" والتي تمثل مدخلا للتعريف بنظم إرسال البيانات حيث يتناول القسم الأول من هذه الوحدة المعلومات وتمثيل البيانات في هذا القسم سنقدم تعريف عام لمصطلح المعلومات والبيانات ، وفي جزئية أخرى من القسم وهى تمثيل البيانات حيث تمثل البيانات والمعلومات في مصدرها الأصلي بالأحرف والأرقام والإشارات المُمَثلة بمجموعات من النبضات الكهربائية ثنائية الاتساع. في القسم الثاني من الوحدة يبحث في مهمة نظم تراسل البيانات الأساسية وهو تبادل البيانات بين طرفين.

القسم الثالث يتناول التشوه الخطي والاضمحلال حيث يبين القسم أن لكل نظام إرسال خاص تؤثر على الإشارة المرسلة ويعتمد هذه التأثير على تردد الإشارة ، وسوف نتعرف في هذا القسم أيضاً على التشوه الخطي والتشوه غير الخطي. ويتناول القسم تأثيرا أخرى في حالة الإرسال اللاسلكي بالإضافة للتأثيرات المذكورة سابقاً ، ومن هذه التأثيرات ما يعرف بالاضمحلال أي خفوت الإشارة.

أهداف الوحدة



بعد فراغك من دراسة هذه الوحدة ينبغي أن تكون قادرا علي أن:

- **تعرف** المعلومات والبيانات.
- **تشرح** مهمة تراسل البيانات.
- **تصف** كيف يحدث التشوه الخطي وتعدد أنواعه.
- **تصف** كيف يحدث الاضمحلال في الإرسال اللاسلكي.

توطئة

جُبل الإنسان على أن يألف الآخرين ويتواصل معهم ويتبادل معهم الأفكار والآراء. كما أن المصالح والعلاقات التجارية والتداخل بين بني البشر يتطلب الاتصال وتبادل البيانات والمعلومات (data and information exchange) بصورها المختلفة. هذا التواصل يحدث في الغالب بالتحدث المباشر عندما يكون الأفراد مجتمعين أو باستخدام وسائل الكتابة والنشر أو وسائل الاتصال الإلكتروني عن بعد (electronic telecommunication).

في كل الأحوال نجد أحد المتخاطِبَين مصدراً للمعلومات (information source) والآخر متلقياً (recipient) لهذه المعلومات، كما نجد بالضرورة وسطاً (medium) عبره تنقل المعلومات في صورة من الصور من المصدر إلى المتلقي.قد يكون ذلك الوسط الهواء الذي ينتقل فيه الحديث في شكل موجات صوتية (acoustic waves) من طرف لآخر، أو المنشورات التي تنقل بواسطتها المعلومات نصاً (text) أو رسماً (graphic) عن طريق البريد التقليدي، أو شبكات الاتصالات (telecommunication networks) التي يتم عن طريقها تبادل البيانات والمعلومات إلكترونياً (electronic exchange of data and information)، أنظر الشكل(1-1).



الشكل(1-1): مخطط عام لنظام اتصال

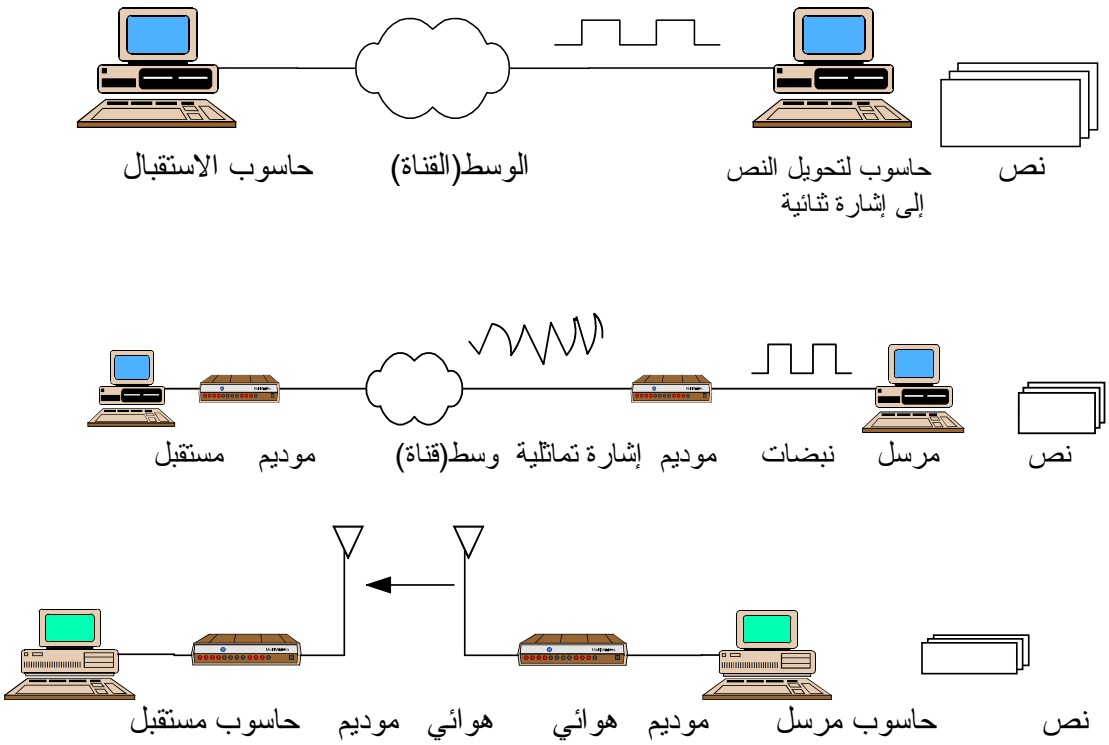
1. المعلومات وتمثيل البيانات

التعريف العام لمصطلح المعلومات هو كل ما يحمل معنىً أو فكرة أو مفهوماً يضاف إلى علم متلقِّي هذه المعلومات. أما تعريف مهندس الاتصالات الخاص لهذا المصطلح فهو كل إشارة (signal) مهيأة بصورة منتظمة (organized) يتم تبادلها بين طرفين. وفي كثير من الأحيان يستخدم المعنيان العام والخاص متلازمين وتبادلياً. كما يمكن تعريف مصطلح البيانات بأنها كل تمثيل (representation) بالأرقام والحروف أو أي رموز أو أشكال أخرى تحمل معانٍ محددة.

ويمكن استخدام وسائل الاتصالات من شبكات وغيرها لنقل المعلومات والبيانات بين الحواسيب (computers) والطرفيات (terminals) الموصولة بها.

1.1 تمثيل البيانات

يتم بواسطة شبكات الحاسوب (computer networks) تبادل البيانات والمعلومات بين الحواسيب الموصولة بهذه الشبكات. إن التراسل بين الماكينات ليس جديداً ولكنه قديم قدم الاتصالات الإلكترونية وقد بدأ بنظم التلغراف (telegraphy systems) ومر بمراحل تطور عديدة حتى وصل إلى صورته الحالية، ومن المنظور أن يستمر في هذا التطور المطرد. وتُمثَّل هذه البيانات والمعلومات في مصدرها الأصلي بالأحرف (letters) والأرقام (numbers) والإشارات الـمُمَثلة (represented) بمجموعات من النبضات الكهربائية ثنائية الاتساع (binary electric pulses) كما يتم تبادلها بين الحواسيب وبين أجزاء الحواسيب باستخدام هذه النبضات. وتُنقَل هذه النبضات بواسطة الإشارات الكهربائية الحاملة لها داخل الأسلاك (wires) والكوابل (cables) وبالموجات الكهرومغناطيسية (electromagnetic waves) عبر الفضاء، أنظر الشكل(1-2).



الشـــكل(1-2): لإرسال نص من حاسوب لآخر يتم إدخال النص عن طريق لوحة المفاتيح إلى الحاسوب الذي يرسله عبر القناة إلى الحاسوب الآخر في صورة نبضات كهربائية أو كهرومغناطيسية.

يُمثَّل كل حرف ورقم ورمز (symbol) في معظم النظم بثمانية من النبضات الثنائية أي بايت (byte)، تعطي عدد 256 من المجموعات المختلفة التي يمكن أن تستخدم لتمثيل الحروف والأرقام والرموز الخاصة لأغراض التحكم بالإرسال وتخزين وتبادل البيانات المكونة منها وفتح وإغلاق الأجهزة الموصولة بخط الإرسال. ولتسهيل عمليات تخزين واسترجاع المعلومات (information retrieval) وإرسالها تستخدم أطقم شفرة قياسية (sets of standard code) مثل شفرة التبادل الموسَّعة العشرية المشفرة ثنائياً (EBCDIC) التي تستخدم في النظم الكبيرة والشفرة القياسية الأمريكية لتبادل المعلومات (ASCII) المستخدمة في الحواسيب المتوسطة (minicomputers)

والحواسيب الشخصية (personal computers). هنالك أيضاً نظم قياسية لتمثيل البيانات الرقمية(standard systems for digital data representation) باستخدام الفاصلة العشرية الثابتة (fixed point) والفاصلة العشرية العائمة (floating point). كل ذلك ضروري لتحقيق عمليات تبادل المعلومات بين النظم المختلفة سواءً كانت موصولة بشبكة حيث يتم التبادل لحظياً أو غير موصولة حيث تنقل البيانات من نظام لآخر بواسطة وسائط التخزين (storage media) من أقراص (discs) واسطوانات (compact discs) وأشرطة (tapes) وغيرها.

وتشمل البيانات ليس فقط الرسائل والملفات النصية (text messages and files) والصور الثابتة (static images) ولكن أيضاً الحديث (speech) والصور المتحركة (moving pictures) إذ لم يعُد هنالك فارق أساسي بينها جميعاً بعد أن أصبحت كلها تُمثَّل بنبضات ثنائية.

2. نظم تراسل البيانات

نظام تراسل البيانات هو منظومة الأدوات والمفاهيم والخدمات التي تمكن من وصل نظم الحاسوب الممثلة في مصادر ومعالِـجات (processors) وناقلات البيانات بعضها مع البعض الآخر. يمكن أن يكون الوصل بحيث يجعل نظاماً زبوناً (client) لنظام آخر هو المخدِّم (server) كما في حالة العلاقة بين حاسوب ومطراف، أو يكون الوصل وصل نظراء (peer-to-peer connection) دون إحداث علاقة متحكم وتابع (master-slave relationship).

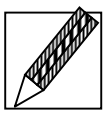
مهمة نظم تراسل البيانات الأساسية هو تبادل البيانات بين طرفين. ويشمل تبادل البيانات نقل البيانات إلكترونياً من طرف لآخر بالإضافة إلى مهام ضبط وفحص المعلومات (control and checking of information) ومعالجة نقلها في شبكات الحاسوب المكونة من الدوائر والشبكات الضرورية لنقل البيانات، والعتاد الصلب (hardware) والعتاد المرن (software) المطلوبين لدعم وظائف تراسل البيانات.

وتشمل هذه المهام أيضاً إجراءات كشف وتصحيح الأخطاء (error detection and correction). ويتم كل ذلك حسب معايير (standards) وصل أجهزة المستخدمين مع شبكة الإرسال، والقواعد والبروتوكولات (rules and protocols) التي تحقق التبادل المنظم للمعلومات.

إذا كان ممكناً لكلا الطرفين أن يرسلا ويستقبلا في ذات الوقت يُسمَّى هذا النوع من التراسل بالتراسل المزدوج (duplex transmission) أي في الاتجاهين معاً في نفس الآن . أما إذا كان من الممكن للطرفين أن يرسلا ويستقبلا ولكن ليس في آن واحد بل لأيٍ من الطرفين أن يرسل فقط ويكون الطرف الآخر مستقبلاً فقط، أي كلاهما يرسل ويستقبل بالتناوب، يسمى هذا النوع من التراسل بالتراسل شبه المزدوج (half-duplex transmission) أي في اتجاهٍ واحد ثم في الاتجاه الآخر بالتناوب. أما إذا كان الإرسال دائماً في اتجاه واحد فيسمى الإرسال البسيط (simplex transmission).

حيث يرسل أحد الطرفين بيانات للطرف الآخر الذي يستقبل هذه البيانات المرسلة. تمر البيانات المرسلة عبر القناة التي تصل الطرف المرسل بالطرف المستقبل. تُستقبَل البيانات المرسلة مشوهة (distorted) نتيجة لمرورها في نظام الإرسال الذي يشكلها حسب خواص نقله (transmission characteristics) التي من الممكن أن تؤثر على الإشارات ولما يضيف إليها من ضجيج (noise).

تدريب (1)



ارسم مخططاً مبسطاً لنظام تراسل بيانات؟

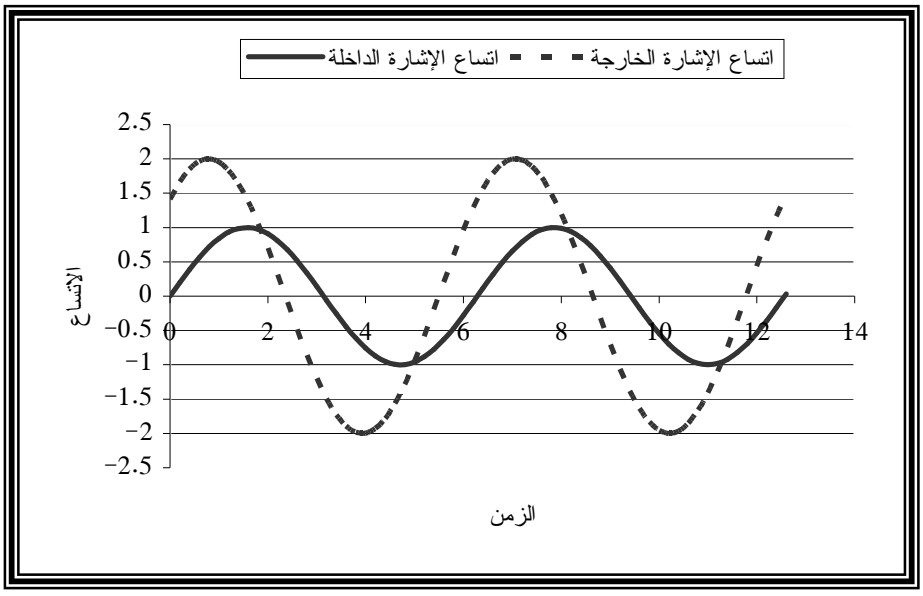
أسئلة تقويم ذاتي



ما هي مهمة نظم تراسل البيانات الأساسية؟

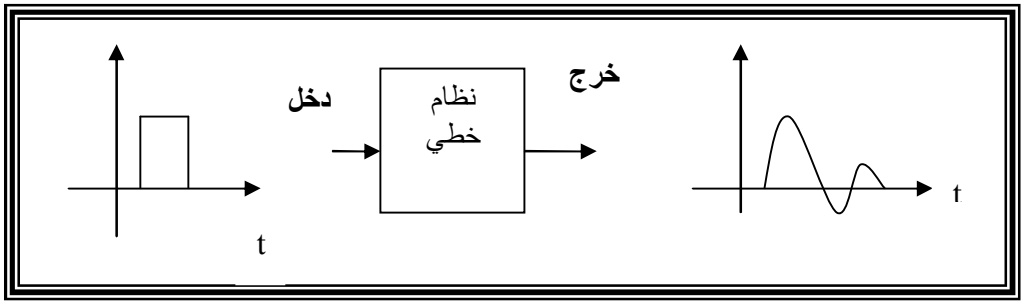
3. التشوه الخطي والاضمحلال

لكل نظام إرسال خواص تؤثر على الإشارة المرسلة ويعتمد هذا التأثير أيضاً على تردد الإشارة. مثلاً إذا أدخلت إشارة جيبية صادرة من مصدرها إلى دارة مكونة من أدوات إلكترونية مثل الترانزستورات والمقاومات والمكثفات وغيرها فإن هذه الإشارة تظهر عند مخرج الدارة الإلكترونية وقد تغير اتساعها وطورها مقارنة بالاتساع والطور عند المدخل كما موضح في الشكل(1-3)، وذلك بافتراض استجابة خطية للدارة ويسمى هذا لتشوه بالتشوه الخطي (linear distortion). أما إذ كانت استجابة الدارة غير خطية فمن المتوقع حدوث تشوه من نوع آخر هو التشوه غير الخطي (non-linear distortion)، وعندئذٍ يمكن أن تظهر عند مخرج الدارة، بالإضافة للمكون الأساسي (fundamental component) عند تردد الإشارة الداخلة، مكونات أخرى عند توافقيات (harmonics) التردد الأساسي (fundamental frequency) تسمى توافقيات الإشارة (signal harmonics).



الشكل(1−3): إشارة جيبية أدخلت إلى دارة خطية وخرجت منها بإزاحة في الطور وزيادة في الاتساع

فخط النقل الذي يصل المرسل بالمستقبل له تأثير على الإشارة المرسلة مشابه للتأثير الذي سبق ذكره متصلاً بالدارة الخطية. وإذا كان عرض نطاق القناة أصغر نسبياً لما هو مطلوب لإرسال محتويات الإشارة قد تتأثر الإشارة بما يعرف بتشتيت الإشارة (signal dispersion) أي تمدد الإشارة وهي خارجة من القناة في مدى زمني أكبر من مداها الزمني الأصلي وهي داخلة إلى القناة، أنظر الشكل(1−4). إذا حدث ذلك لإشارة مكونة من نبضات ثنائية كل نبضة منها أصلاً توجد في مدى زمني محدد فإن ذلك يؤدي إلى ما يعرف بالتداخل بين الرموز أي النبضات (intersymbol interference, ISI) الذي يسبب الأخطاء عند محاولة كشف هذه الرموز عند الاستقبال.



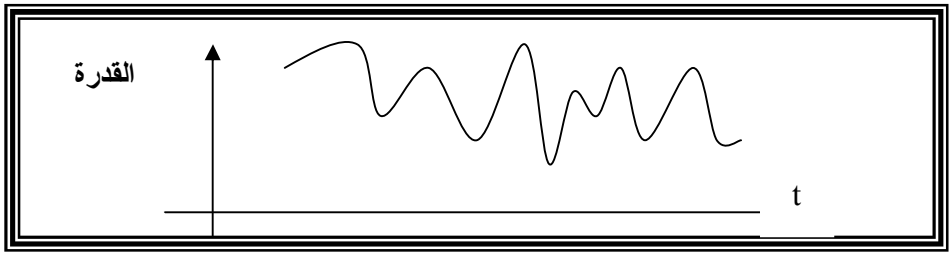
الشكل(1−4):تمدد النبضة بعد مرورها في نظام خطي ضيق النطاق

قد تظهر تأثيرات أخرى في حالة الإرسال اللاسلكي بالإضافة للتأثيرات المذكورة سابقاً. ومن هذه التأثيرات ما يعرف باضمحلال أي خفوت الإشارة (signal fading) الذي قد يحدث نتيجة لتعدد المسارات التي تصل عليها الإشارة المرسلة إلى المستقبل أي وصول الإشارة إلى المستقبل عبر أكثر من مسار وفي هذه الحالة نتحدث عن اضمحلال الإشارة لتعدد المسارات (multipath fading). مثلاً إذا كانت المسارات مسارين والفرق بين مسافتي هذين المسارين Δd والإشارة المرسلة هي $\cos\omega t$ فإن الإشارة المستقبلة تكون:

$$r(t) = a\cos(\omega(t-\frac{d}{c})) + b\cos(\omega(t-\frac{d}{c}-\frac{\Delta d}{c})) = a\cos\theta + b\cos(\theta-\phi) \quad \cdots\cdots\cdots \quad (1.1)$$

حيث d هي مسافة أحد المسارين و (d+ Δd) مسافة المسار الآخر. وتمثل ϕ ما يعرف بفرق الطور (phase difference) بين إشارتي المسارين المستقبلتين. نلاحظ أنه إذا كان فرق الطور يساوي 180 درجة أو قريباً من ذلك يؤدي ذلك إلى اضمحلال الإشارة التي تستقبل عندئذٍ باتساع يساوي الفرق بين اتساعي إشارتي المسارين المستقبلتين (a~b) أو قريباً من ذلك. ويساوي اتساع الإشارة المستقبلة صفراً أو قريباً من ذلك عندما يكون اتساعا إشارتي المسارين متساويين.

عادة يكون فرق الطور متغيراً مع الوقت بصورة عشوائية وأحياناً أيضاً يكون كل من اتساعي إشارتي المسارين متغيراً إلى حدٍ ما وأحياناً يتغير المساران أيضاً. ولذلك نجد الإشارة المستقبلة ذات اتساع متغير بصورة عشوائية: أحياناً تتضمحل وأحياناً أخرى تقوى، أنظر الشكل(1-5).



الشكل(1-5):إشارة في حالة اضمحلال

1.3 الضجيج

أما الضجيج الذي يضاف إلى الإشارة فهو كل إشارة تستقبل مع الإشارة المرسلة، ما لم تكن إرسالاً آخر إذ في هذه الحالة يسمى تداخلاً (interference) وهو له نفس تأثير الضجيج على الإشارة. فهذا الضجيج المضاف يحدث تشوهاً في الإشارة يؤدي إلى إضعاف قدرة المستقبل على تمييز هذه الإشارة وبذا يزيد من معدل الأخطاء. ومصادر الضجيج عديدة منها مصادر تعرف بالمصادر الطبيعية وأخرى يطلق عليها المصادر المصنوعة بالرغم من أن عمليات صدور الضجيج في كلا الحالتين تحدث بصورة

طبيعية دون تدخل الإنسان إلا أن المصادر المصنوعة هي بعض الأجهزة والمعدات التي يصنعها الإنسان.

2.3 معالَجات

من الملاحظ أن كل التأثيرات السابقة تمثل آثاراً سالبة على عملية استقبال الإشارة إذ تؤدي إلى إضعافها، وتنعكس بعض من هذه الآثار السالبة في زيادة معدل الأخطاء عند كشف الإشارة المستقبلة. وبالتالي تستخدم كثير من المعالَجات والإجراءات لتقليل هذه الآثار. من هذه المعالَجات على سبيل المثال لا الحصر اختيار دالة نقل (transfer function) القناة المناسِبة لمُعدّل الإرسال المستخدَم وكذلك المعادِلات (equalizers) لتقليل تشتيت الإشارة، واستخدام مستقبل المِرشاح المُواءَم (matched-filter receiver) لتقليل أثر الضجيج على الإشارة المستقبلة، واستخدام نظم التباين (diversity systems) لتقليل أثر الاضمحلال ومستقبل الريك (أي المِدَمَّة) (RAKE receiver) الذي يستغل تعدد المسارات عند استقبال الإشارة لتعزيز (for enhancement of) هذه الإشارة لتقليل الأخطاء عند كشفها.

أسئلة تقويم ذاتي

1. اذكر بعض من مصادر الضجيج؟
2. اذكر بعض من المعالجات والإجراءات لتقليل الآثار السالبة في زيادة معدل الأخطاء عند كشف الإشارة المستقبلة؟

الخلاصة

تعتبر هذه الوحدة مدخلاً للتعريف بنظم إرسال البيانات حيث عرفت المعلومات بأنها كل إشارة مهيأة بصورة منتظمة يتم تبادلها بين طرفين.

وضحت الوحدة كيف يتم تمثيل البيانات والمعلومات في مصدرها الأصلي وذلك بوساطة الأحرف والأرقام والإشارات المُمَثلة بمجموعات من النبضات الكهربائية ثنائي الاتساع ، كما يتم تبادلها بين الحواسيب باستخدام هذه النبضات ، وتنتقل هذه النبضات بوساطة الإشارات الكهربائية الحاملة لها داخل الأسلاك والكوابل وبالموجات الكهرومغناطيسية عبر الفضاء.

عرفت الوحدة مهمة نظم تراسل البيانات الأساسية وهو تبادل البيانات بين طرفين، ويشمل تبادل البيانات نقل البيانات الكترونياً من طرف لأخر بالإضافة إلى مهام ضبط وفحص المعلومات ومعالجة نقلها في شبكات الحاسوب.

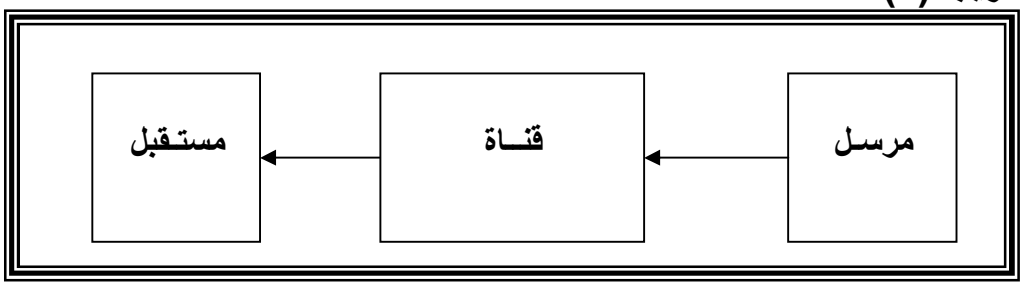
في قسم التشوه والاضمحلال بينت الوحدة أن لكل نظام إرسال خواص تؤثر على الإشارة المرسلة ويعتمد هذا التأثير على تردد الإشارة ، فمثلاً إذا كانت الإشارة الظاهرة عند مخرج الدارة الإلكترونية قد تغير اتساعها وطورها مقارنة بالاتساع والطور عند المدخل سمى هذا التشوه بالخطي . أما إذا كانت استجابة الدارة غير خطية فمن المتوقع حدوث تشوه من نوع أخر هو التشوه غير الخطي. أما الاضمحلال أي خفوت الإشارة الذي يحدث نتيجة لتعدد المسارات التي تصل إليها الإشارة المرسلة إلى المستقبل أي وصول الإشارة إلى المستقبل عبر أكثر من مسار.

لمحة مسبقة عن الوحدة التالية

تبحث الوحدة الثانية في وسائط إرسال البيانات وهي الناقل للبيانات والمعلومات بين شبكات الحواسيب من طرف لأخر وذلك بعد تشفيرها في شكل إشارات كهربائية . وتتناول الوحدة كيفية نقل البيانات والمعلومات بالتيارات الكهربائية سلكياً ، أو الموجات الكهرومغناطيسية لاسلكياً عبر الفضاء ، أو سلكياً بوساطة الألياف الضوئية وموجهات الموجات.

إجابات التدريبات

تدريب (1)



مخطط مبسط لنظام تراسل بيانات

مسرد المصطلحات

- **المعلومات**

تعريف مهندس الاتصالات الخاص لهذا المصطلح هو كل إشارة (signal) مهيأة بصورة منتظمة (organized) يتم تبادلها بين طرفين.

- **البيانات**

هي كل تمثيل (representation) بالأرقام والحروف أو أي رموز أو أشكال أخرى تحمل معانٍ محددة.

- **نظم تراسل البيانات**

نظام تراسل البيانات هو منظومة الأدوات والمفاهيم والخدمات التي تمكن من وصل نظم الحاسوب الممثلة في مصادر ومعالِـجات (processors) وناقلات البيانات بعضها مع البعض الآخر.

- **التشوه الخطي (linear distortion)**

الإشارة التي تظهر عند مخرج الدارة الإلكترونية وقد تغير اتساعها وطورها مقارنة بالاتساع والطور عند المدخل.

- **التداخل بين الرموز (intersymbol interference, ISI)**

تشتيت الإشارة (signal dispersion) أي تمدد الإشارة وهي خارجة من القناة في مدى زمني أكبر من مداها الزمني الأصلي وهي داخلة إلى القناة.


الوحدة الثانية
وسائط إرسال
البيانات

محتويات الوحدة

الموضـــــوع	الصفحة
المقدمة	**19**
تمهيد	19
أهداف الوحدة	19
1. الأسلاك	**20**
1.1 أزواج الأسلاك المتوازية	2
2.1 الكوابل المحورية	23
2. موجهات الموجة	**26**
1.2 الموجهات المعدنية	27
2.2 موجهات المواد العازلة	29
3. الإرسال اللاسلكي	**31**
الخلاصة	**34**
لمحة مسبقة عن الوحدة التالية	**35**
إجابات التدريبات	**36**
مسرد المصطلحات	**37**

المقدمة

تمهيد

عزيزي الدارس،،

مرحباً بك في الوحدة الثانية من مقرر " تراسل البيانات" والتي تبحث في وسائط إرسال البيانات ، القسم الأول من الوحدة يتناول الأسلاك وفيه سنتعرف على استخدام الأسلاك أزواجاً بالتوازي لنقل التيارات الكهربائية الممثلة للبيانات والمعلومات بين طرفين ، ويبحث القسم كذلك في كيفية استخدام الكوابل المحورية لنقل الإشارات ذات الترددات العالية.

القسم الثاني من الوحدة يبحث في موجهات الموجه حيث تسري الإشارة من المدخل إلى المخرج كموجات كهرومغناطيسية ، ويتناول القسم أيضاً صنفي موجهات الموجه وهي الموجهات المعدنية ، وموجهات المواد العازلة.

القسم الثالث يتطرق إلى للإرسال اللاسلكي حيث إمكانية الإرسال بدون أسلاك أو كوابل وفي اتجاهات متعددة وفي نفس اللحظة.

أهداف الوحدة

بعد فراغك من دراسة هذه الوحدة ينبغي أن تكون قادرا علي أن:

- **تشرح** كيف تستخدم الأسلاك لنقل التيارات الكهربائية الممثلة للبيانات والمعلومات بين طرفين .
- **تصف** مكونات الكوابل المحورية.
- **تشرح** كيف تعمل الموجهات المعدنية.
- **تعدد** أهم مزايا موجهات الموجه المعدنية من المواد العازلة.

توطئة

وسائط الإرسال هي الناقل للبيانات والمعلومات عبر شبكات الحواسيب من طرف لآخر وذلك بعد تشفيرها في شكل إشارات كهربائية. تحيل أجهزة إدخال البيانات مثل لوحة مفاتيح الحاسوب وماسح الوثائق والكاميرا وكرت الصوت وكرت الفيديو البيانات إلى نبضات كهربائية ثنائية الاتساع باستخدام الشفرات القياسية. وبالإضافة لذلك تشمل عمليات التشفير عمليات التشفير لكشف الأخطاء وتصحيحها، والتشفير لمواءمة الإشارات مع الوسط الناقل. وتقوم دوائر الربط البيني (مثل كروت الشبكات) في الحواسيب وكذلك أجهزة الموديم وبقية أجزاء المرسِلات بعمليات تضمين هذه النبضات في إشارات كهربائية تسمى الإشارات الحاملة وإرسالها سلكياً أو لاسلكياً عبر الشبكات. تُنقل البيانات والمعلومات بالتيارات الكهربائية سلكياً، أو بالموجات الكهرمغنطيسية لاسلكياً عبر الفضاء أو سلكياً بواسطة الألياف الضوئية وموجِّهات الموجات.

1. الأسلاك

كانت وما زالت الأسلاك المصنوعة من الموصلات الجيدة مثل النحاس من أهم وسائط نقل البيانات والمعلومات. تُستخدم الأسلاك أزواجاً بالتوازي لنقل التيارات الكهربائية الممثِلة للبيانات والمعلومات بين طرفين، أحد السِلكين يوفر مساراً للتيار في اتجاه والسِلك الثاني يوفر مساراً في الاتجاه المعاكس. يمكن وضع السِلكين جنباً إلى جنب لنحصل على ما اصطلح على تسميته زوج الأسلاك المتوازي، كما يمكن أن يوضع أحدهما داخل الآخر لنحصل على كبل محوري.

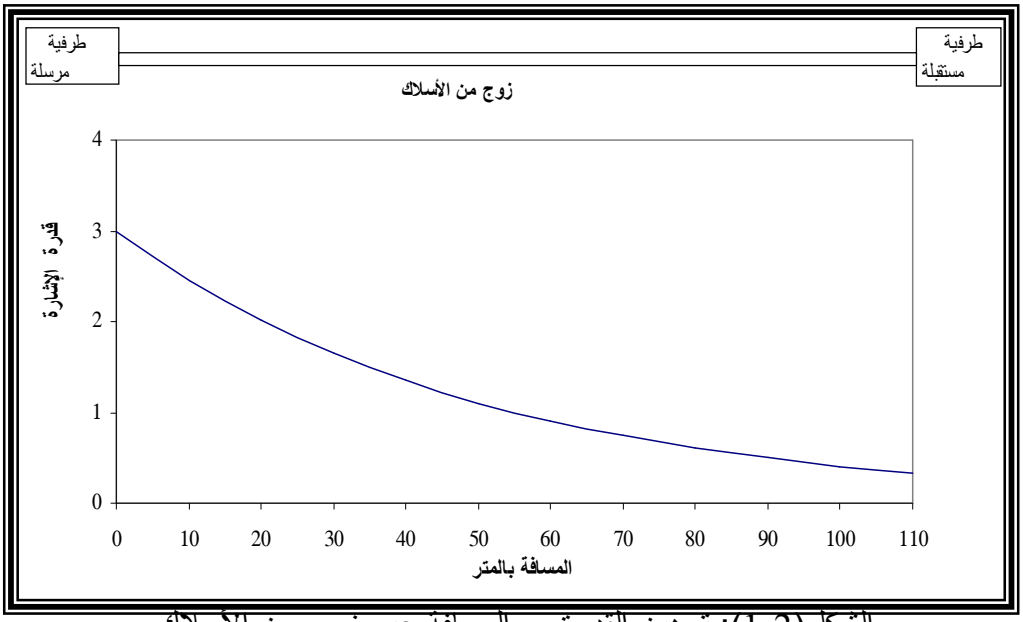
1.1 أزواج الأسلاك المتوازية

يمكن وصل طرفين بزوج من الأسلاك متوازيين مصنوعين من موصل جيد مثل معدن النحاس الذي استخدم منذ زمن طويل في نظم الاتصالات. تعني جودة التوصيل انخفاض المقاومة النوعية (ويرمز لها بالحرف ρ) للموصل أو بالمقابل ارتفاع

موصلية الموصل (ويرمز لها بالحرف σ). يعطي الجدول(2–1) قيم المقاومة النوعية والموصلية لبعض العناصر الهامة. لذا إذا أُدخلت إشارة كهربائية عند أحد الطرفين فإنها تصل الطرف الآخر وقد انخفضت قدرتها بمعامل يساوي $e^{-2\alpha l}$ حيث l هي المسافة بين الطرفين و α معامل يطلق عليه معامل التوهين أي إضعاف الإشارة ويتناسب طرداً مع المقاومة النوعية للموصل ويعتمد أيضاً على أبعاد مقاطع السِلكين وخواص المادة العازلة التي تفصل بين السِلكين وتردد الإشارة المنقولة.

الجدول(2–1): قيم المقاومة النوعية بالأوم–سم (Ω-cm) والموصلية بالمو–سم (mho-cm^{-1}) لبعض العناصر الهامة عند درجة حرارة تساوي 20° مئوية (20°C)

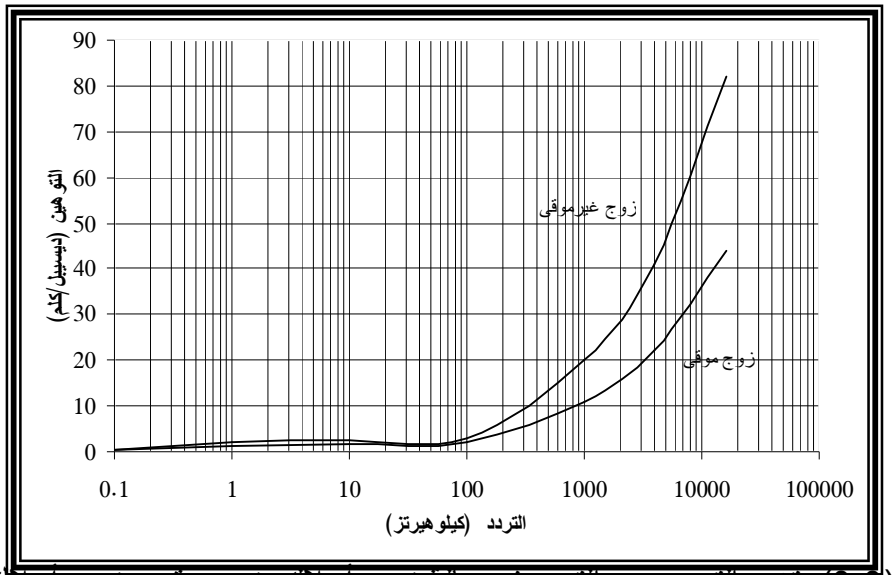
العنصر	المقاومة النوعية(ρ)	الموصلية(σ)
النحاس	1.7241×10^{-6}	0.5800×10^{6}
الألمونيوم	2.62×10^{-6}	0.382×10^{6}
الذهب	2.44×10^{-6}	0.410×10^{6}
الفضة	1.62×10^{-6}	0.617×10^{6}



الشكل(2-1): توهين القدرة مع المسافة عبر زوج من الأسلاك

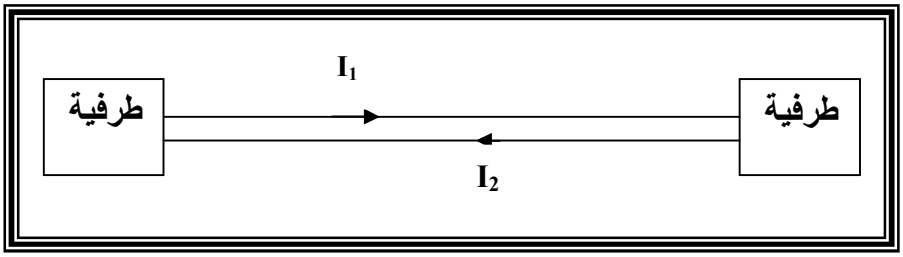
وكما هو معلوم من دراسة الكهرمغنطيسية فإن التيار داخل السِلك الموصل يجنح للسريان في الأجزاء البعيدة من محوره ويتركز في قشرته الخارجية كلما زاد تردد إشارة التيار، وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة القشرة (skin effect). ذلك يعني تقلص مساحة مقطع السِلك التي يسري فيها التيار فعلياً وبالتالي زيادة مقاومة السِلك لمرور التيار مما يؤدي لزيادة توهين الإشارة السارية في السِلك. ومن مثالب زوج الأسلاك المتوازي أيضاً التوهين الإضافي للإشارة نتيجة لفقد جزء من قدرتها بالإشعاع من هذه الأسلاك. أي أن الأسلاك تعمل وكأنها هوائي يُشع موجات كهرمغنطيسية إلى الفضاء المحيط، وتزيد كمية القدرة المفقودة بواسطة الإشعاع مع زيادة تردد الإشارة.

يوضح الشكل(2–2) تغير توهين الإشارة مع التردد عند مرورها عبر زوج أسلاك مجدول غير موقى(صنف 5 أو cat 5) وعبر زوج أسلاك موقى(150Ω STP). لا يتغير التوهين بصورة ملحوظة عند الترددات المنخفضة، ولكن يلاحظ القاريء الزيادة الواضحة في التوهين نتيجة للزيادة في التردد، كما يلاحظ الانخفاض النسبي في التوهين في حالة زوج الأسلاك الموقى مقارنة مع حالة زوج الأسلاك غير الموقى.



الشكل(2-2): تغير التوهين مع التردد في حالة زوج أسلاك غير موقى وزوج أسلاك آخر موقى

أيضاً تلتقط الأسلاك عن طريق الحث الكهرمغنطسي الموجات الكهرمغنطيسية الساقطة عليها مثل إشارات الضجيج والإشارات المتداخلة وكلاهما يؤثِّران على نقاء الإشارة المستقبلة وبالتالي على مقدرة الطرف المستقبل على تمييز الإشارة المرسلة إليه أي كلاهما يؤثِّران على جودة الاستقبال. ويمثل زوج الأسلاك المتوازي حلقة يسري فيها التيار في اتجاه في أحد السِلكين وفي الاتجاه الآخر في السِلك الثاني، أنظر الشكل (2–3).



الشكل (2–3): عدم تساوي التيارين I_1 و I_2 يؤدي إلى سريان تيار في الحلقة يمثل محصلة التيارين

يؤدي اختلاف تيار الضجيج والتداخل المُستَحَث في سِلك عنه في السِلك الآخر، لعدم تطابق السِلكين في الموضع، إلى حدوث تيار ضجيج وتداخل بقيمة غير صفرية يضاف إلى الإشارة المستقبلة فيؤثِّر على نقائها. من الممكن تخفيض هذا التيار الناتج بجَدْل السِلكين معاً لنحصل على زوج أسلاك مجدول غير مُوَقَّى، كما يمكن أن تُوقى الأسلاك بإدخالها في أنبوب من مادة موصِّلة لمنع وصول موجات الضجيج والتداخل الكهرمغنطيسية إلى الأسلاك لنحصل على زوج أسلاك مُوَقَّى، أو استخدام الطريقتين معاً للحصول على زوج أسلاك مجدول موقى.

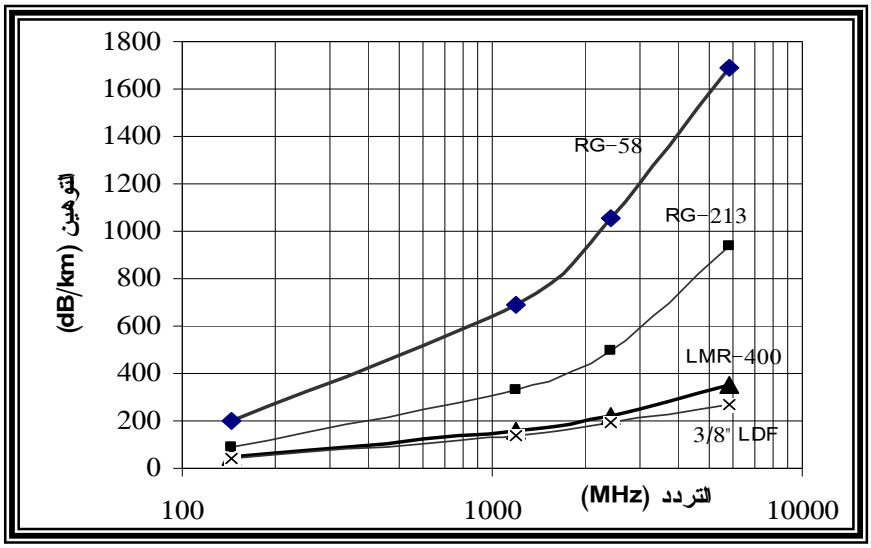
2.1 الكوابل المحورية

تستخدم الكوابل المحورية لنقل الإشارات ذات الترددات العالية. ويتكون الكبل المحوري من موصلين يوضعان بحيث يكون أحدهما داخل الآخر ويشتركان في المحور ويعزلان عن بعضهما بعازل، مثل البوليثلين و PTFE ، الذي تملأ به المساحة التي تفصل الموصلين. ويستعمل النحاس كموصل داخلي أو الفولاذ المكسو بالنحاس أو بالفضة، في حالة الترددات العالية التي تسري في قشرة الموصل، كما يستعمل النحاس المجدول

كموصل خارجي، وبهذه الطريقة تقل كمية الطاقة التي تفقد عن طريق الاشعاع وبالتالي يقل توهين الكبل، كما تقل التيارات الناتجة عن الحث الكهرمغنطيسي الناتج عن اقتران إشارات الضجيج والتداخل. ونتيجة لجدل الموصل الخارجي نحصل على كبل مرن يمكن طيه على البكرات ويسهل التعامل معه . يعطي الجدول(2–2) أقطار الموصل الداخلي والعازل والموصل الخارجي والعازل الخارجي(الغطاء) لبعض الكوابل المحورية كثيرة الاستخدام. لاحظ أن الكبل من النوع RG-58 لا يستخدم عند الترددات الميكروية وإنما يستخدم عند الترددات العالية جداً والتي أدنى منها، كما أن الكبل من النوع RG-213 يستخدم عند الترددات العالية والتي أدنى.

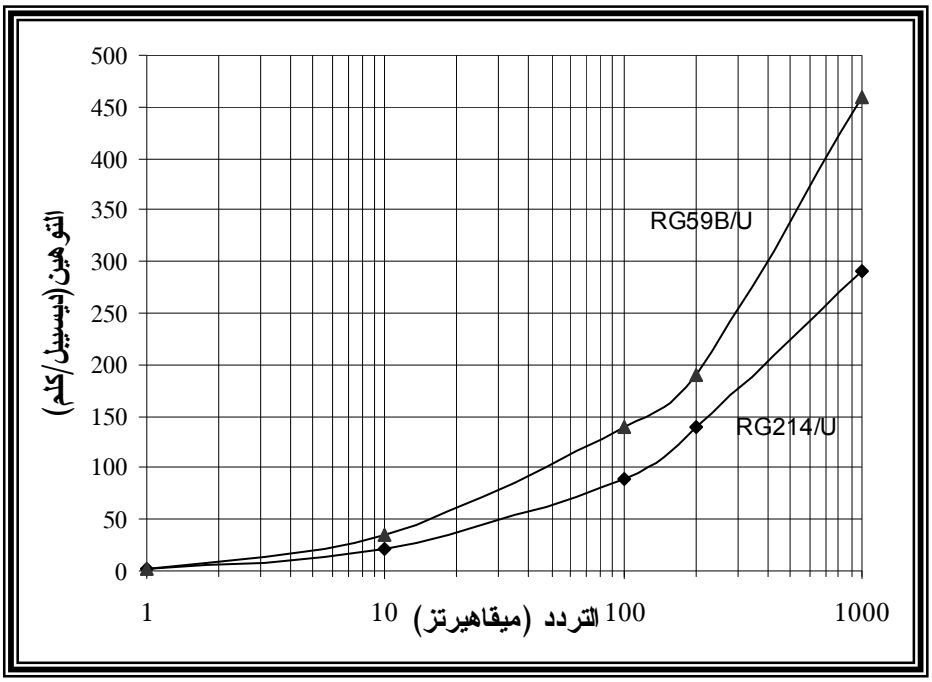
الجدول(2–2): أقطار الموصل الداخلي والعازل والموصل الخارجي والعازل الخارجي لبعض الكوابل المحورية شائعة الاستخدام بالمليمتر

نوع الكبل	الموصل الداخلي	العازل	الموصل الخارجي	العازل الخارجي
RG-58	0.9	2.95	3.8	4.95
RG-213	2.26	7.24	8.64	10.29
LMR-400	2.74	7.24	8.13	10.29
3/8” LDF	3.1	8.12	9.7	11



الشكل(2–3): التوهين لكل كيلومتر بدلالة التردد بالميقاهيتز للكوابل من النوع RG-58, RG-213, LMR-400 & 3/8" LDF

يعطي الشكل (2–3) التوهين بالديسيبل لكل كيلومتر لأنواع الكوابل المحورية المذكورة في الجدول(2–2)، كما يعطي الشكل (2–4) التوهين بالديسيبل لكل كيلومتر لكبل محوري من النوع RG214/U ولكبل محوري آخر من النوع RG59B/U وهما مثالان للكوابل المحورية المستخدمة لنقل الإشارات عند الترددات الرادية والماكروية. يلاحظ في هذه الحالة تغير التوهين بدلالة جذر تربيع التردد تقريباً، مثلما تتغير مقاومة الموصل بدلالة جذر تربيع التردد نتيجة لتغير عمق القشرة بدلالة معكوس جذر تربيع التردد. يمكن تقليل فقد قدرة الإشارة نتيجة لانتشارها داخل الكوابل المحورية باستخدام كوابل ذات توهين منخفض وبتقليص طول الكبل المستخدم ما أمكن ذلك، خاصة في حالة الإرسال إذ من الأفضل وضع المرسل قريباً جداً من الهوائي.



الشكل(2–4): التوهين لكل كيلومتر بدلالة التردد بالميقاهيرتز للكبلين من النوع RG59B/U & RG214/U

أسئلة تقويم ذاتي

ما هو الدور الذي تقوم به دوائر الربط البيني؟

أكمل الفراغات:

إذا أُدخلت إشارة كهربائية عند أحد الطرفين فإنها تصل الطرف الآخر وقد انخفضت قدرتها بمعامل يساوي ..... حيث .... هي المسافة بين الطرفين و.... معامل يطلق عليه معامل.....

مما يتكون الكبل المحوري؟

أكمل الجدول التالي:

العنصر	المقاومة النوعية(ρ)	الموصلية(σ)
النحاس	.....	$0.5800x10^{6}$
الألمونيوم	$2.62x10^{-6}$	.....
الذهب	.....	.....
الفضة	$1.62x10^{-6}$	.....

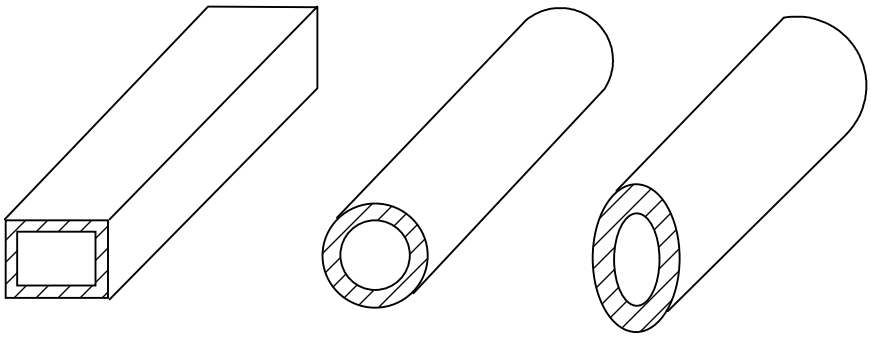
2. موجِّهات الموجة

في حالتي زوج الأسلاك المتوازي والكبل المحوري تنتقل الإشارة الكهربائية في شكل تيار كهربائي يسري في أحد السلكين في اتجاه ويسري في السلك الثاني في الاتجاه الآخر. تصحب هذا التيار موجات كهرمغنطيسية مستعرِضة مقترنة بالأسلاك وتسري مع التيار من طرف الإرسال نحو طرف الاستقبال. أما في حالة موجِّه الموجة فتسري الإشارة من المدخل إلى المخرج كموجات كهرمغنطيسية. يمكن تصنيف موجِّهات الموجة إلى صنفين هما الموجهات المعدنية وموجهات المواد العازلة (مثل الألياف الضوئية). فالموجِّه المعدني أنبوب معدني مجوف له مقطع مستعرِض مستطيل أو دائري أو إِهْلَيْلَجي (بيضي) وسطوح داخلية من مادة جيدة التوصيل. عادة يحوي جَوْف

الأُنبوب الهواء كما يمكن أن يحوي في بعض الأحيان مادة عازلة أو يكون مفرغاً. وموجهات الموجة المصنوعة من المواد العازلة تصنع في شكل قُضْبان من المواد العازلة الشفافة أي ذات التوهين المنخفض عند ترددات الإرسال المستخدمة وهي مُصْمَتة أي غير مجوفة .

1.2 الموجِّهات المعدنية

كما أسلفنا فإن الموجِّه المعدني أنبوب معدني مجوف له مقطع مستعرِض مستطيل أو دائري أو إهْلَيْلَجي (بيضي) الشكل(2–5)، وله سطوح داخلية من مادة جيدة التوصيل. وعادة يحوي جَوْف الأُنبوب الهواء كما يمكن أن يحوي في بعض الأحيان مادة عازلة أو قد يكون مفرغاً. تسري الإشارة في داخل الأُنبوب كموجات كهرمغنطيسية تصحبها تيارات موضِعيِّة تُسْتَحث في سطوح الأنبوب الداخلية. لذا يجب أن تكون هذه السطوح من مادة جيدة التوصيل لتخفيض التوهين الذي يحدث نتيجة لِتحوُّل جزء من طاقة الإشارة إلى طاقة حرارية في مقاومة سطوح الأنبوب. ومن الضروري ألا يؤدي الهواء أو المادة العازلة إن استخدمت في جوف الأنبوب إلى توهين الموجة.

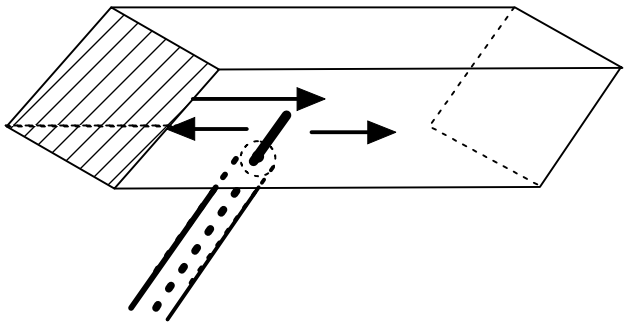


الشكل(2–5): موجِّهات معدنية بمقاطع بيضية ودائرية ومستطيلة

تثار الموجة في داخل موجِّهات الموجة إما عن طريق تشكيل نهاية الموصِّل الحامل للتيار في شكل حلقة أو في شكل مِسْبَار داخل الموجِّه يوضع عند المقطع الذي يكون فيه المجال الكهرومغناطيسي أعلاه. كما في الشكل(2–6)، ينقل التيار عادة إلى

داخل موجه الموجة بواسطة كبل محوري وتتحرك الموجة الناتجة في الاتجاهين أي يميناً وشمالاً ولكنها قد تصطدم بنهاية الموجِّه اليسرى وتنعكس لتسري إلى اليمين أيضاً في اتجاه مخرج الموجِّه بالانعكاس بواسطة حيطان موجه الموجة. وبذلك تعمل هذه الحيطان على حصر الموجة داخل الموجِّه وتقودها نحو المخرج. بناء على الأبعاد الجانبية لموجه الموجات يمكن للترددات الأعلى مما يسمى بتردد القطع أن تنتشر داخل الموجه. أما الترددات الأدنى فتمنع من الانتشار لكبر طولها الموجي مقارنة بأبعاد الموجه الجانبية.

يمكن أن يرتب المجالان الكهربي والمغنطيسي نفسيها داخل موجه الموجات في تشكيلات عديدة عند الترددات الأعلى من تردد القطع يزيد عددها مع زيادة قيمة التردد في حالة موجه موجات بأبعاد محددة، وكل شكل من هذه الأشكال يسمى أسلوباً. ويمكن اختيار أبعاد جانبية صغيرة لموجه الموجات تسمح بانتشار أسلوب واحد، يسمى الأسلوب السائد، داخل الموجه عند تردد معين وهي الممارسة الفعلية في الواقع.



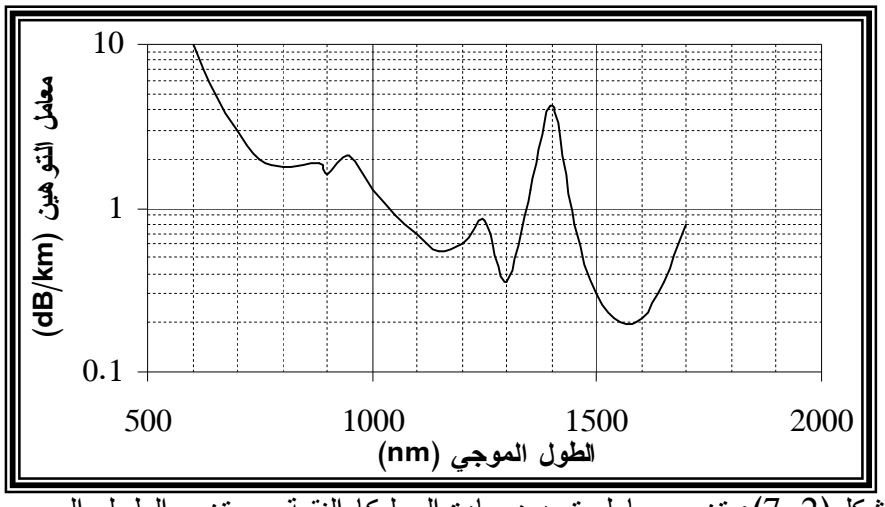
الشكل(2–6): موجِّه موجات تُثار فيه الموجات الكهرمغنطيسية يميناً ويساراً (وتنعكس إلى اليمين بجدار الموجِّه) بواسطة مسبار يمثِّل امتداداً للموصِّل الداخلي لكبل محوري ناقل للإشارة الكهربائية

تُستخدم الموجِّهات المعدنية في مدى من الترددات المايكروية (تقريباً من أقل من 3 إلى 30 جيقاهيرتز) بطول موجي مناسب من أقل من 1 إلى 10 سنتمترات للحصول على موجهات بأبعاد جانبية (حوالي نصف الطول الموجي) صغيرة بتكلفة معقولة. لا تُستخدَم موجهات الموجة لمسافات بعيدة لتكلفتها العالية نسبياً بالمقارنة مع الكوابل

المحورية وكوابل الألياف الضوئية، ولكن تُستخدم في نظم الإرسال الميكروية عادة لربط المرسل بهوائي الإرسال حيث يُستعمل الإرسال اللاسلكي بين النقاط المتباعدة.

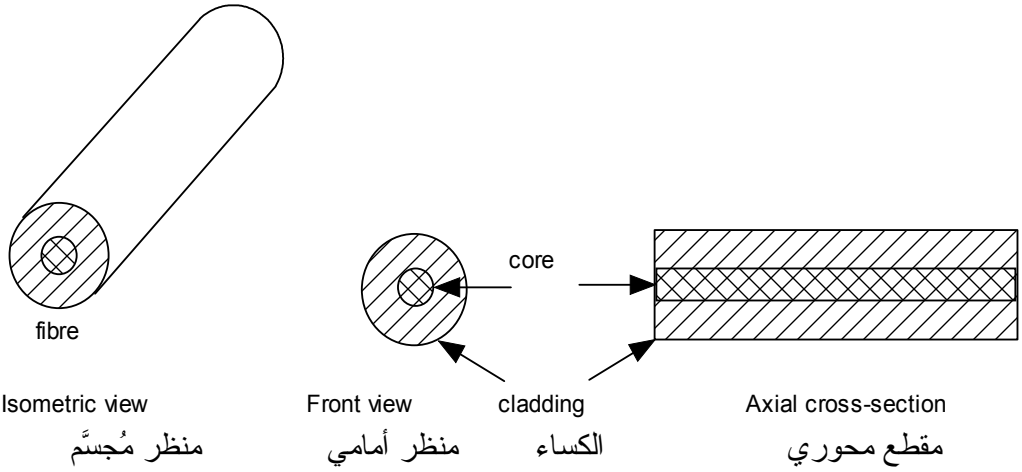
2.2 موجهات المواد العازلة

كما ذكرنا سالفاً فإن موجِّهات الموجة المصنوعة من المواد العازلة تصنع في شكل قُضبْان من المواد العازلة الشفافة أي ذات التوهين المنخفض عند ترددات الإرسال المستخدمة وهي مُصمْتَة أي غير مجوفة. ومن أشهر أنواعها تلك الألياف المصنوعة من السيليكا النقية وتسمى الألياف الضوئية (أو البصرية) لأنها مناسِبة للاستخدام في مدى طيف الأشعة تحت الحمراء القريبة من الطيف المرئي وذلك عند الأطوال الموجية 1550nm و 1300nm و 850nm وما حولها. والطول الموجي 1550nm هو المفضل والأكثر استخداماً لانخفاض معامل توهين مادة السيليكا للإشارات المنتشرة بداخلها عند هذا الطول الموجي وكذلك لإمكانية تصنيع ألياف ضوئية ذات معامل تشتيت إشارات منخفض عند هذا الطول الموجي وحوله من مادة السيليكا. والسيليكا هو الاسم التجاري لثاني أُكسيد السيليكون (Si_2O) وهي المادة الموجودة في الكوارتز والرمْلة وغيرهما والتي يصنع منها الزجاج. يوضح الشكل(2–7) بالتقريب تغير معامل توهين مادة السيليكا النقية مع تغير الطول الموجي.



الشكل(2–7): تغير معامل توهين مادة السيليكا النقية مع تغير الطول الموجي.

تُصنع ألياف السيليكا في شكل اسطواني وتتكون من جزأين: الجزء الداخلي أي قلب الليف وله معامل انكسار أعلى قليلاً من معامل انكسار الجزء الذي يحيط به من الخارج أي الكساء. يكون الكساء عادة متجانساً أي بمعامل انكسار ثابت، أما القلب فيمكن أن يكون له معامل انكسار ثابت كما في حالة الليف ذي معامل الانكسار الدرجي، كما يمكن أن يكون له معامل انكسار متغير كما في حالة الليف ذي معامل الانكسار المتدرج. يوضح الشكل(2-8) تكوين الليف الضوئي.



الشكل(2-8): تكوين الليف الضوئي من نواة (core) وكساء (cladding)

عندما يكون قطر نواة الليف كبيراً نسبياً يكون الليف متعدد الأساليب أي تنتشر الموجة بداخله عبر عدة مسارات، أما إذا خُفِّض قطره فيمكن الحصول على ليف مفرد الأُسلوب.

أهم مزايا موجهات الموجة المصنوعة من المواد العازلة عِظَم عرض نطاقها بالمقارنة مع كوابل النحاس وموجهات الموجة المعدنية، ولذا يمكن نقل كميات كبيرة جداً من المعلومات بواسطتها. وأيضاً عدم تأثرها بالموجات الكهرمغنطيسية الموجودة حولها حيث لا يحدث حَثٌّ مغنطيسي كما في حالة الأسلاك والكوابل المصنوعة من المواد الموصِّلة مثل النحاس، وبالتالي لا تتأثر بالضجيج وإشارات التداخل المحيطة بها في شكل موجات كهرمغنطيسية، كما يصعب التنصت على الإشارات الموجودة بداخلها. كما

أن كوابل الألياف صغيرة الحجم وخفيفة الوزن مقارنة بكوابل النحاس ولذا يسهُل تخزينها ونقلها وتمديدها.

أسئلة تقويم ذاتي

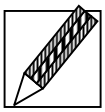


1. اذكر تصنيفات موجهات الموجه؟
2. اذكر أهم مزايا موجهات الموجه المصنوعة من المواد العازلة؟

3. الإرسال اللاسلكي

إن أهم مزايا الإرسال اللاسلكي إمكانية الإرسال بدون أسلاك أو كوابل وفي اتجاهات متعددة في نفس اللحظة وذلك باستخدام الهوائيات التي تحوِّل التيارات الكهربائية المتناوبة إلى موجات كهرمغنطيسية تنتشر في الجو وفي الفضاء في مختلف الاتجاهات، وبالتالي تغطي الإشارة مناطق واسعة لتكون في متناول الجهات المقصودة بالإرسال والمنتشرة في أرجاء هذه المناطق. ويمكن استخدام هوائيات ذات اتجاهية لتركيز الموجة الكهرمغنطيسية في اتجاه أو اتجاهات معينة.

تدريب (1)



ارسم مخطط نظام إرسال واستقبال لاسلكي؟

تستخدم الترددات الرادية والميكروية لأغراض الإرسال اللاسلكي وكلما كان التردد المستخدم عالياً مكَّن من إرسال كمية كبيرة من المعلومات. وتستخدم أيضاً الموجات تحت الحمراء في الإرسال اللاسلكي ولكن عادة داخل المباني لمسافات قصيرة جداً وذلك لما تواجهه من توهين عالٍ جداً. يعطي الشكل(2–9) تصنيفاً لأجزاء الطيف الترددي (Frequency Spectrum) المستخدمة في الإرسال اللاسلكي.



الشكل(2-9): بعض تصنيفات الطيف الترددي

موجات الراديو أي الموجات الرادية هي الأقدم استخداماً في مختلف أنواع الاتصالات اللاسلكية الثابتة والمتحركة، بدءاً بالموجات الطويلة في الاتصالات البحرية (maritime) وفي الإذاعة ثم الموجات متوسطة الطول (medium waves) في الإذاعة وفي الاتصالات المتحركة ثم القصيرة في الإذاعة الموجهة والاتصالات الثابتة

والمتحركة (mobile and fixed) ثم المترية والديسيمترية في الاتصالات اللاسلكية الثابتة والمتحركة وقي الإرسال الإذاعي والتلفزيوني وفي شبكات الهاتف المتحرك (mobile telephone) وشبكات الاتصالات الريفية (rural) ثم الموجات الميكروية في الاتصالات الأرضية عبر الوصلات (links) الميكروية والفضائية عن طريق السواتل وشبكات الهاتف السيار وشبكات الاتصالات الريفية والإرسال المباشر (direct broadcasting) التلفزيوني والإذاعي عبر السواتل والوصول (access) إلى شبكات الهاتف العمومية وشبكة الإنترنت (Internet) عبر السواتل.

أسئلة تقويم ذاتي



علل تستخدم الموجات تحت الحمراء في الإرسال اللاسلكي ولكن عادة داخل المباني لمسافات قصيرة جداً.

الخلاصة

بحثت الوحدة في وسائط الإرسال وهي الناقل للبيانات والمعلومات عبر شبكات الحواسيب من طرف لأخر وذلك بعد تشفيرها في شكل إشارات كهربائية.

عرفت الوحدة وسائط نقل البيانات والمعلومات وهي الأسلاك التي تستخدم أزواجاً بالتوازي لنقل التيارات الكهربائية الممثلة للبيانات والمعلومات بين طرفين.ووضحت الوحدة في أزواج الأسلاك المتوازية إذا دخلت إشارة كهربائية عند أحد الطرفين فأنها تصل الطرف الأخر وقد انخفضت قدرتها بمعامل يساوي $e^{-2\alpha l}$ حيث l هي المسافة بين الطرفين و α معامل يطلق عليه معامل التوهين أي إضعاف الإشارة ويتناسب طرداً مع المقاومة النوعية للموصل ويعتمد أيضاً على أبعاد مقاطع السِلكين وخواص المادة العازلة التي تفصل بين السِلكين وتردد الإشارة المنقولة.

تناولت الوحدة الكوابل المحورية والتي تتكون من موصلين يوضعان بحيث يكون أحدهما داخل الأخر ويشتركان في المحور ويعزلان عن بعضهما بعازل مثل البوليثلين و PTFE ، الذي تملأ به المساحة التي تفصل الموصلين.

تناولت أيضاً الوحدة موجهات الموجه حيث تسري الإشارة من المدخل إلى المخرج كموجات كهرومغناطيسية.

صنفت موجِّهات الموجة إلى صنفين هما الموجهات المعدنية وموجهات المواد العازلة (مثل الألياف الضوئية).

الموجِّه المعدني أنبوب معدني مجوف له مقطع مستعرِض مستطيل أو دائري أو إهْلَيْلَجي (بيضي) ، وله سطوح داخلية من مادة جيدة التوصيل لتخفيض التوهين الذي يحدث نتيجة لِتحوُّل جزء من طاقة الإشارة إلى طاقة حرارية في مقاومة سطوح الأنبوب.

موجهات المواد العازلة مصنوعة من المواد العازلة تصنع في شكل قُضْبان من المواد العازلة الشفافة أي ذات التوهين المنخفض عند ترددات الإرسال المستخدمة وهي مُصْمَتة أي غير مجوفة.

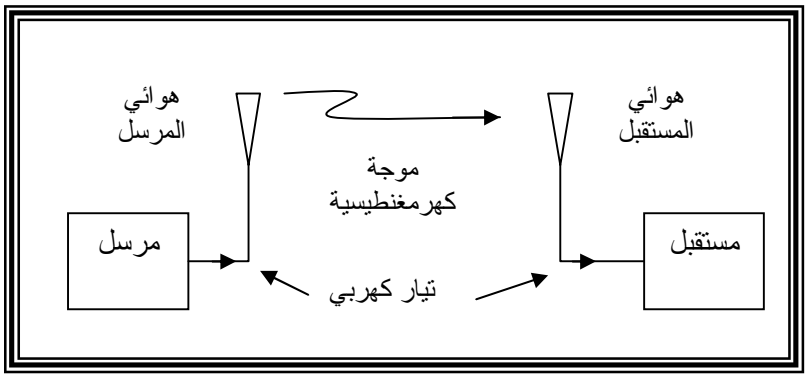
تناولت الوحدة أهم مزايا الإرسال اللاسلكي وهي إمكانية الإرسال بدون أسلاك أو كوابل وفي اتجاهات متعددة في نفس اللحظة وذلك باستخدام الهوائيات التي تحوِّل التيارات الكهربائية المتناوبة إلى موجات كهرومغناطيسية تنتشر في الجو وفي الفضاء في مختلف الاتجاهات، وبالتالي تغطي الإشارة مناطق واسعة لتكون في متناول الجهات المقصودة بالإرسال.

لمحة مسبقة عن الوحدة التالية

تتناول الوحدة التالية الإشارات الكهربائية والموجات ، الإشارات الكهربائية هي الشكل الذي تمثل به البيانات والمعلومات وتنقل به عبر خطوط النقل من طرف إلى طرف أخر ، وتبحث الوحدة عن أنواع الإشارات مثل الإشارة الرقمية ، الإشارة الجيبية، الإشارة الدورية ، الإشارة العابرة ، الإشارة العشوائية.

إجابات التدريبات

تدريب 1



مخطط نظام إرسال واستقبال لاسلكي

مسرد مصطلحات

- **الموجِّه المعدني**

أنبوب معدني مجوف له مقطع مستعرِض مستطيل أو دائري أو إِهْلِيْلَجي (بيضي) وسطوح داخلية من مادة جيدة التوصيل.

- **موجهات المواد العازلة**

تصنع في شكل قُضبْان من المواد العازلة الشفافة أي ذات التوهين المنخفض عند ترددات الإرسال المستخدمة وهي مُصمْتَة أي غير مجوفة.


الوحدة الثالثة
الإشارات الكهربائية
والموجات

محتويات الوحدة

الموضـــــوع	الصفحة
المقدمة	**41**
تمهيد	41
أهداف الوحدة	42
1. الإشارات	**43**
1.1 أنواع الإشارات	44
2. الإشارة الجيبية	**47**
3. الإشارات الدورية	**51**
4. الإشارة العابرة	**53**
5. الإشارة العشوائية	**55**
الخلاصة	**57**
لمحة مسبقة عن الوحدة التالية	**59**
إجابات التدريبات	**60**
مسرد المصطلحات	**61**

المقدمة

تمهيد

عزيزي الدارس،،

مرحباً بك في الوحدة الثالثة من مقرر " تراسل البيانات" والتي تبحث في الإشارات الكهربائية والموجات، وهنا سوف نتعرف على الإشارات الكهربائية.

يتناول القسم الأول من الوحدة الإشارات حيث أنه من الممكن أن ترمز البيانات والمعلومات وتمثل بإشارات كهربائية عند صدورها وترسل عبر خطوط النقل إلى متلقيها. تصنف الإشارات الكهربائية إلى أصناف عديدة منها الإشارات الرقمية والإشارة التماثلية والإشارة المتقطعة والإشارة المتصلة....

القسم الثاني يبحث في الإشارة الجيبية حيث تمثل الإشارة الجيبية أبسط مثال للإشارات الدورية وأهمها ، والإشارة الجيبية ذات أهمية كبيرة إذ يمكن تمثيل الإشارات الدورية بمتسلسلة من الإشارات الجيبية وكذلك الإشارات العابرة يمكن تمثيلها عبر متحول فورير بعدد غير محدود من الإشارات الجيبية.

القسم الثالث من الوحدة يتناول الإشارة الدورية وهي الإشارة التي يتكرر شكلها الموجي أثناء زمن كل دورة وتعرف رياضياً:

$$s(t \pm nT) = s(t)$$

حيث n رقم (digit) و T زمن دورة الإشارة الدورية.

القسم الرابع يتناول الإشارة العابرة وهي تلك الإشارة التي تحدث لوقت محدد أو إذا استمرت موجودة لكل الوقت فإنها تتناقص إلى أن تختفي في النهاية.

القسم الخامس يتناول الإشارة العشوائية وهي تلك الإشارة التي يصعب أم يستحيل تحديد قيم اتساعها المستقبلية بناء على علاقة جبرية محددة ولكن يمكن تحديد أو تقدير خواصها الاحتمالية والإحصائية ، من الأمثلة الحية للإشارات العشوائية إشارات

المعلومات سواء كانت تماثلية مثل إشارات الحديث والفيديو أو رقمية مثل إشارات البيانات.

أهداف الوحدة

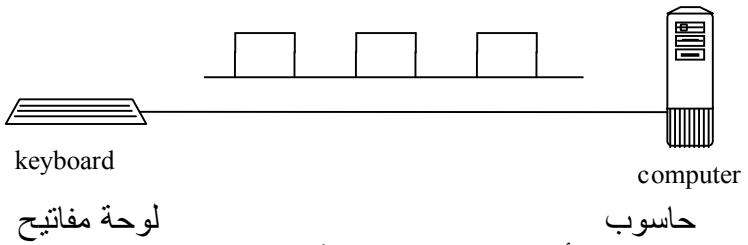


بعد فراغك من دراسة هذه الوحدة ينبغي أن تكون قادرا علي أن:

- **تعدد** أنواع الإشارات الكهربائية .
- **تشرح** بالرسم كيف تعمل الإشارة الجيبية.
- **تكتب** تركيبة للإشارة الدورية بمتسلسلة فورير.
- **تعطي** أمثلة للإشارات الأسية.
- **تعرف** الإشارة العشوائية.

توطئة

الإشارات الكهربائية (electrical signals) هي الشكل الكهربائي الذي تُمثَّل به البيانات والمعلومات وتنقل به عبر خطوط النقل (transmission lines) من طرف إلى طرف آخر. مثلاً عند الكتابة على لوحة مفاتيح الحاسوب بالضغط على أزرارها فإن الرموز المنتقاة (selected symbols) تظهر على خرج لوحة المفاتيح في شكل نبضات كهربائية (electrical pulses) تسري في الأسلاك التي تصلها بلوحة الحاسوب الأم (computer motherboard)، أنظر الشكل(3−1). ولنقل هذه البيانات والمعلومات عبر موجِّهات الموجات (waveguides) أو لاسلكياً عبر الفضاء (space) فإن هذه الإشارات الكهربائية التي تمثلها تحول إلى موجات كهرمغنطيسية (electromagnetic waves) تسري في موجِّهات الموجات وعبر الفضاء.

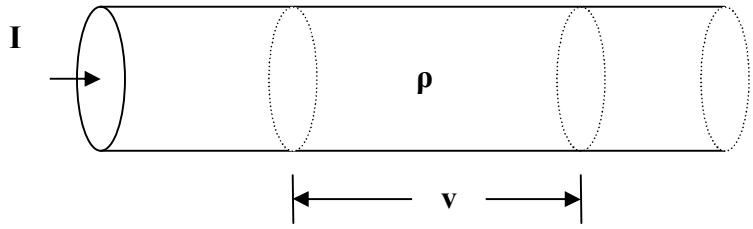


الشكل(3-1): الضغط على أزرار لوحة المفاتيح يُنتِج نبضات الشفرات التي تمثل الرموز المنتقاة.

1. الإشارات

كما ذُكِر سالفاً في بداية الوحدة الأولى، فإنه من الممكن أن تُرمز (be coded) البيانات والمعلومات وتُمثَّل (be represented) بإشارات كهربائية عند صدورها وترسل عبر خطوط النقل إلى متلقيها. ويمكن أن تكون الإشارة الكهربائية تياراً أو جهداً كهربائياً (electric current or voltage). يتمثَّل التيار في حركة الإلكترونات عبر الدوائر الكهربائية وأسلاك التوصيل، ويُعرَّف بأنه معدل انتقال الشحنة الكهربائية (rate

(of transfer of electric charge. وبفحص الشكل(3–2) نلاحظ أن التيار I يساوي Aeρv (لماذا؟)حيث A هي مساحة مقطع الموصل وe هي شحنة الإلكترون وρ هي الكثافة الحجمية للإلكترونات الحرة (volume density of free electrons) حاملة التيار أي عددها في كل وحدة حجمية و v هي سرعة هذه الإلكترونات داخل الموصل.



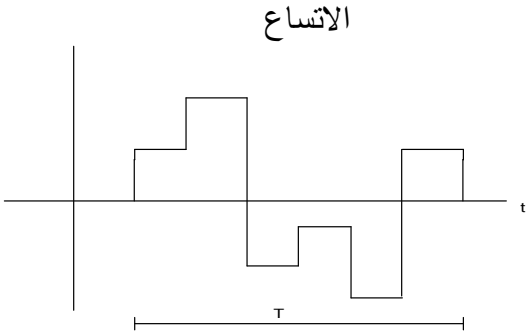
الشكل(3-2): موصل يمر به تيار I يمكن حسابه من مساحة مقطع الموصل وكثافة الإلكترونات الحرة وسرعتها داخل الموصل

ويتمثَّل الجهد في تلك الطاقة المبذولة (spent energy) لدفع وحدة (unit) شحنة كهربائية لتسري في الدوائر وأسلاك التوصيل مكونة التيار الكهربائي. أي أن قيمة الجهد هي نسبة الطاقة المبذولة إلى الشحنة المنقولة (V=E/Q) والطاقة هي حاصل ضرب الجهد في الشحنة (E=VQ) والقدرة الكهربائية هي معدل الطاقة أي (P=VdQ/dt=VI) حيث I هو التيار الكهربائي باعتبار الجهد V ثابتاً وأن التيار والجهد لهما نفس الطور (phase).

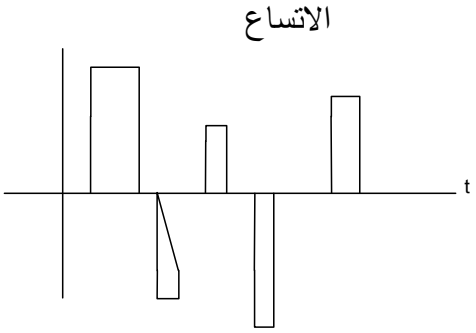
1.1 أنواع الإشارات

تُصنَّف الإشارات الكهربائية أصنافاً عديدة منها الإشارة الرقمية (digital signal) التي يأخذ اتساعها (its amplitude) قيماً من مجموعة قيم محدودة (limited set of values)، والإشارة التماثلية (analogue signal) التي يأخذ اتساعها كل القِيَم

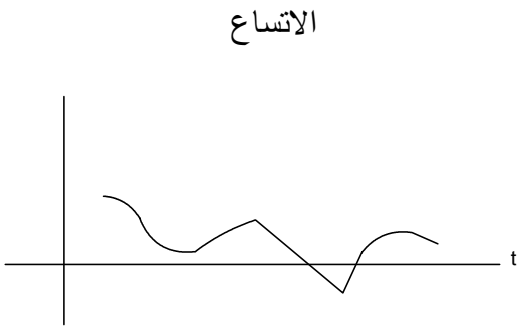
في مدى (range) معين، وكذلك الإشارة المتقطعة (discrete signal) أي التي تظهر في فترات وتختفي في فترات أُخَر والإشارة المتصلة (continuous signal) التي لا تنقطع في مداها الزمني، وكذلك الإشارة العشوائية (random signal) التي لا يمكن وصف تغيُّر اتساعها بصيغة رياضية والإشارة الـمُحدَّدة (deterministic signal) التي يمكن التعبير عن تغيُّر اتساعها بصيغة رياضية مثل الإشارة الدورية (periodic signal) التي يتكرر شكلها الموجي في كل دورة وتظل قدرتها ثابتة، والإشارة العابرة (transient signal) ذات الطاقة المحدودة، أنظر الشكل(3-3)



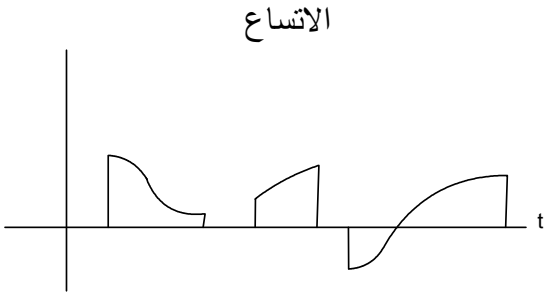
الشكل(3-3-1):إشارة رقمية متصلة



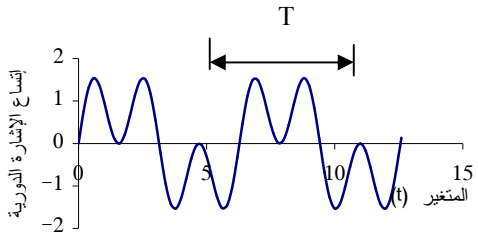
الشكل(3-3-2):إشارة رقمية متقطعة



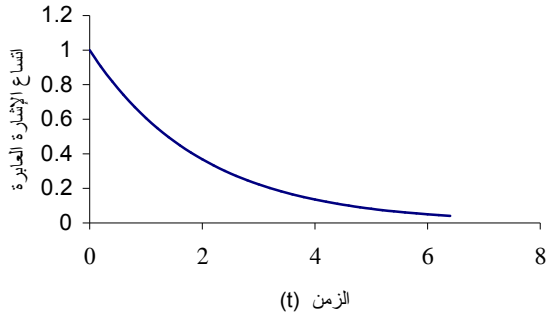
الشكل(3-3-3): إشارة تماثلية متصلة



الشكل(3-3-4): إشارة تماثلية متقطعة



الشكل(3-3-5): إشارة دورية بزمن دوري T – sin(t)+sin(3t)



الشكل(3-3-6): إشارة عابرة - exp(-0.5t)

أسئلة تقويم ذاتي

؟ عدد أنواع الإشارات؟

2. الإشارة الجيبية

تمثل الإشارة الجيبية (sinusoidal signal) أبسط مثال للإشارات الدورية وأهمها. وهي تصدر من مصادر الإشارة الجيبية التي تعطي خرجاً تتناسب مشتقته الثانية (second derivative) خطياً (linearly) مع سالب قيمته أي:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 x \qquad \text{.....(3.1)}$$

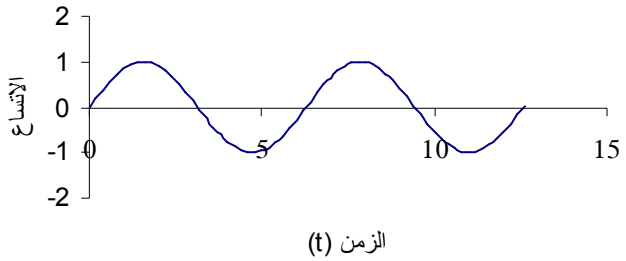
فإذا كانت لدينا دارة (circuit) مكونة من ملف بمحاثة L (coil with inductance) ومكثف بسعة C (capacitor with capacitance) موصولين يالتوازي وبافتراض شحنة من الطاقة مخزونة بهما فسيكون لدينا تيار جيبي يعمل على نقل شحنة الطاقة من المكثف إلى الملف ثم من الملف إلى المكثف بالتناوب (alternately). في كل لحظة نلاحظ أن الجهد المُطبق على الملف هو نفسه المطبق على المكثف، أي:

$$\frac{q}{C} = -L\frac{di}{dt} \quad or \quad \frac{1}{C}\int idt = -L\frac{di}{dt} \quad \Rightarrow \quad \frac{d^2i}{dt^2} = -\omega^2 i, \quad where \quad \omega^2 = \frac{1}{LC} \qquad \text{.....(3.2)}$$

وبالتالي يكون التيار الذي يسري (flows) في هذه الدارة تياراً جيبياً ويعطى بالآتي:

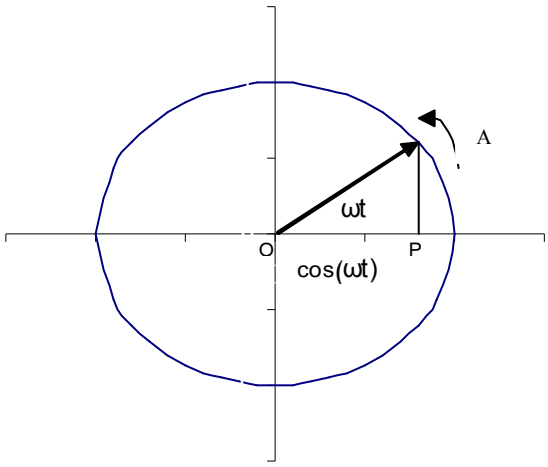
$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \theta) \quad \text{.....(3-3)}$$

ويُحدَّد اتساع التيار Im وطوره الابتدائي (its initial phase) θ من الأحوال الابتدائية للدارة (initial conditions of the circuit). يعطي الشكل(3-4) موجة التيار الجيبي حسب المعادلة(3-3) السابقة باعتبار اتساع يساوي الوحدة وتردد زاوي يساوي الوحدة أيضاً وطور ابتدائي يساوي الصفر.



الشكل(3-4): موجة جيبية

إن الدالة الجيبية (sinusoidal function) تظهر في عديد من النظم الطبيعية مثل الحركة التوافقية (harmonic motion) التي تُواجِه فيها عجلة (acceleration) الجسم قوة معاكسة تتناسب خطياً مع مسافة الابتعاد من نقطة الاستقرار المرجعية (reference point of equilibrium). كما يمكن الحصول على الدالة الجيبية بإسقاط (by projecting) نقطة تدور في دائرة لها نصف قطر يساوي الوحدة على أحد أقطار تلك الدائرة، باعتبار الدوران بسرعة زاويَّة منتظمة. وتمثل المسافة من مركز الدائرة إلى نقطة الإسقاط قيمة الدالة الجيبية، أنظر الشكل(3-5)



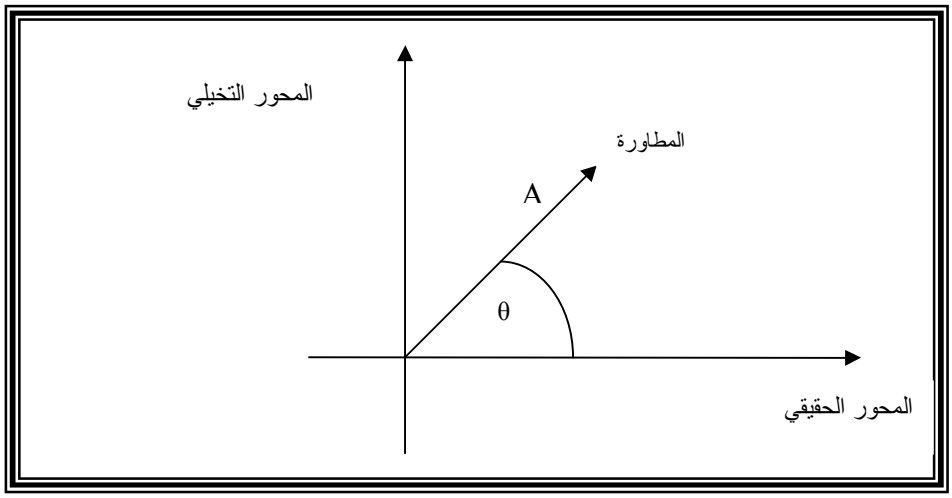
الشكل(3-5): النقطة A تدور بسرعة ω ومسقطها P يبعد من المركز O مسافة تمثل قيمة cos(ωt)

يمكن تمثيل الإشارة الجيبية المعطاة بالتعبير (3-4) التالي

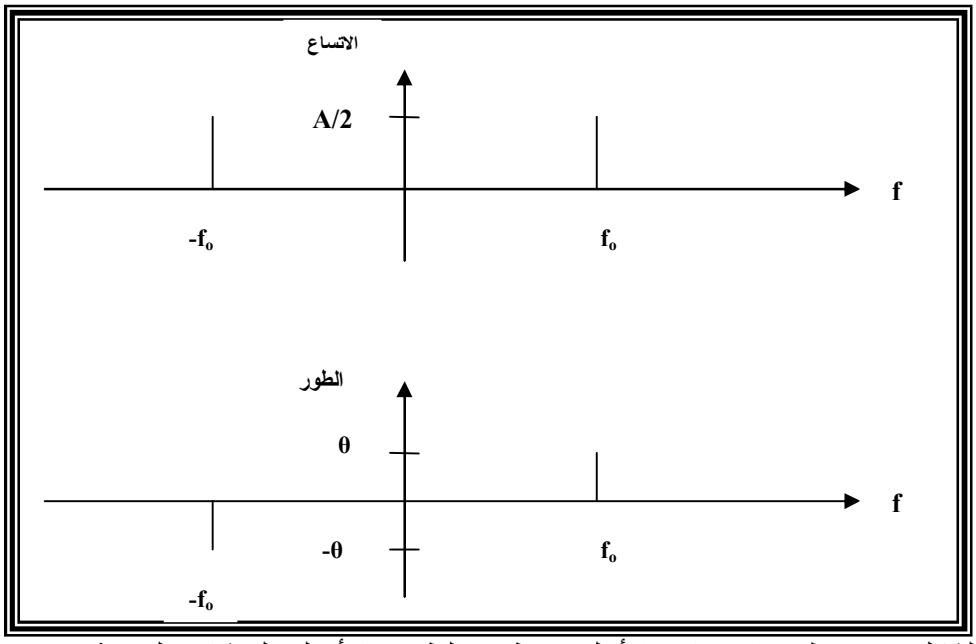
$$s(t)=A\cos(\omega_o t+\theta)=\frac{A}{2}e^{j\theta}e^{j\omega_o t}+\frac{A}{2}e^{-j\theta}e^{-j\omega_o t} \quad .....(3.4)$$

بالمطاورة (phasor) $Ae^{j\theta}$ ونحصل على الإشارة الجيبية الأصلية بأخذ الجزء الحقيقي من هذه المطاورة بعد ضربها في $e^{j\omega_o t}$ أي $s(t)=\mathrm{Re}(Ae^{j\theta}e^{j\omega_o t})$. ويمكن تمثيل هذه الإشارة الجيبية بمطاورتها بالرسم كما في الشكل(3-6)، أو بطيف اتساعها مع طيف طورها كما في الشكل(3-7)، أو بطيف مقدار كثافة اتساعها كما في الشكل(3-8). وعموماً تكون كثافة الاتساع دالة في التردد وتكون قيمتها مركبة (complex) وتحسب باستخدام متحول فوريير (Fourier transform). إن طيف كثافة الاتساع S(f) للإشارة s(t) يعطى بما يلي:

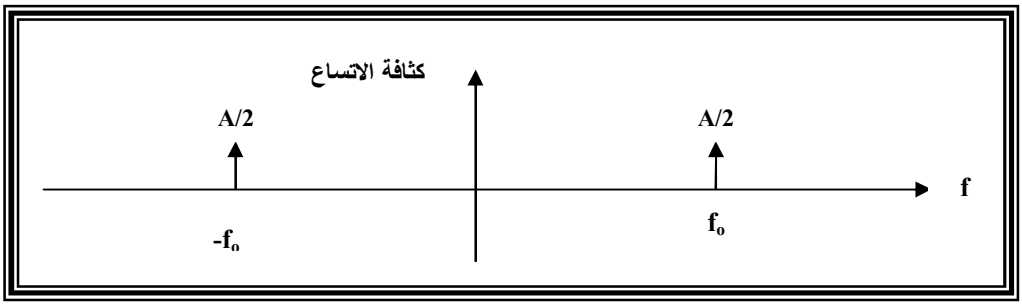
$$S(f)=\int_{-\infty}^{\infty}A\cos(\omega_o t+\theta)e^{j\omega t}dt=\frac{A}{2}e^{j\theta}\delta(f+f_o)+\frac{A}{2}e^{-j\theta}\delta(f-f_o) \quad .....(3.5)$$



الشكل(3-6): تمثيل الإشارة الجيبية s(t) بمطاورة لها اتساع A وزاوية θ.



الشكل(3-7):طيف الاتساع (الأعلى) وطيف الطور (الأسفل) للإشارة الجيبية s(t)



الشكل(3−8): طيف مقدار كثافة الاتساع |S(f)| للإشارة الجيبية s(t) الذي يعطى بدالتي دلتا (delta functions) بوزن A/2

إن الإشارة الجيبية ذات أهمية كبيرة إذ يمكن تمثيل الإشارات الدورية بمتسلسلة من الإشارات الجيبية وكذلك الإشارات العابرة يمكن تمثيلها عبر متحول فورير بعدد غير محدود من الإشارات الجيبية.

3. الإشارات الدورية

الإشارة الدورية هي الإشارة التي يتكرر شكلها الموجي أثناء زمن كل دورة وتعرَّف رياضياً هكذا:

$$s(t \pm nT) = s(t) \qquad \text{.....(3.6)}$$

حيث n رقم (digit) وT زمن دورة الإشارة الدورية s(t) الموضحة في الشكل(3−3−5). يفترض في الإشارة الدورية أن تكون بدايتها منذ الأزل ونهايتها عند الأبد أي أنها سرمدية وهذا يمثِّل نموذجاً مثالياً لا يتحقق في الواقع الفعلي بالرغم من إمكانية افتراضه نظرياً. ومتوسط القدرة المعايرة P (normalized average power) مأخوذاً فوق مدى الزمن الدوري T هو:

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T |s(t)|^2 \, dt \qquad \text{.....(3.7)}$$

والقدرة المعايرة هي القدرة المنقولة لحمل له مقاومة مقدارها أوم (ohm,Ω) واحد. وبالرغم من أن متوسط قدرة الإشارة الدورية محدود (limited)، إلا أن الطاقة الكلية لهذه الإشارة حسب تعريفها السابق (ما هو؟) غير محدودة (unlimited) (لماذا).

وتمثل الإشارة الدورية بمتسلسلة فورير (Fourier series) المكونة من إشارات جيبية لكل منها تردد يساوي مضاعفاً رقمياً (integer multiple) للتردد الأساسي (fundamental frequency) الذي يساوي مقلوب الزمن الدوري للإشارة الدورية. أي أن الإشارة الدورية تعطى بالتركيبة التالية للإشارات الدورية

$$s(t)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}S_n e^{jn\omega_o t}=\sum_{n=0}^{\infty}C_n\cos(n\omega_o t+\theta_n),\quad \omega_o=\frac{2\pi}{T},\quad \text{.....(3.8)}$$

المعاملات Sn و Cn و θn تعتمد على الرقم n وتعطى بما يلي

$$S_n=\frac{1}{T}\int_0^T s(t)e^{-jn\omega_o t}dt$$

$$C_n\cos\theta_n=\frac{2}{T}\int_0^T s(t)\cos(n\omega_o t)dt=A_n,\quad n\neq 0$$

$$-C_n\sin\theta_n=\frac{2}{T}\int_0^T s(t)\sin(n\omega_o t)dt=B_n,\quad n\neq 0$$

$$C_0=\frac{1}{T}\int_0^T s(t)dt=\frac{A_0}{2},\quad \theta_0=0,\quad \text{.....(3.9)}$$

نلاحظ العلاقات التالية التي تربط بينها في حالة الإشارة s(t) حقيقية (real)

$$C_n=\sqrt{\left(A_n^2+B_n^2\right)}=2|S_n|,\quad \theta_n=\tan^{-1}\left(\frac{-B_n}{A_n}\right),\quad S_{-n}=S_n^*=\left(|S_n|e^{j\theta_n}\right)^*,\quad C_0=S_0,\quad \text{.....(3.10)}$$

مرافق (conjugate). ويمكن تمثيل الإشارة الدورية s(t) بطيف الاتساع Cn أحادي الجانب مع طيف الطور θn أحادي الجانب بدلالة الترددات الموجبة nf0. كما يمكن تمثيلها بطيف الاتساع Sn ثنائي الجانب مع طيف الطور θn ثنائي الجانب بدلالة الترددات الموجبة والسالبة.

أسئلة تقويم ذاتي



1. عرف الإشارة الدورية؟
2. أكمل الفراغات:

تمثل الإشارة الدورية بمتسلسلة ..... (series.....) المكونة من إشارات..... لكل منها تردد يساوي مضاعفاً..... للتردد الأساسي (fundamental frequency) الذي يساوي مقلوب .....للإشارة.....

4. الإشارة العابرة

الإشارة العابرة (transient signal) هي تلك الإشارة التي تحدث لوقت محدد أو إذا استمرت موجودة لكل الوقت فإنها تتناقص إلى أن تختفي في النهاية، وفي كلا الحالتين تكون طاقتها محدودة، أنظر الشكل(3-3-6). يمكن تمثيل الإشارة العابرة بطيف كثافة اتساعها (amplitude density spectrum) عبر زوج متحول فوريير الذي يعطي العلاقة بين الإشارة s(t) وكثافة اتساعها S(f) بالآتي

$$S(f)=\int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-j2\pi ft}dt \quad .....(3.11.1)$$

$$s(t)=\int_{-\infty}^{\infty} S(f)e^{j2\pi ft}df \quad .....(3.11.2)$$

فيما يلي نعطي مثالاً لذلك بالإشارة الأسية (exponential signal) وطيف كثافة اتساعها. نعرف الإشارة الأسية بالآتي حيث A و a ثابتان حقيقيان موجبان

$$s(t) = Ae^{-at}u(t), \quad ....(3.12)$$

$$u(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

ومن متحول فوريير () نحصل على طيف كثافة الاتساع كالآتي

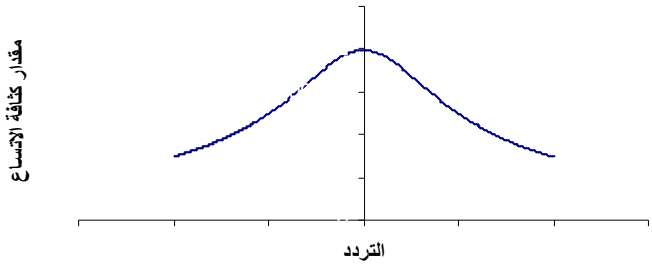
$$S(f)=\int_{-\infty}^{\infty}Ae^{-at}u(t)e^{-j2\pi ft}dt$$

$$=\int_{0}^{\infty}Ae^{-at}e^{-j2\pi ft}dt=\int_{0}^{\infty}Ae^{-(a+j2\pi f)t}dt$$

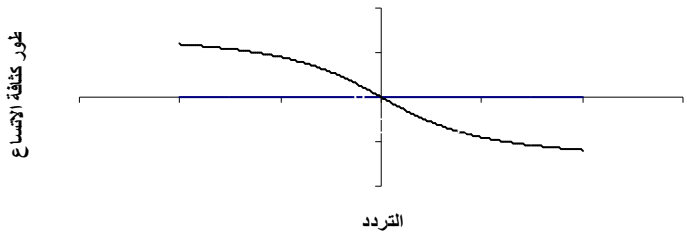
$$=\left[\frac{Ae^{-(a+j2\pi f)t}}{-(a+j2\pi f)}\right]_{0}^{\infty}=\frac{A}{(a+j2\pi f)}$$

$$=\frac{A}{\sqrt{\left(a^2+4\pi^2f^2\right)}}e^{-j\arctan(2\pi f/a)}=\left|S(f)\right|e^{j\theta(f)} \quad .....(3.13)$$

نلاحظ أن طيف مقدار كثافة الاتساع لهذه الإشارة دالة زوجية (even function) في التردد وأن طيف الطور دالة فردية (odd function) في التردد، أنظر الشكل(3–9). وهذه نتيجة تنطبق في حالة كل إشارة حقيقية.



الشكل(3-9-1):طيف اتساع إشارة أسية



الشكل(3-9-2): طيف طور كثافة اتساع إشارة أسية

إن طاقة الإشارة العابرة الكلية محدودة وتعطى بتكامل مربع مقدار كثافة اتساعها كما موضح بالمعادلة(3-14) التالية:

$$E=\int_{-\infty}^{\infty}|s(t)|^2dt=\int_{-\infty}^{\infty}s(t)s^*(t)dt=\int_{-\infty}^{\infty}\left[\int_{-\infty}^{\infty}S(f)e^{j2\pi ft}df\right]\left[\int_{-\infty}^{\infty}S(f)e^{j2\pi ft}df\right]^*$$
$$=\int_{-\infty}^{\infty}S^*(\lambda)d\lambda\int_{-\infty}^{\infty}S(f)df\int_{-\infty}^{\infty}e^{j2\pi(f-\lambda)t}dt=\int_{-\infty}^{\infty}S^*(\lambda)d\lambda\int_{-\infty}^{\infty}S(f)\delta(f-\lambda)df$$
$$=\int_{-\infty}^{\infty}S(\lambda)S^*(\lambda)d\lambda=\int_{-\infty}^{\infty}|S(f)|^2df \quad \text{.....(3.14)}$$

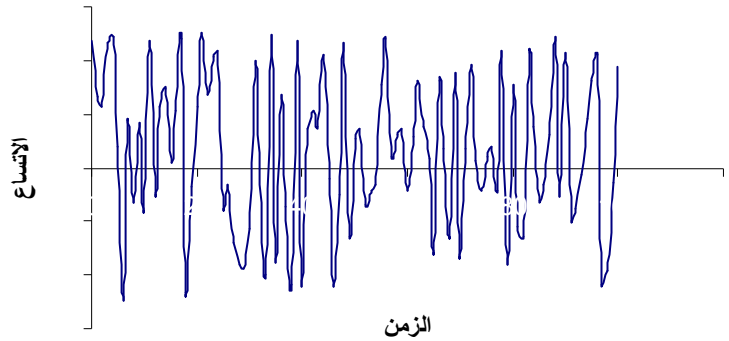
أسئلة تقويم ذاتي



عرف الإشارة العابرة؟

5. الإشارة العشوائية

يمكن تعريف الإشارة العشوائية بأنها تلك الإشارة التي يصعب أو يستحيل تحديد قيم اتساعها المستقبلية بناءً على علاقة جبرية محددة مثل الإشارة الجيبية والإشارة الأسية اللتين سبق ذكرهما، ولكن يمكن تحديد أو تقدير خواصها الاحتمالية والإحصائية (probabilistic and statistical characteristics). ومن الأمثلة الحية للإشارات العشوائية إشارات المعلومات سواءً كانت تماثلية مثل إشارات الحديث والفيديو أو رقمية مثل إشارات البيانات وكذلك إشارات الضجيج الكهربائي التي تلحق بإشارات المعلومات وتؤدي إلى تشويهها وتصعيب كشفها عند الاستقبال بالدقة المطلوبة، أنظر الشكل(3-10) الذي يعطي الشكل الموجي لإشارة عشوائية ذات توزيع احتمالي منتظم لاتساعها.



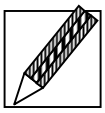
الشكل(3-10): إشارة عشوائية

ويمكن التعبير بالعبارة التالية(3–15) عن كثافة احتمال توزيع اتساع هذه الإشارة (probability density of the of the amplitude distribution) .

$$p(s)=\frac{1}{2S}, \qquad -S \le s \le S \qquad \text{.....(3.15)}$$

حيث هو s الاتساع اللحظي و S أعلى اتساع و S- أدنى اتساع للإشارة.

تدريب (1)



ارسم شكلاً توضح فيه كثافة احتمال توزيع اتساع الإشارة العشوائية المشار إليها بالعبارة $p(s)=\frac{1}{2S}, \quad -S \le s \le S$

أسئلة تقويم ذاتي



عرف الإشارة العشوائية؟

الخلاصة

تناولت الوحدة الإشارات الكهربائية وهي الشكل الكهربائي الذي تمثل به البيانات والمعلومات وتنقل به عبر خطوط النقل من طرف إلى طرف آخر.

من الممكن أن ترمز البيانات والمعلومات وتمثل بإشارات كهربائية عند صدورها وترسل عبر خطوط النقل إلى متلقيها.

تمثل الإشارة الجيبية أبسط مثال للإشارات الدورية وأهمها وهي تصدر من مصادر الإشارة الجيبية التي تعطي خرجاً تتناسب مشتقة الثانية خطياً مع سالب قيمته أي :

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 x$$

الدالة الجيبية تظهر في عديد من النظم الطبيعية مثل الحركة التوافقية التي تواجه فيها عجلة الجسم قوة معاكسة تتناسب خطياً مع مسافة الابتعاد من نقطة الاستقرار المرجعية.

الإشارات الدورية هي الإشارة التي يتكرر شكلها الموجي أثناء زمن كل دورة وتعرف رياضياً:

$$s(t \pm nT) = s(t)$$

حيث n رقم (digit) و T زمن دورة الإشارة الدورية s(t).

وتمثل الإشارة الدورية بمتسلسلة فورير (Fourier series) المكونة من إشارات جيبية لكل منها تردد يساوي مضاعفاً رقمياً (integer multiple) للتردد الأساسي (fundamental frequency) الذي يساوي مقلوب الزمن الدوري للإشارة الدورية. أي أن الإشارة الدورية تعطى بالتركيبة التالية للإشارات الدورية

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} S_n e^{jn\omega_o t} = \sum_{n=0}^{\infty} C_n \cos(n\omega_o t + \theta_n), \qquad \omega_o = \frac{2\pi}{T}$$

الإشارة العابرة (transient signal) إشارة تحدث لوقت محدد أو إذا استمرت موجودة لكل الوقت فإنها تتناقص إلى أن تختفي في النهاية، وفي كلا الحالتين تكون

طاقتها محدودة، يمكن تمثيل الإشارة العابرة بطيف كثافة اتساعها (amplitude density spectrum) عبر زوج متحول فوريير الذي يعطي العلاقة بين الإشارة s(t) وكثافة اتساعها S(f) بالآتي:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

$$s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S(f) e^{j2\pi ft} df$$

الإشارة العشوائية وهي تلك الإشارة التي يصعب أو يستحيل تحديد قيم اتساعها المستقبلية بناءً على علاقة جبرية محددة مثل الإشارة الجيبية والإشارة الأسية ، ولكن يمكن تحديد أو تقدير خواصها الاحتمالية والإحصائية (probabilistic and statistical characteristics). ومن الأمثلة الحية للإشارات العشوائية إشارات المعلومات سواءً كانت تماثلية مثل إشارات الحديث والفيديو أو رقمية مثل إشارات البيانات وكذلك إشارات الضجيج الكهربائي التي تلحق بإشارات المعلومات وتؤدي إلى تشويهها وتصعيب كشفها عند الاستقبال بالدقة المطلوبة.

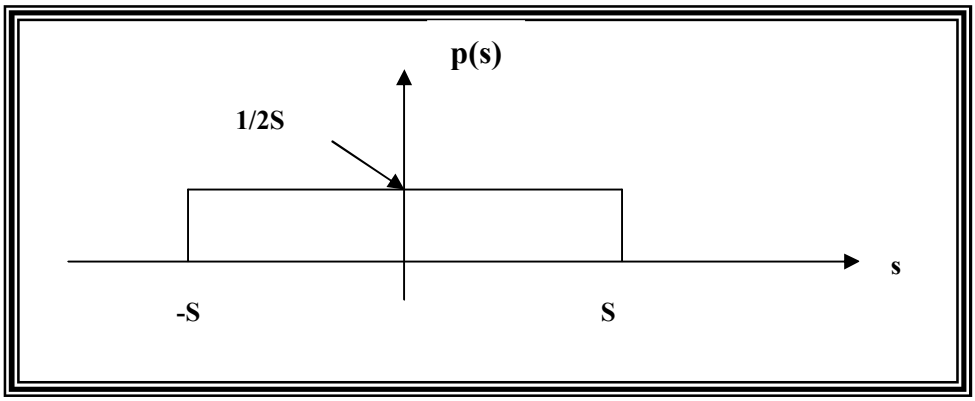
لمحة مسبقة عن الوحدة التالية

في الوحدة التالية من مقرر "تراسل البيانات" سنتناول ترميز البيانات وخلطها حيث يقصد بترميز البيانات تلك العمليات التي تجري على البيانات لتحقيق واحد أو أكثر من الأغراض التالية:

- لإحداث نوع من المواءمة (matching) بين إشارات البيانات المرسلة وقناة الإرسال.
- لتقليل الأخطاء التي قد تنتج نتيجة لتشويه الإشارة بواسطة الضجيج (noise) الذي يضاف إلى الإشارة من القناة ومن المستقبل.
- لأغراض المحافظة على سرِّيتها ومنع فهم محتواها بواسطة الأشخاص غير المصرح لهم بذلك أو جعل فهمها صعباً.
- لغرض إزاحة مكوناتها الترددية من موضعها الأصلي في المدى الترددي (frequency range) إلى موضع آخرَ يحدده تردد الإشارة الحاملة (carrier signal) المستخدمة في عملية التعديل (modulation).

إجابات التدريبات

تدريب 1



شكل يوضح كثافة احتمال توزيع اتساع الإشارة العشوائية المشار إليها بالعبارة

$$p(s) = \frac{1}{2S}, \qquad -S \le s \le S$$

مسرد المصطلحات

- **الإشارة الدورية**

الإشارات الدورية هي الإشارة التي يتكرر شكلها الموجي أثناء زمن كل دورة وتعرف رياضياً:

$$s(t \pm nT) = s(t)$$

حيث n رقم (digit) و T زمن دورة الإشارة الدورية s(t).

- **الإشارة العابرة (transient signal)**

هي تلك الإشارة التي تحدث لوقت محدد أو إذا استمرت موجودة لكل الوقت فإنها تتناقص إلى أن تختفي في النهاية، وفي كلا الحالتين تكون طاقتها محدودة، يمكن تمثيل الإشارة العابرة بطيف كثافة اتساعها (amplitude density spectrum) عبر زوج متحول فوريير الذي يعطي العلاقة بين الإشارة s(t) وكثافة اتساعها S(f) بالآتي:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

$$s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S(f) e^{j2\pi ft} df$$

- **الإشارة العشوائية**

وهي تلك الإشارة التي يصعب أو يستحيل تحديد قيم اتساعها المستقبلية بناءً على علاقة جبرية محددة مثل الإشارة الجيبية والإشارة الأسية ، ولكن يمكن تحديد أو تقدير خواصها الاحتمالية والإحصائية.


الوحدة الرابعة
ترميز البيانات
وخلطها

محتويات الوحدة

الموضـوع	الصفحة
المقدمة	**65**
تمهيد	65
أهداف الوحدة	66
1. ترميز الخط	**69**
1.1 طريقة عكس العلامة المتناوب	69
2.1 الترميز ثنائي القطبية عالي الكثافة	71
3.1 شفرات أخرى	72
4.1 شفرات مانشستر	73
5.1 الترميز من ثنائي إلى ثلاثي	74
2. الترميز لكشف الأخطاء	**75**
1.2 فحص التطابق	77
2.2 الفحص الدوري بالفائض	78
3. الترميز لتصحيح الأخطاء	**83**
1.3 الترميز لأغراض السرية	88
4. التعديل	**88**
5. خلط الإشارات	**93**
1.5 خلط الإشارات بتقسيم التردد	93
2.5 خلط الإشارات بتقسيم الزمن	94
3.5 الخلط بتقسيم الشفرة	97
4.5 الخلط بتقسيم المكان	98
الخلاصة	**100**
لمحة مسبقة عن الوحدة التالية	**102**
إجابات التدريبات	**103**
مسرد المصطلحات	**104**

المقدمة

تمهيد

عزيزي الدّارس،،،

مرحباً بك في الوحدة الرابعة من مقرر " تراسل البيانات" والذي يتناول ترميز البيانات وخلطها ، في القسم الأول من الوحدة نتناول طرق ترميز الخط ومن هذه الطرق : طريقة عكس العلامة المتناوب وتكون الإشارة الرقمية عادة ثنائية أحادية القطبية وهي خارجها من مصدرها.

طريقة الترميز ثنائي القطبية عالي الكثافة بنيت على طريقة عكس العلامة المتناوب ، هنالك شفرات أخرى عديدة لكل منها مزاياها ومثالبها ومنها الشفرات التي لا تعود للصفر (non-return-to-zero, NRZ, codes) والشفرات ثنائية الطور (مانشستر).

هنالك نوع من أنواع الترميز يعرف بالترميز من ثنائي إلى ثلاثي يتمثل في ترميز مجموعات ثنائية بمجموعات ثلاثية ذات طول أقل.

القسم الثاني يتناول الترميز لكشف الأخطاء إن من مزايا إرسال الإشارات الرقمية إمكانية ترميزها عند الإرسال ليتمكن المستقبل من كشف وتصحيح الأخطاء (error detection and correction) التي يمكن أن تتعرض لها الإشارة الرقمية. ويتناول هذا القسم بعض طرائق الترميز لكشف الأخطاء مثل طريقة فحص التطابق إن من أبسط طرائق الترميز لكشف الأخطاء إضافة رقم ثنائي واحد إلى كل مجموعة من الأرقام الثنائية التي يراد إرسالها، وهناك أيضاً طريقة الفحص الدوري بالفائض.

يتناول القسم الثالث من الوحدة الترميز لتصحيح الأخطاء وهنا نتطرق لنظام تصحيح الأخطاء المستخدم لشفرات الكتلة.

القسم الرابع يبحث في التعديل وهنا سنتعرف على أن إشارة البيانات أو إشارة المعلومات التي يراد إرسالها تخضع لما يسمى بعملية التعديل بغرض إزاحة مكوناتها

الترددية من موضعها الأصلي في المدى الترددي (frequency range) إلى موضع آخرَ يحدده تردد الإشارة الحاملة (carrier signal) المستخدمة في عملية التعديل.

القسم الخامس يتطرق لعملية خلط الإشارات حيث تمكن عملية خلط الإشارات (signal multiplexing) من إرسال أكثر من إشارة على نفس القناة، ونتناول في هذا القسم طرائق خلط تمكن من فصل الإشارات عند الاستقبال وهي:

خلط الإشارات بتقسيم التردد ،خلط الإشارات بتقسيم الزمن ، الخلط بتقسيم الشفرة،الخلط بتقسيم المكان.

أهداف الوحدة



بعد فراغك من دراسة هذه الوحدة ينبغي أن تكون قادرا علي أن:

- **تذكر** الأغراض التي تتحقق من العمليات التي على البيانات.
- **تعدد** طرق ترميز الخط.
- **تشرح** بالرسم شفرة مانشستر التفاضلية.
- **تعدد** طرائق فحص التطابق المستخدمة لكشف الأخطاء.
- **تعطي** أمثلة لطرائق خلط تمكن من فصل الإشارات عند الاستقبال.
- **تعرف** الإشارة العشوائية.

توطئة

يُقصد بترميز البيانات (data encoding) تلك العمليات التي تُجرى على البيانات لتحقيق واحدٍ أو أكثرَ من الأغراض التالية:

- تُرمَّز البيانات في بعض الحالات لإحداث نوع من المواءمة (matching) بين إشارات البيانات المرسلة وقناة الإرسال حتى لا تُشوَّه (be distorted) هذه الإشارات نتيجة لمرورها عبر القناة بصورة تجعل المستقبل عاجزاً عن تمييز البيانات بالدقة المطلوبة. ويسمى هذا النوع من الترميز ترميز الخط (line encoding). سنلاحظ أن هذا الترميز وسيلة من وسائل تشكيل طيف إشارة البيانات ليتواءم مع دالة نقل القناة(الخط)، وأحياناً يطلق عليه مصطلح مزج إشارة البيانات (data signal scrambling).
- ترمَّز البيانات أيضاً بغرض تقليل الأخطاء التي قد تنتج نتيجة لتشويه الإشارة بواسطة الضجيج (noise) الذي يضاف إلى الإشارة من القناة ومن المستقبل، وكذلك نتيجة لاستجابة نظام الإرسال غير المثالية التي قد تضيف تشويهاً (distortion) للإشارة. وهذا النوع من الترميز يسمى الترميز لأغراض كشف وتصحيح الأخطاء (coding for error detection and correction).
- ترمز البيانات أيضاً لأغراض المحافظة على سرِّيتها ومنع فهم محتواها بواسطة الأشخاص غير المصرح لهم بذلك أو جعل فهمها صعباً، ويسمى هذا النوع من الترميز بالترميز لتأمين البيانات (encryption for data security).
- تُعدَّل إشارة البيانات بغرض إزاحة مكوناتها الترددية من موضعها الأصلي في المدى الترددي (frequency range) إلى موضع آخرَ يحدده تردد الإشارة الحاملة (carrier signal) المستخدمة في عملية التعديل (modulation) لأحد أو لبعض الأغراض التالية:

- اختيار تردد يناسب عرض نطاق (bandwidth) إشارة البيانات الذي يزيد مع زيادة مُعدَّل إرسالها (its transmission rate). فكلما كان معدل إرسال البيانات عالياً كان ضرورياً استخدامُ إشارة حاملة بتردد عالٍ في عملية التعديل.
- اختيار تردد يناسب تقانة الإرسال المستخدمة. فمثلاً في حالة الإرسال بنظم الإرسال المايكروية (microwave transmission systems) يستخدم حامل له تردد في مدى الترددات المايكروية، وفي حالة الإرسال بالألياف الضوئية (optical fibres) المصنوعة من مادة السيليكا النقية (silica, silicon dioxide, SiO2) يستخدم حامل بطول موجي (wavelength) في مدى الأشعة تحت الحمراء (infra-red,IR, rays) وكذلك في حالة استخدام الأشعة تحت الحمراء للإرسال لاسلكياً.
- تقليص أبعاد الهوائي (antenna) وبالتالي حجمه في حالة الإرسال اللاسلكي. إذ أن أبعاد الهوائي تتناسب مع طول موجة الإشارة المراد إرسالها ويعطى طول الموجة هذا بقسمة سرعة الموجة الكهرمغنطيسية على تردد الإشارة وبالتالي يقل مع زيادة التردد.
- تقليل أثر الضجيج المحيط (ambient noise) على الإرسال اللاسلكي، إذ أن قدرة الضجيج المحيط تنخفض مع زيادة التردد حتى حوالي 2GHz.

أما خلط إشارات البيانات فيقصد به جمع أكثر من إشارة بيانات وضمها إلى بعضها كإشارة مخلوطة بغرض إرسال كل هذه الإشارات في نفس قناة الإرسال وذلك لتخفيض كلفة الإرسال. وهنالك عدة طرائق لخلط الإشارات منها الخلط بتقسيم التردد (frequency-division multiplexing,FDM) والخلط بتقسيم الزمن (time-division multiplexing,TDM) والخلط بتقسيم الشفرة (code-division multiplexing,CDM) والخلط بتقسيم المكان (space-division multiplexing,SDM).

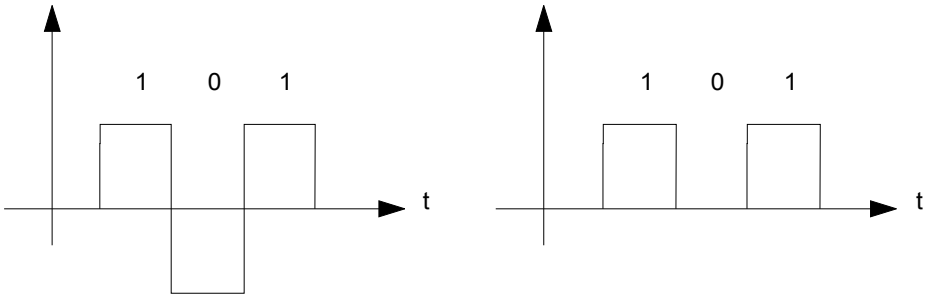
1. ترميز الخط

هنالك طرائق عديدة من طرائق ترميز الخط لكل منها خواصها التي تميزها عن الطرائق الأخرى. ومن هذه الطرائق طريقة عكس العلامة المتناوب (alternate mark inversion, AMI) للتخلص من المكون المباشر (dc) في الإشارة وتوهين مكوناتها ذات الترددات المنخفضة، وطريقة الترميز ثنائي القطبية عالي الكثافة وهو تحسين للطريقة السابقة أي طريقة عكس العلامة المتناوب ليس فقط لضمان التخلص من المكون المباشر وتوهين المكونات عند الترددات الدنيا بل أيضاً للحصول على نقلات سريعة (fast transitions) في إشارة البيانات من اتساع لآخر تمكِّن المستقبل من التزامن (synchronization) معها، لأن عدم حدوث النقلات في الإشارة لفترة طويلة يسلب المستقبل القدرة على التزامن معها وبالتالي يسلبه القدرة على كشف الأرقام الثنائية (detection of binary digits) بصورة صحيحة.

1.1 طريقة عكس العلامة المتناوب

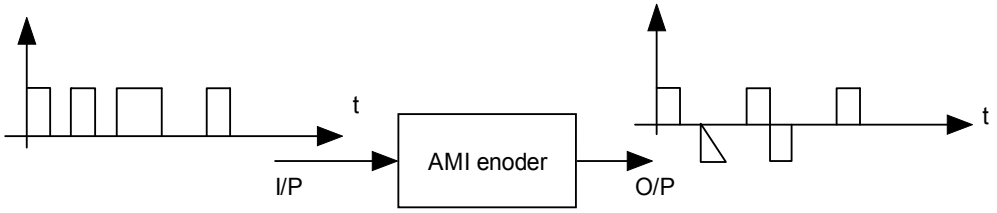
تكون الإشارة الرقمية عادة ثنائية أحادية القطبية (binary unipolar) وهي خارجة من مصدرها. تُعرف بأنها ثنائية لأن اتساعها يأخذ إحدى قيمتين. وتُعرف بأنها أحادية القطبية لأن كلا قيمتي اتساع الإشارة بنفس القطبية (polarity) مثلاً موجبة وعادة تكون إحدى القيمتين صفراً. أما إذا كانت الإشارة ثنائية القطبية (bipolar) فإن إحدى قيمتي الاتساع تكون موجبة وتكون القيمة الأخرى سالبة، أنظر الشكل(4-1).

نرى من هذا الشكل أيضاً أن الإشارة الثنائية تتكون من نبضات تكون عادة مستطيلة، ويطلق عليها مصطلح الأرقام الثنائية وهما الرقمان1 و0 كما هو موضح في هذا الشكل. وكانا يسميان في السابق العلامة (أي الإشارة) (mark) و الفراغ (الفضاء) (space) ومن هذه التسمية جاءت تسمية طريقة عكس العلامة المتناوب، حيث يتم عكس اتساع الرقم الثنائي "1" بالتناوب بين القيمتين 1 و 1- مثلاً ويترك اتساع الرقم "0" صفراً كما كان، أنظر الشكل(4-2).



إشارة ثنائية ثنائية القطبية إشارة ثنائية أحادية القطبية

الشكل(4–1): إشارتان ثنائيتان إحداهما أحادية القطبية والأخرى ثنائية القطبية



الإشارة الداخلة إلى المرمز مرمز عكس العلامة المتناوب الإشارة الخارجة من المرمز

الشكل(4–2): إشارة ثنائية أحادية القطبية داخلة إلى مرمز عكس العلامة المتناوب وتخرج منه إشارة ثلاثية الاتساع (tertiary) حيث يتم عكس قطبية العلامة "1" ويظل اتساع الفراغ "0" صفراً.

هذه الطريقة بسيطة وتعطي نتائج جيدة عندما تكون الإشارة الثنائية غنية بالأرقام من النوع "1" متخللة الأرقام من النوع "0". ففي هذه الحالة يمكِّن التغير المتواصل في اتساع الإشارة المستقبلة من المحافظة على تزامن المستقبل مع هذه الإشارة. أما إذا انقطعت الأرقام من النوع "1" ولم تظهر في الإشارة لفترة طويلة فإن وجود الأصفار فقط خلال هذه الفترة الطويلة، وهي لا تحتوي على تغير في الاتساع، يُفقِد المستقبل تزامنه مع الإشارة المستقبلة. وهذه من مثالب طريقة عكس العلامة المتناوب. ولتلافي

هذا القصور اقترح تعديل لهذه الطريقة نتجت عنه ما يعرف بطريقة الترميز ثنائي القطبية عالي الكثافة (high-density bipolar-n(HDB-n) encoding).

2.1 الترميز ثنائي القطبية عالي الكثافة

بنيت طريقة الترميز ثنائي القطبية عالي الكثافة على طريقة عكس العلامة المتناوب. وفي الواقع يعمل المرمز ثنائي القطبية عالي الكثافة حسب قاعدة عكس العلامة المتناوب (AMI rule) حتى ترد بالإشارة الداخلة أصفار متتابعة عددها أكبر من n ، وعندئذٍ يتعامل المرمز مع مجموعات من الأصفار بطول (n+1) ويستبدل كل مجموعة بأخرى لها نفس الطول إلا أنها تحتوي على رقم أو اثنين من الأرقام من النوع "1" بدلاً عن بعض الأصفار للحصول على تغير في الاتساع يساعد المستقبل على الحفاظ على تزامنه مع الإشارة المستقبلة. هذه الأصفار المستبدلة جزء أصيل من البيانات المرسلة، أما الأرقام من النوع "1" التي حلت محل هذه الأصفار فهي ليست جزءاً من البيانات، ويجب تمكين المستقبل من تمييزها عند الاستقبال واستبدالها مرة أخرى بالأصفار.

أفرض أن n تساوي 3 وبافتراض إشارة داخلة إلى المرمز كما موضح أدناه تكون الإشارة المشفرة الخارجة كما موضح أيضاً تحتها.

10 1 1 100 1110 1001000000 1010 1 0000 0000 000 0 01 إشارة داخلة

10-11-1001-110-1001000100-1010-1000-11001-100-101الإشارة الخارجة

بفحص الإشارة الخارجة يلاحظ أنه عندما تكون الأصفار بين كل رقمين من النوع "1" أقل من 4 كما في هذا المثال أو عموماً أقل من (n+1)، يعمل المرمز حسب قاعدة عكس العلامة المتناوب. أما في حالة تتابع (n+1) أو أكثر من الأصفار فإن المرمز يستبدل كل مجموعة منها ذات طول (n+1) بأي من المجموعتين 00…0V أو M0…0V حيث M رقم من النوع "1" بقطبية توافق قاعدة عكس العلامة المتناوب و V

رقم من النوع "1" بقطبية تخالف هذه القاعدة أي له نفس قطبية الرقم من النوع "1" السابق.

يتم الاستبدال بالمجموعة الأولى عندما يكون عدد الأرقام من النوع "1" منذ آخر استبدال فردياً وبالمجموعة الثانية عندما يكون هذا العدد زوجياً. يمكن استخدام أي من المجموعتين في حالة أول استبدال. ففي المثال السابق تم أول استبدال بالمجموعة الأولى (من اليسار إلى اليمين)، ولما كان عدد الأرقام من النوع "1" بعد هذا الاستبدال وقبل الاستبدال اللاحق فردياً استخدمت المجموعة الأولى للاستبدال اللاحق أيضاً. أما الاستبدال الثالث والاستبدال الرابع فاستخدمت فيهما المجموعة الثانية (لماذا؟). لو حسبت الأرقام من النوع "1" لكل من القطبيتين في الإشارة المرمزة لوجد أنهما بنفس العدد تقريباً مما يعني تحقق كلا المطلوبين أي إزالة المكون المباشر وتوهين الترددات المنخفضة وتوفر نقلات في اتساع الإشارة الرقمية تمكن المستقبل من التزامن مع الإشارة المستقبلة.

3.1 شفرات أخرى

هنالك شفرات أخرى عديدة لكل منها مزاياها ومثالبها ومنها الشفرات التي لا تعود للصفر (non-return-to-zero, NRZ, codes) والشفرات ثنائية الطور (biphase codes). ومن الشفرات التي لا تعود للصفر ما يعرف بالشفرة ذات الاتساع الذي لا يعود للصفر(non-return-to-zero-level, NRZ-L) وهي شفرة يُمثل فيها كل من الرقمين الثنائيين باتساع ثابت في كل المدى الزمني للرقم المعني. عادة يمثل الواحد بجهد سالب القطبية ويمثل الصفر بعدم وجود جهد. وهذه الشفرة هي المستخدمة عادة لإصدار البيانات الرقمية (digital data) وتمييزها بواسطة الأجهزة الطرفية وغيرها. أما في حالة الرغبة في إرسال البيانات بشفرة أخرى فإنها تُولَّد من الإشارة ذات الاتساع الذي لا يعود للصفر (NRZ-L signal) بواسطة المرسل.

ومنها أيضاً الشفرة ذات الاتساع الذي لا يعود للصفر مع العكس عند الواحد (NRZ-I) أي (non-return-to-zero, invert on ones) وهي شكل آخر من

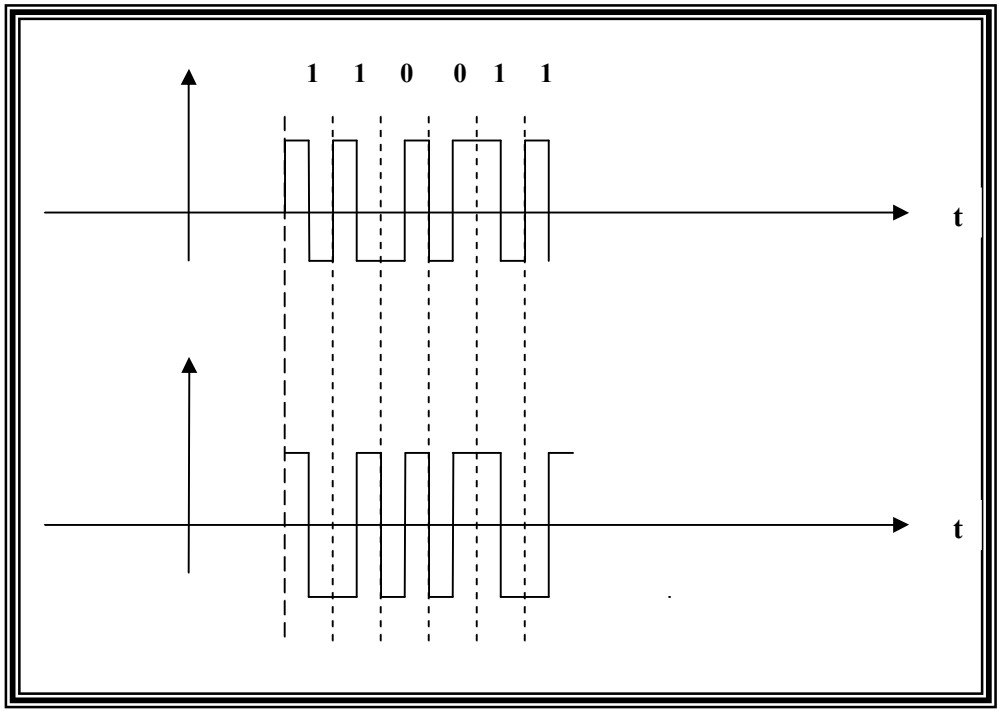
أشكال الشفرة ذات الاتساع الذي لا يعود للصفر. وفيها يكون اتساع الرقم ثابتاً طيلة فترته الزمنية. وترمَّز البيانات كوجود نقلة في اتساع الإشارة (من منخفض لمرتفع أو من مرتفع لمنخفض) (low-to-high or high-to-low) أو عدم وجودها عند بداية فترة الرقم الزمنية. يرمُز الانتقال عند بداية فترة الرقم إلى الواحد لهذه الفترة الزمنية و يرمُز عدم الانتقال إلى الصفر. وهذه الشفرة مثال للترميز التفاضلي حيث تُفك شفرة الإشارة بمقارنة قطبيات الأرقام الثنائية المتجاورة وليس بتمييز اتساع الأرقام. ومن مزايا هذه الطريقة أن كشف نقلات الاتساع في حالة إضافة الضجيج للإشارة أوثق من مقارنة اتساع الأرقام الثنائية باتساع مرجعي (reference amplitude, threshold) ، كما أنه من الممكن لخطأ ما، مثل عكس الموصلين في بعض الحالات، فقد اتجاه القطبية في حالة الشفرات ذات الاتساع الذي لا يعود للصفر وبالتالي حدوث أخطاء عند كشف الأرقام الثنائية، أما النقلات تظل موجودة وعكس اتجاهها ليس له تأثير على كشف الأرقام الثنائية. وكلا الطريقتين تتميزان بالبساطة وكفاءة استخدام القناة لضيق عرض نطاق الإشارة مقارنة بالشفرات ثنائية الطور إلا أنهما يعانيان من وجود مكون مباشر (dc) في الإشارة والافتقار للقدرة على التزامن (synchronization). ولذلك كان لا بد من تحويل هذه الإشارات إلى إشارات ثلاثية باستخدام بعض طرائق ترميز الخط السالف ذكرها مثل طريقة عكس العلامة المتناوب والترميز ثنائي القطبية عالي الكثافة، أنظر الشكل(4-2).

4.1 شفرات مانشستر

وهناك أيضاً الشفرات ثنائية الطور مثل شفرة مانشستر(Manchester code) وشفرة مانشستر التفاضلية (differential Manchester code). وشفرات مانشستر من مجموعة الشفرات ثنائية الطور (biphase codes) التي تتغلب على قصور الشفرات ذات الاتساع الذي لا يعود للصفر (NRZ codes) السالف ذكرها. ففي شفرة مانشستر يوجد انتقال من سالب إلى موجب في منتصف الرقم الثنائي "1" ومن موجب إلى سالب في منتصف الصفر. يساعد هذا الانتقال في التزامن وأيضاً في تمييز

البيانات.أي أن الصفر يرمَّز بنبضة ذات اتساع موجب في نصف مداها الزمني الأول واتساع سالب في النصف اللاحق، ويرمَّز الواحد بنبضة ذات اتساع سالب في نصف مداها الزمني الأول واتساع موجب في النصف اللاحق، أنظر الشكل(4-3).

وفي حالة شفرة مانشستر التفاضلية يوجد انتقال من قطبية لأخرى في منتصف كل رقم ثنائي لتحقيق التزامن فقط، ويميز الصفر بوجود انتقال إضافي عند بداية الرقم الثنائي، ولا يوجد انتقال عند بداية النبضة في حالة الواحد، أنظر الشكل(4-3).



الشكل(4-3): شفرة مانشستر(أعلى) وشفرة مانشستر التفاضلية(أسفل)

5.1 الترميز من ثنائي إلى ثلاثي

هنالك نوع من أنواع الترميز يعرف بالترميز من ثنائي إلى ثلاثي يتمثل في ترميز مجموعات ثنائية بمجموعات ثلاثية ذات طول أقل، للحصول على ما يسمى بترميز MBNT، حيث ترمز المجموعات الثنائية الأصلية ذات الطول M بمجموعات

ثلاثية ذات طول N، لتخفيض معدل إرسال البيانات بالمعامل $\frac{N}{M}$ أي ليصبح معدل إرسال البيانات باستخدام الشفرة الثلاثية $\frac{NB}{M}$ حيث B هو معدل الإرسال في حالة استخدام الشفرة الثنائية الأصلية. نلاحظ أن M و N يختاران بحيث يكون عدد المجموعات الثلاثية الممكنة وهو 3N أكبر من عدد المجموعات الثنائية الممكنة وهو 2M، للتمكن من اختيار مجموعات ثلاثية ذات خواص معينة. مثلاً إذا كانت M تساوي 8 وN تساوي 6 يكون عدد المجموعات الثنائية 256 وعدد المجموعات الثلاثية 729 مجموعة يمكن اختيار 256 مجموعة فقط منها لتمثيل المجموعات الثنائية. كما أن معدل الإرسال وكذلك عرض نطاق الإرسال ينخفضان بمقدار الربع أي بمقدار 25%.

أسئلة تقويم ذاتي

1. ما هي الأغراض التي يمكن أن تتحقق من عملية ترميز البيانات؟
2. ما هي مثالب طريقة عكس العلامة المتناوب؟
3. أكمل التالي:
4. في شفرة مانشستر يوجد انتقال من ..... إلى موجب في.... الرقم الثنائي ".." ومن موجب إلى .... في منتصف ..... يساعد هذا الانتقال في ..... وأيضاً في تمييز البيانات.

2. الترميز لكشف الأخطاء

إن من مزايا إرسال الإشارات الرقمية إمكانية ترميزها عند الإرسال ليتمكن المستقبل من كشف الأخطاء (error detection) أو كشف وتصحيح الأخطاء (error detection and correction) التي يمكن أن تتعرض لها الإشارة الرقمية. في كلا الحالتين تضمن الإشارة الثنائية أرقاماً ثنائية إضافة لأرقام المعلومات الأصلية وتُختار

هذه الأرقام الإضافية بطريقة منظمة (systematic) تمكن المستقبل من كشف الأخطاء أو كشفها وتصحيحها. وتعتبر هذه الأرقام الإضافية فائضاً (redundancy) ضرورياً لعمليات كشف وتصحيح الأخطاء إلا أنه يقلل من كفاءة الإرسال إذ أن جزءاً من زمن الإرسال يستخدم في إرسال هذا الفائض وهو ليس جزءاً من المعلومات، كما أن عمليات الترميز في المرسل والمستقبل تتطلب إضافات في الدوائر وربما في العتاد المرن (software) أيضاً.

يساعد الترميز لكشف الأخطاء المستقبل في كشف الأخطاء فقط، مثلاً لحصرها ومتابعة حالة القناة أو الوصلة (link) كما في بعض التطبيقات وإرسال ما يفيد بذلك للمرسل أو أي جهة أخرى تحتاج لهذه المعلومة مثل نظام الإدارة (management system) مثلاً. أما في حالة إرسال البيانات فبعد كشف خطأ ما يطلب المستقبل من المرسل إعادة إرسال البيانات التي اكتشف بها أخطاءً عند استقبالها، وتسمى هذه الطريقة طلب الإعادة (إعادة الإرسال) التلقائي (automatic repeat request, ARQ) وعن طريق هذه الإعادة يرجى أن تستقبل البيانات هذه المرة بدون أخطاء. ويظل المرسل محتفظاً بالبيانات التي أرسلت إلى أن يؤكد له المستقبل استلامها بدون خطأ.

قد تسبق عملية كشف الأخطاء عملية كشف وتصحيح الأخطاء. يكون الهدف في هذه الحالة تقليل عملية طلب الإعادة التلقائي لزيادة كفاءة الإرسال وبالتالي كفاءة استغلال القناة أو الوصلة. فتجرى عملية كشف وتصحيح الأخطاء أولاً ثم بعد ذلك تُجرى عملية كشف الأخطاء المتبقية لأن كل شفرة تصحيح أخطاء لها قدرة محدودة على تصحيح الأخطاء وبالتالي عند كشف أي أخطاء متبقية يطلب المستقبل من المرسل إعادة إرسال البيانات حتى يتأكد المرسل من استقبالها صحيحة وتأكيد ذلك للمرسل. أما إذا تم تصحيح الأخطاء لن تكون هنالك أخطاء متبقية ولن تكون هنالك حاجة لإعادة إرسال البيانات بل يستخدم الوقت لإرسال بيانات أخرى جديدة مما يزيد من كفاءة استغلال القناة.

1.2 فحص التطابق

إن من أبسط طرائق الترميز لكشف الأخطاء إضافة رقم ثنائي واحد إلى كل مجموعة من الأرقام الثنائية التي يراد إرسالها. يسمى هذا الرقم المضاف رقم فحص التطابق (parity-check digit)، ويتم اختيار نوع رقم فحص التطابق ليصبح عدد الأرقام من النوع "1" في المجموعة بعد الإضافة زوجياً في حالة ما يعرف بطريقة فحص التطابق الزوجي (even parity check) أو فردياً في حالة ما يعرف بطريقة فحص التطابق الفردي (odd parity check). مثلاً إذا كانت مجموعات الأرقام الثنائية المراد إرسالها مكونة من 8 أرقام فإنه في حالة فحص التطابق الزوجي ترسل المجموعة 10010110 التي بها أصلاً عدد زوجي من الأرقام من النوع "1" بإلحاق (appending) صفر إلى نهايتها هكذا: 100101100 أما المجموعة 01100100 فترسل بعد إلحاق رقم من النوع "1" إلى نهايتها هكذا: 011001001 ليصبح عدد هذه الأرقام زوجياً. نلاحظ أن كفاءة الإرسال في هذه الحالة تساوي $\frac{8}{9}$ أو90%.

تعمل هذه الطريقة بصورة جيدة في حالة حدوث الأخطاء متفرقة (isolated errors) أي ما يسمى بالأخطاء العشوائية (random errors) . فإذا كانت هذه الأخطاء نادرة وهو المتوقع فعلياً في أي نظام إرسال مصمم بطريقة جيدة، فإنه من النادر حدوث أكثر من خطأ في مجموعة ما ولو حدث ذلك فإنه يحدث باحتمال ضئيل جداً. وحدوث خطأ في مجموعة ما يغير عدد الأرقام من النوع "1" من زوجي إلى فردي ومن فردي إلى زوجي. ومهمة المستقبل التأكد من تطابق الإشارة المستقبلة مع الإشارة المرسلة. فإذا وصلت الإشارة إلى كاشف الإشارة في المستقبل بدون خطأ فإن كل مجموعة تكون محتفظة بعدد الأرقام من النوع "1" الذي أرسلت به فعندما يتحقق المستقبل من ذلك يعتبرها وصلت سليمة بدون خطأ. وفي حالة حدوث خطأ في مجموعة ما يلاحظ المستقبل تغير عدد الأرقام من النوع "1" من زوجي إلى فردي أومن فردي إلى زوجي وبذا يكتشف حدوث الخطأ.

عند استقبال أي مجموعة من مجموعات الأرقام الثنائية بواسطة المستقبل تجمع أرقامها الثنائية جمعاً ثنائياً بدون حمل وهو ما يعرف بجمع المعامل 2 (modulo-2 addition) وهي عملية جمع مكافئة للعملية المنطقية (logical operation) التي تعرف بعملية الانتقاء المنْعي(الحصري) (exclusive ORing) ويكون الناتج 0 إذا كان عدد الأرقام من النوع "1" زوجياً، أما إذا كان عددها فردياً فيكون الناتج 1. إذن إذا كان الناتج 0، في حالة استخدام فحص التطابق الزوجي عند الإرسال، فيعني ذلك استقبال المجموعة بدون خطأ أو بعدد زوجي من الأخطاء لا يمكن كشفها (لماذا؟) وهو أمر نادر الحدوث. أما إذا كان الناتج 1 فيعني ذلك استقبال المجموعة بخطأ واحد أو عدد فردي من الأخطاء يكتشفها المستقبل.

2.2 الفحص الدوري بالفائض

إن من أهم طرائق فحص التطابق المستخدمة لكشف الأخطاء ما يعرف بطريقة الفحص الدوري بالفائض (cyclic redundancy check, CRC) ، وهي إحدى طرائق كشف الأخطاء التي يستخدم فيها ما يعرف ب الكُتلة (block coding) أي مجموعة من الأرقام الثنائية المتجاورة. في هذه الحالة تقسم الإشارة الثنائية إلى مجموعات بعدد متساوٍ من الأرقام الثنائية يطلق عليها مصطلح الكتلة أو الإطار (frame) أو الرزمة (packet) ويضاف لكل مجموعة عدد محدد من الأرقام الثنائية التي تحسب من أرقام المجموعة الأصلية في ضوء خوارزمية (algorithm) منطقية معينة ويستغل هذا العدد بواسطة المستقبل لكشف حدوث الأخطاء التي تتعرض لها المجموعة الأصلية.

ففي طريقة الفحص الدوري بالفائض يضاف لكل مجموعة أرقام ثنائية ما يسمى بأرقام الفحص الدوري بالفائض وعددها 16 أو 32 رقماً، أنظر الشكل(4-4).

أرقام الفحص الدوري	مجموعة الأرقام الأصلية

الشكل(4-4): إضافة أرقام الفحص الدوري للأرقام الأصلية

وتحسب مجموعة أرقام الفحص الدوري بالفائض كمتبقي عملية قسمة متعددة الحدود (polynomial) التي تمثل مجموعة الأرقام الثنائية الأصلية بعد إزاحة (its shift) متعددة الحدود هذه إلى اليسار 16 أو 32 موضعاً قدر طول مجموعة الفحص الدوري. ثم تقسم متعددة حدود مجموعة الأرقام المزاحة على متعددة حدود تعرف بمتعددة حدود الفحص الدوري بالفائض (CRC polynomial) و التي درجتها (its 16 degree) أو 32، وهي أيضاً تمثل مجموعات أرقام ثنائية، ويرمز أس المتغير (exponent of the variable) في متعددات الحدود هذه إلى موضع الرقم الثنائي في مجموعة الأرقام الثنائية و يشير معامل المتغير (1 أو 0) إلى نوع الرقم الثنائي. فلنفترض إشارة ثنائية قسمت إلى مجموعات ذات طول k فكل مجموعة يمكن أن تمثل بمتعددة الحدود التالية:

$$b(x)=b_{k-1}x^{k-1}+b_{k-2}x^{k-2}+\ldots+b_2x^2+b_1x+b_0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4.1)$$

حيث المعاملات bj تأخذ إحدى القيمتين 1 أو 0 وتمثل الرقم الثنائي، أما المتغير xj فإن أُسَّه يمثل موضع ذلك الرقم داخل المجموعة. مثلاً يمكن تمثيل المجموعة 101101 بمتعددة الحدود b(x)=x5+x3+x2+1 باعتبار الرقم الثنائي ذي أعظم أهمية (most significant bit, MSB) يقع في يسار المجموعة. ولنفترض أن متعددة حدود فحص الفائض التي يراد استخدامها لها طول r وهي:

$$g(x)=g_{r-1}x^{r-1}+g_{r-2}x^{r-2}+\ldots+g_2x^2+g_1x+g_0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4.2)$$

الآن تتم إزاحة (shift) متعددة حدود مجموعة الأرقام الثنائية إلى اليسار r موضعاً وملء المواضع التي تشغر على اليمين بعدد r من الأصفار ثم قسمتها على متعددة حدود فحص الفائض لتعطي حاصل القسمة q(x) والمتبقي r(x) أي:

$$\frac{x^r b(x)}{g(x)}=q(x)+\frac{r(x)}{g(x)}$$

$$x^r b(x)=q(x)g(x)+r(x) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4.3)$$

تتم هذه القسمة باستخدام حساب المعامل 2 عند جمع وطرح معاملات المتغير x الثنائية حيث 1=1-0=1+0=0+1=0-1 و 0=0+0=1-1=0+1 . مثلاً إذا افترضنا أن g(x)=x+1 فإنه بعد إزاحة المجموعة b(x)=x5+x3+x2+1 موضعين إلى اليسار وقسمتها بعد ذلك على g(x) تعطي خارج القسمة q(x)=x6+x5+x3+x2 والمتبقي r(x)=0 كما يلي:

$$
\begin{array}{r}
x^6 + x^5 + x^3 + x^2 \quad \leftarrow q(x) \\
\hline
g(x) \rightarrow x+1 \;\big)\; x^7 \quad + x^5 + x^4 + x^2 \leftarrow b(x) \\
x^7 + x^6 \\
\hline
x^6 + x^5 + x^4 + x^2 \\
x^6 + x^5 \\
\hline
x^4 \quad + x^2 \\
x^4 + x^3 \\
\hline
x^3 + x^2 \\
x^3 + x^2 \\
\hline
0 \leftarrow r(x)
\end{array}
$$

هذا المتبقي يمثل أرقام الفحص الدوري بالفائض التي تضاف إلى مجموعة الأرقام الثنائية الأصلية المزاحة للحصول على الإطار (frame) الكلي الذي يعبر عنه بمتعددة الحدود f(x) التي يمكن التعبير عنها بالعلاقة التالية:

$$
\begin{aligned}
f(x) &= x^r b(x) + r(x) \\
&= q(x)g(x) + r(x) + r(x) \\
&= q(x)g(x) \qquad \text{..... ....} \qquad (4.4)
\end{aligned}
$$

أي أن متعددة الحدود f(x) والتي تمثل الإطار الناتج قابلة للقسمة على متعددة حدود الفحص الدوري بالفائض. إذن من الممكن عند الاستقبال قسمة f(x) المستقبلة على g(x) المعلومة لدى المستقبل، فإذا كان الناتج صفراً يعني ذلك وصول الإطار بدون أخطاء في أي من الأرقام الثنائية التي تكونه أو حدوث بعض الأخطاء التي ينتج عنها إطار جديد تقابله متعددة حدود تقبل القسمة على g(x)، وفي هذه الحالة يتعذر كشف الأخطاء. أما إذا كان حاصل القسمة غير الصفر، فيعني ذلك حدوث خطأ أو أكثر في أحد أو بعض أرقام الإطار.

وللحصول على نظام كشف أخطاء جيد مبني على طريقة الفحص الدوري بالفائض، يصبح من المهم جداً اختيار متعددة حدود فحص الفائض g(x) بخواص تمكن من اكتشاف الأخطاء بصورة جيدة. فلنفترض أن الإطار المرسَل استقبل وبه بعض الأخطاء. يمكن أن نمثل الإطار المستقبل في هذه الحالة بمتعددة الحدود $f'(x)$ وعند قسمتها على g(x) نحصل على النتيجة الموضحة في المعادلة (4.5).

$$\frac{f'(x)}{g(x)} = \frac{f(x)+e(x)}{g(x)} = \frac{f(x)}{g(x)} + \frac{e(x)}{g(x)} = \frac{e(x)}{g(x)} \qquad \text{.....} \quad (4.5)$$

في المعادلة (4.5) عُبِّر عن متعددة الحدود التي تمثل الإطار المستقبل بمجموع متعددة الحدود التي تمثل الإطار المرسل وما يعرف بمتعددة الحدود الممثلة لتركيبة الأخطاء (error pattern). ومتعددة حدود تركيبة الأخطاء e(x) لها نفس طول الإطار المرسل ومكونة من أصفار في كل المواضع ما عدا المواضع التي بها أخطاء في الإطار المستقبل حيث تكون الأرقام من النوع "1". مثلاً إذا كان الإطار المرسل هو 1010011101 والإطار المستقبل هو 1011010101 نتيجة لحدوث خطأين في الموضعين الرابع والسابع فإن تركيبة الأخطاء تكون 0001001000 وهي أصفار في كل المواضع ما عدا الموضعين الرابع والسابع حيث الأرقام من النوع "1". ولاكتشاف هذه الأخطاء يجب أن تكون تركيبة الأخطاء e(x) غير قابلة للقسمة على g(x) أي

عندما تقسم عليها تعطي متبقياً. إذن لا يستطيع المستقبل كشف الخطأ الذي تنتج عنه تركيبة أخطاء e(x) تقبل القسمة على متعددة حدود فحص الفائض g(x).

يمكن اختيار g(x) بخواص تمكن من اكتشاف كل الأخطاء المنفردة (single errors) التي تطال الأرقام الثنائية، وجميع الأخطاء المزدوجة (double errors) شريطة أن تحتوي g(x) على ثلاثة حدود، وأي عدد فردي من الأخطاء ما دام g(x) تحتوي على العامل (x+1) ، وأي مجموعة أخطاء متتابعة (burst error) إذا كان طولها أقل من طول g(x) أي أقل من عدد أرقام الفحص الدوري بالفائض، وأغلب مجموعات الأخطاء المتتابعة الأطول.

ففي حالة الخطأ المنفرد تساوي متعددة الحدود التي تمثل تركيبة الأخطاء xj حيث j هو موضع الخطأ في الإطار المستقبل ولن تقبل e(x) القسمة على g(x) مادامت الأخيرة مكونة من حدين على الأقل. وفي حالة خطأين في الموضعين j و i حيث j>i فإن متعددة حدود تركيبة الأخطاء تصبح e(x)=xj+xi=xi(xj-i+1) وفي هذه الحالة لن تقبل e(x) القسمة على g(x) إذا كان طول الإطار المرسل أقل من (2r – 1) حيث r تمثل طول g(x)، كما أن أي مجموعة أخطاء متتابعة بطول n أقل من طول g(x) تؤدي إلى متعددة حدود تركيبة أخطاء يمكن تمثيلها بحاصل ضرب عاملين كما في المعادلة (4.6) كلاهما لا يقبل لقسمة على g(x) وإذن لا تقبل e(x) القسمة على g(x) ولذا يمكن كشف مجموعة الأخطاء المتتابعة.

$$e(x)=e_l x^l+e_{l-1}x^{l-1}+e_{l-2}x^{l-2}+\ldots+e_{l-n+2}x^{l-n+2}+e_{l-n+1}x^{l-n+1}$$
$$=x^{l-n+1}\left(e_l x^{n-1}+e_{l-1}x^{n-2}+\ldots+e_{l-n+2}x+e_{l-n+1}\right) \quad \ldots\ldots\ldots (4.6)$$

أسئلة تقويم ذاتي

أكمل التالي:

تعمل طريقة .....بصورة جيدة في حالة حدوث الأخطاء .....متفرقة (errors.....) أي ما يسمى بالأخطاء..... (.....errors) .

3. الترميز لتصحيح الأخطاء

كمثال لنظم الترميز لتصحيح الأخطاء نتطرق باختصار لنظام تصحيح الأخطاء المستخدم لشفرات الكتلة (block codes). ومن نظم الترميز الأخرى الهامة المستخدَمة لتصحيح الأخطاء ما يعرف بالشفرات الالتفافية (convolutional codes). في حالة شفرات الكتلة فإن إشارة البيانات تقسم إلى مجموعات بكل مجموعة عدد محدد من الأرقام الثنائية ليكن هذا العدد k. يضاف لهذه المجموعة عدد r رقماً ثنائياً لأغراض كشف الأخطاء أو كشف وتصحيح الأخطاء. وتصبح المجموعة بطول n حيث n=k+r وتكون كفاءة الإرسال من حيث استغلال سعة القناة $\frac{k}{n}$ لأن كل n من الأرقام المرسلة تحتوي على k فقط من أرقام المعلومات.

تسمى الأرقام المضافة أرقام فحص التطابق (parity-check digits) ويتم اختيارها بصورة منظمة (systematic) تمكِّن المستقبل من كشف الأخطاء وتصحيحها. وتستخدم لهذا الغرض ما يعرف بمصفوفة فحص التطابق (parity-check matrix) والتي تصمم بخواص تمكن من استغلال أرقام فحص التطابق الناتجة بكفاءة عالية في كشف وتصحيح الأخطاء.

إذا مُثِّلت مجموعة الأرقام الثنائية ذات الطول k المراد إرسالها بمتجهة صفية (row vector) هي:

$$[b]=[b_1\ b_2\ b_3\cdots b_k] \qquad \text{.....} \qquad (4.7)$$

تصبح هذه المجموعة بعد إضافة أرقام فحص التطابق مجموعة مرمزة هي:

$$[d]=[b_1\ b_2\ b_3\cdots b_k\ c_1\ c_2\cdots c_r] \qquad \text{.....} \qquad (4.8)$$

وتستخدم مصفوفة فحص التطابق [H] للحصول على أرقام فحص التطابق [C].

وتعطى [H] التي عناصرها hjk تساوي 1 أو 0 بما يلي:

$$[H]=[h:I]=\begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & \cdots & h_{1k} & 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & \cdots & h_{2k} & 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ h_{r1} & h_{r2} & h_{r3} & \cdots & h_{rk} & 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \qquad \text{.....} \qquad (4.8)$$

ونحصل على [C] من المعادلات التالية:

$$[H][d]^T=[0] \qquad \text{.....} \qquad (4.9)$$

باستخدام حساب المعامل 2 (modulo-2 arithmetic) ، وعادة نحصل على المجموعة المرمزة [d] مباشرة من مصفوفة الإصدار [G] هكذا:

$$[d]=[b][G] \qquad \text{.....} \qquad (4.10)$$

وتُعطى مصفوفة الإصدار (generator matrix) بما يلي:

$$[G]=[I:h^T] \qquad \text{.....} \qquad (4.11)$$

حيث [I] هي مصفوفة الوحدة (identity matrix) و [h]T هي منقول [h] وهما في هذه الحالة مصفوفتان جزئيتان (partition matrices) من مصفوفة فحص التطابق [H] كما موضح في المعادلة (4.8) .

عند حدوث أخطاء يستقبل المستقبل المجموعة [q] بدلاً عن المجموعة الأصلية [d] حيث:

$$[q]=[d]+[e] \qquad \text{.....} \qquad (4.12)$$

وتعرف [e] بتركيبة الأخطاء (error pattern) وهي مجموعة أرقام ثنائية يطابق موضع كل رقم من النوع "1" بها موضع حدوث خطأ في المجموعة الأصلية [d]، أي إذا أرسلت المجموعة [1001010]=[d] واستقبلت بدلاً عنها المجموعة [1011000]=[q] فإن تركيبة الأخطاء تكون [0010010]=[e] وتشير إلى حدوث خطأين في الموضعين الثالث والسادس من الجانب الأيسر. وتحتوي تركيبة الأخطاء على أصفار فقط في حالة عدم حدوث أخطاء.

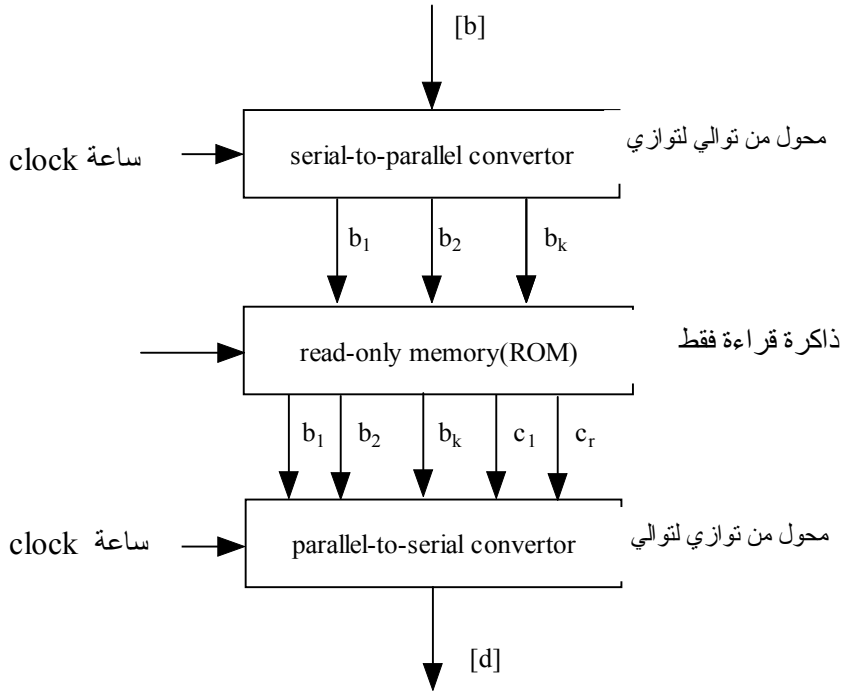
إذا صُمِّمت مصفوفة فحص التطابق لتحقق المعادلة (4.9) يصبح المستقبل قادراً على كشف حدوث الأخطاء أو عدم حدوثها بحساب ما يسمى بمتجهة السِندروم أي متجهة الأعراض المتزامنة (syndrome) هكذا:

$$[S]=[H][q]=[H][d]^T+[H][e]^T=[H][e]^T \qquad \text{.....} \qquad (4.13)$$

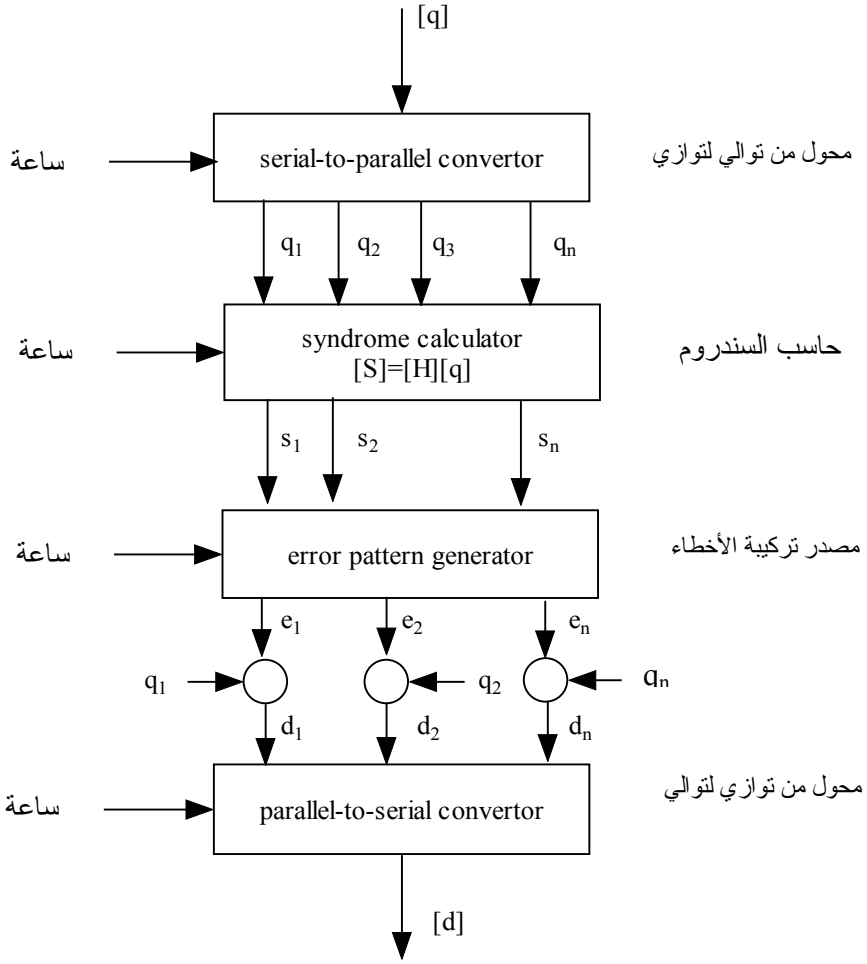
وهي متجهة عمودية (column vector) تُعطى عناصرها بحاصل جمع عناصر أعمدة مصفوفة فحص التطابق [H] التي تقابل مواضع الأخطاء. فإذا حدث خطآن في الموضعين j و k فإن [S] تكون:

$$\begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \vdots \\ S_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1j}+h_{1k} \\ h_{2j}+h_{2k} \\ \vdots \\ h_{nj}+h_{nk} \end{bmatrix} \qquad \text{.....} \qquad (4.14)$$

يعطي الشكل(4-5) مخططاً منطقياً لأحد نظم كشف وتصحيح الأخطاء المستخدم لشفرات الكتلة وطريقة فحص التطابق.



(أ) مرمِّز كُتْلي مستخدم لذاكرة قراءة فقط (ROM)



(ب) مزيل ترميز الكتلة

الشكل(4-5): مخطط لمرمِّز ومزيل ترميز الكتلة

1.3 الترميز لأغراض السِّرِّية

إن سرية البيانات المرسلة أمر مهم جداً في كثير من التطبيقات، إذ من المفترض أن تصل هذه البيانات للطرف المقصود بعينه وليس لأحد سواه. وحتى إذا تمكن طرف ثالث من اعتراض الإشارة المرسلة، وهو أمر متاح في حالة الإرسال اللاسلكي وممكن في حالة الإرسال السلكي، ونجح هذا الطرف في استخلاص البيانات المرسلة يجب أن لا يتمكن من فهم محتوى هذه البيانات. إن ذلك يتطلب ما يعرف بترميز البيانات للسرية (encryption). إن استخدام الترميز للسرية يعني زيادة في كلفة الإرسال إلا إنه ضروري في حالة البيانات الهامة مثل البيانات التجارية والأمنية.

هنالك طرائق عديدة استخدمت في الماضي وفي الحاضر لترميز البيانات لحفظ سريتها ولتمكين الطرف المقصود فقط من فهم مضمونها.

أسئلة تقويم ذاتي

؟

اشرح بمثال نظام تصحيح الأخطاء المستخدم لشفرات الكتلة (block codes).؟

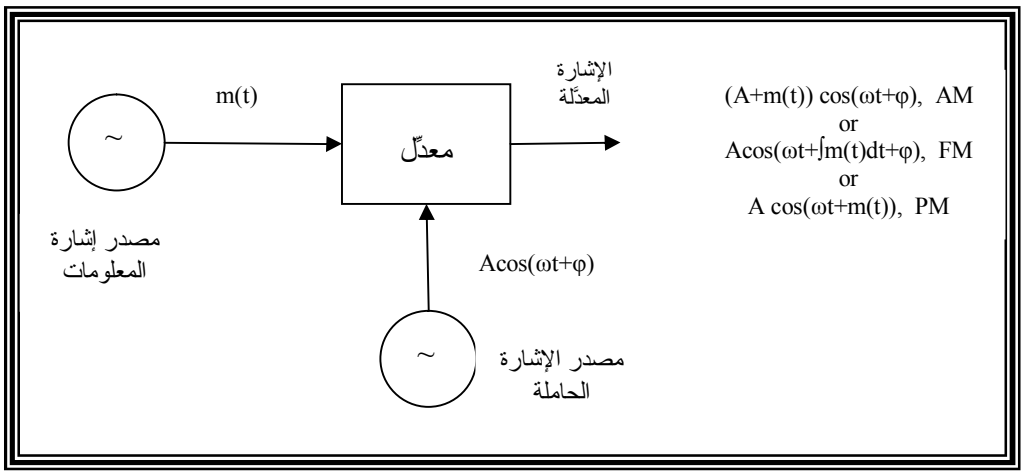
4. التعديل

كما ذكر في بداية هذه الوحدة فإن إشارة البيانات أو إشارة المعلومات التي يراد إرسالها تخضع لما يسمى بعملية التعديل بغرض إزاحة مكوناتها الترددية من موضعها الأصلي في المدى الترددي (frequency range) إلى موضع آخرَ يحدده تردد الإشارة الحاملة (carrier signal) المستخدمة في عملية التعديل (modulation) وذلك لتحقيق أحد أو بعض الأغراض التي ذُكرت سابقاً. والإشارة الحاملة المستخدمة لأغراض التعديل بجانب إشارة المعلومات إشارة جيبية.

وكما ذكر في الوحدة الثالثة فإن الإشارة الجيبية تتعين أي يتحدد شكلها الموجي لكل الوقت بترددها واتساعها الأعظم وطورها الابتدائي. أي أنها يكتمل تعريفها بواسطة

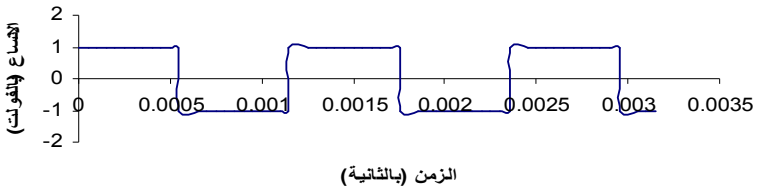
هذه العوامل الثلاث. ويقصد بالتعديل استخدام إشارة المعلومات التي يراد إرسالها لتغيير واحداً أو أكثر من هذه العوامل الثلاث لإشارة جيبية ذات تردد معين تسمى في هذه الحالة الإشارة الحاملة، لأنها تصبح بعد إجراء عملية التعديل حاملة لإشارة المعلومات بداخلها. في الواقع تستخدم إشارة المعلومات لتغيير أحد عوامل الإشارة الجيبية الحاملة على أن يكون هذا التغيير متناسباً خطياً مع اتساع إشارة المعلومات. فإذا حدث هذا التغيير لاتساع الإشارة الجيبية الحاملة بدلالة الاتساع اللحظي لإشارة المعلومات أطلق على التعديل مصطلح تعديل الاتساع (amplitude modulation,AM)، وإذا عدل تردد الإشارة الحاملة نتج عن ذلك ما يعرف بتعديل التردد (frequency modulation,FM)، وإذا غير طور الإشارة الحاملة الابتدائي نحصل على تعديل الطور (phase modulation,PM).

يوضح الشكل(4-6) مخططاً لمعدل (modulator) تُدخل إليه إشارة المعلومات m(t) وتسمى في هذا السياق أيضاً إشارة التعديل وكذلك الإشارة الحاملة Acos(ωt+φ) لتخرج منه وهي معدلة إما تعديل اتساع إذا كان المعدِّل معدل اتساع، أو تعديل تردد إذا كان المستخدم معدل تردد أو تعديل طور في حالة معدل الطور. والمعدل جزء من المرسل.

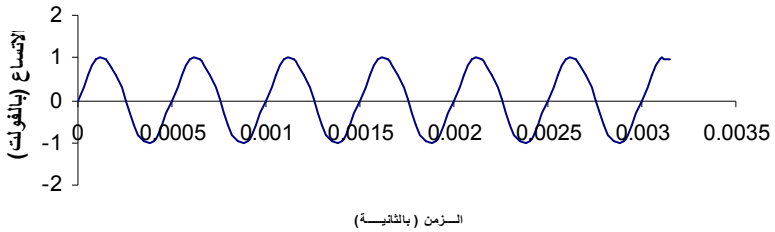


الشكل(4-6): مخطط معدِّل

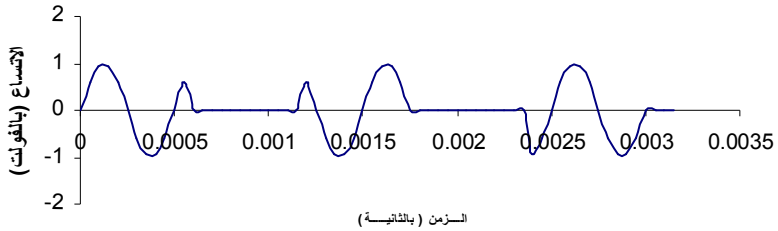
يوضح الشكل(4-7) الأشكال الموجية لإشارة المعلومات والإشارة الحاملة قبل وبعد تعديلها تعديل اتساع وتعديل تردد وتعديل طور. إذا كانت إشارة المعلومات إشارة تماثلية نحصل على ما يسمى بالتعديل التماثلي، أما إذا كانت إشارة التعديل رقمية نحصل على ما يعرف بالتعديل الرقمي، مثلاً تعديل التردد الرقمي.



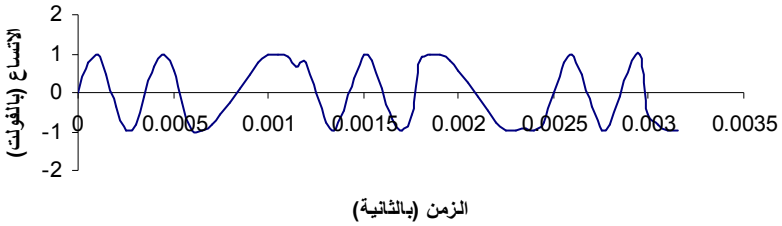
الشكل الموجي لإشارة المعلومات الثنائية



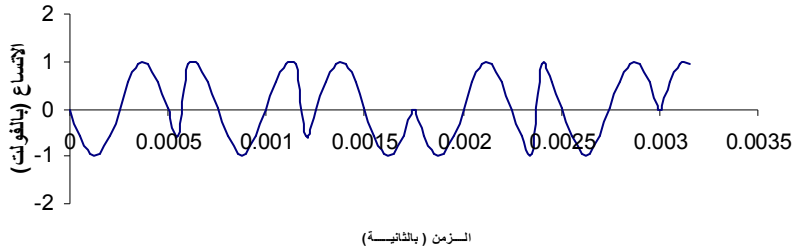
الشكل الموجي للإشارة الحاملة الجيبية



الشكل الموجي للإشارة الحاملة الجيبية بعد تعديل الاتساع الرقمي الثنائي



الشكل الموجي للإشارة الحاملة الجيبية بعد تعديل التردد الرقمي الثنائي

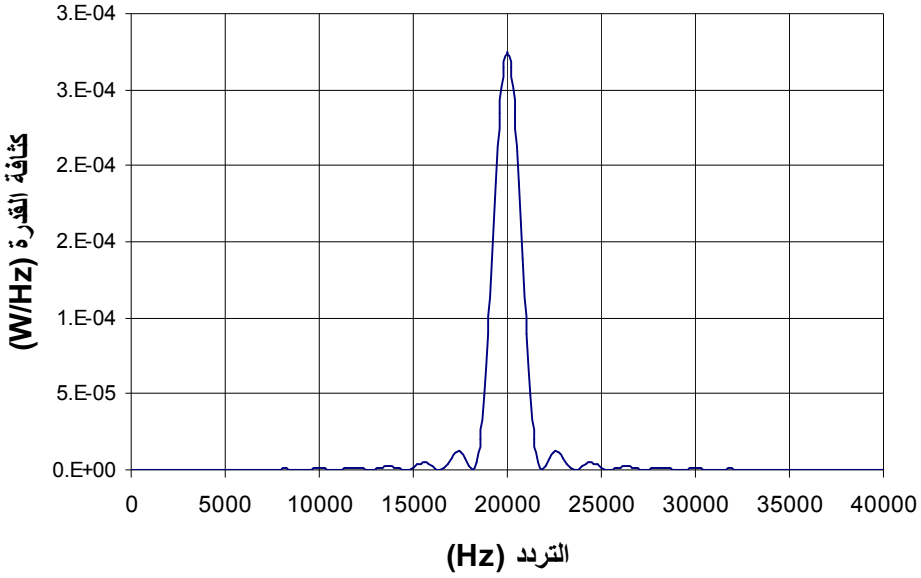


الشكل الموجي للإشارة الحاملة الجيبية بعد تعديل الطور الرقمي الثنائي

الشكل(4–7): الأشكال الموجية لإشارة المعلومات الثنائية، والإشارة الحاملة قبل وبعد التعديل

ويوضح الشكل(4–8) توزيعاً لقدرة الإشارة الحاملة بعد تعديلها تعديل طور بواسطة الإشارة الثنائية بدلالة التردد. أي أن الشكل يعطي ما يعرف بطيف كثافة قدرة هذه الإشارة الذي يمكن الحصول علية كتحويل فورير (Fourier transform) لدالة الترابط الذاتي (autocorrelation function) لهذه الإشارة. ويرى تمركز القدرة حول تردد الإشارة الحاملة. وكما هو معلوم من الوحدة الثالثة الجزء() فإن مكونات إشارة المعلومات الثنائية تتمركز حول الصفر. تنطبق هذه الملاحظة على أنواع التعديل

الأخرى. أي أن التعديل يؤدي إلى إزاحة مكونات إشارة المعلومات الترددية من حول الصفر إلى ما حول تردد الإشارة الحاملة.



الشكل(4–8): جانب الترددات الموجبة لطيف كثافة قدرة الإشارة المعدلة تعديل طور رقمي ثنائي. جانب الترددات السالبة له نفس الشكل حول التردد 2000Hz-

ولكل نوع من أنواع التعديل يستخدم مزيل التعديل المناسب عند الاستقبال لاستخلاص إشارة المعلومات من الإشارة الحاملة المُعدَّلة. وتسمى هذه العملية عملية إزالة التعديل وهي عملية ملازمة لعملية التعديل.

أسئلة تقويم ذاتي



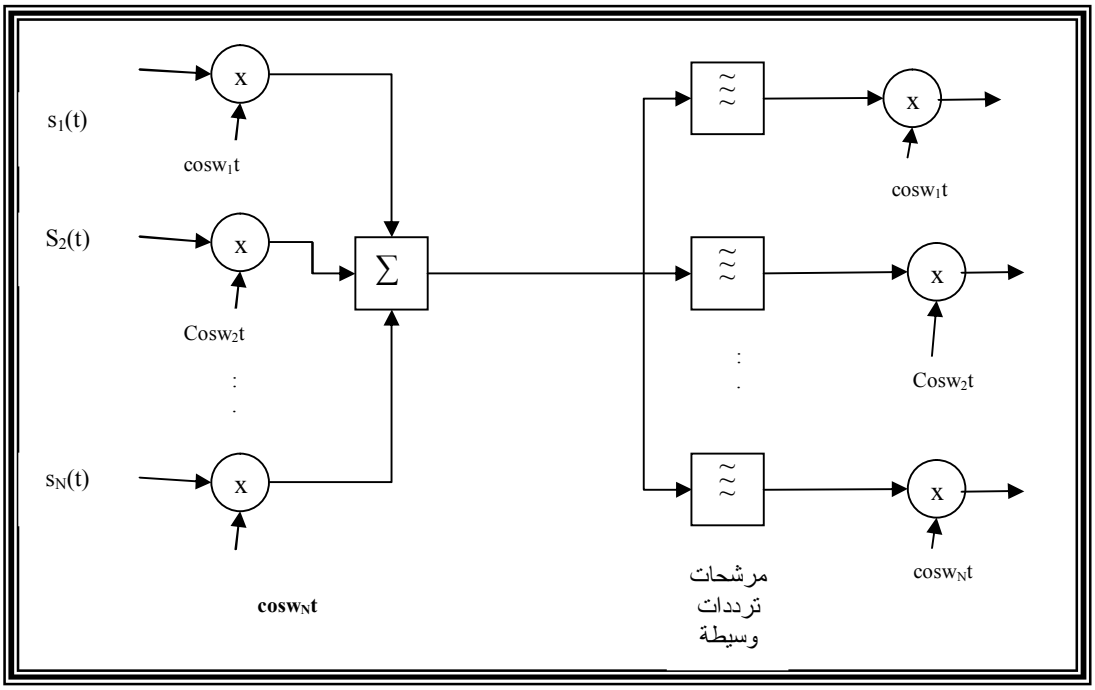
ماذا نطلق على التغيير الذي يحدث لاتساع الإشارة الجيبية الحاملة بدلالة الاتساع اللحظي لإشارة ؟

5. خلط الإشارات

تمكن عملية خلط الإشارات (signal multiplexing) من إرسال أكثر من إشارة على نفس القناة، مثلاً في نفس الكبل. قد تكون لكل من هذه الإشارات نفس المكونات الترددية وقد تكون جميعها صادرة من مصادرها في نفس الوقت. فإذا جُمعت هذه الإشارات بصورة مباشرة وأرسلت في القناة فإنه لا يمكن فصلها عن بعضها عند الاستقبال. ولذلك تستخدم طرائق خلط تمكن من فصل الإشارات عند الاستقبال. ومن هذه الطرائق طريقة الخلط بتقسيم التردد وطريقة الخلط بتقسيم الزمن وطريقة الخلط بتوزيع الشفرة.

1.5 خلط الإشارات بتقسيم التردد

ففي طريقة الخلط بتقسيم التردد (frequency-division multiplexing,FDM) توضع المكونات الترددية لكل إشارة في موضع ترددي يخصص لها كجزء من نطاق تردد القناة وذلك باستخدام التعديل. ويختار تردد الإشارة الحاملة الجيبية المناسب لإزاحة مكونات الإشارة المرسلة إلى الموضع الترددي المخصص لها. وبذا تحتل كل إشارة حيزاً ترددياً مختلفاً عن أي حيز تحتله أي إشارة أخرى داخل قناة الإرسال. وعادة يترك حيز صغير شاغراً بين مكونات كل إشارتين متجاورتين لتسهيل عملية فصل الإشارات عند الاستقبال. وتفصل الإشارات عند الاستقبال عن بعضها البعض بالترشيح، حيث تدخل الإشارات المخلوطة إلى عدد من المِرْشَحات في نفس الوقت. كل مِرْشَحة (filter) تمثل مرشحة ترددات وسيطة (band-pass filter,BPF) أي لها نطاق مرور (passband) في مدى الترددات الوسيطة وتمكِّن هذه المرشحة واحدة فقط من الإشارات المخلوطة من المرور عبرها وبالتالي تكون هذه الإشارة قد فصلت عن بقية الإشارات، أنظر الشكل(4-9).

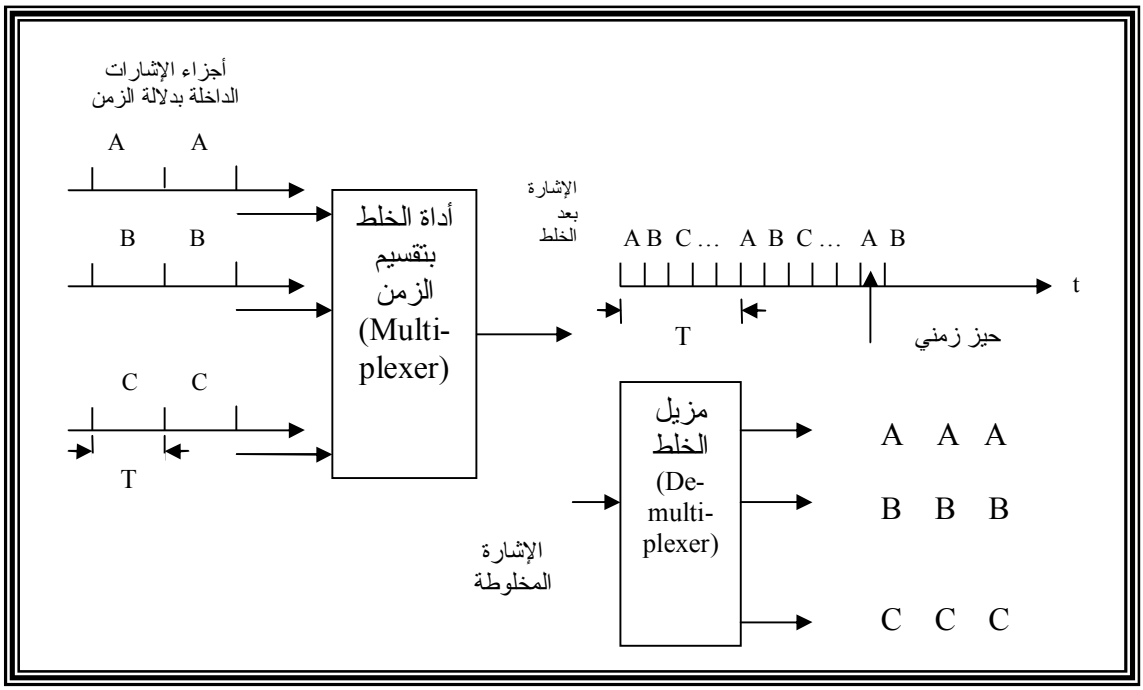


الشكل(4–9): مخطط لنظام خلط بتقسيم التردد. يمثل الجزء الأيسر مخطط أداة الخلط والجزء الأيمن مزيل الخلط. كل مرشحة تمرر الترددات التي حول تردد الحامل المخصصة لترشيحه.

2.5 خلط الإشارات بتقسيم الزمن

وفي طريقة الخلط بتقسيم الزمن (time-division multiplexing,TDM) ترسل كل إشارة رقمية (عادة ثنائية) في أوقات مختلفة عن الأوقات التي ترسل فيها الإشارات الأخريات. وفي طريقة الخلط المتزامن (synchronous multiplexing) تُجزَّأ كل إشارة إلى وحدات متساوية (قد تكون الوحدة رقماً ثنائياً أو بايت أو أكثر من بايت) ويخصص لكل إشارة من الإشارات حيز زمني (time slot) بصورة منتظمة لإرسال وحداتها بالتناوب مع إرسال وحدات الإشارات الأخريات في الحيزات الزمنية المخصصة لها. وعند الاستقبال يزال الخلط بفصل الوحدات الخاصة بكل إشارة عن وحدات الإشارات الأخريات بناءً على معرفة مزيل الخلط المتزامن (synchronous demultiplexer) لأوقات هذه الوحدات وبالتالي تمريرها إلى مخرج الإشارة

المخصص لها، أنظر الشكل(4–10). إذا كان عدد الإشارات التي تخلط في هذه الحالة هو N إشارة وأن معدل إرسال الأرقام الثنائية من كل مصدر هو R رقم ثنائي/الثانية (bit/s) فإن معدل إرسال الإشارة المخلوطة (multiplexed signal) الخارجة من أداة الخلط تكون NR رقم ثنائي/الثانية وتحتاج لوصلة بنفس السعة لنقلها.

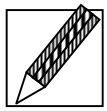


الشكل(4–10): مخطط نظام خلط متزامن بتقسيم الزمن. يمثل الجزء الأعلى مخطط أداة الخلط والجزء الأسفل مخطط مزيل الخلط. نلاحظ أن كل قناة داخلة مخصص لأجزاء إشارتها حيز زمني يظل غير مستخدم إذا لم تكن هنالك إشارة.

عندما تصدر الإشارات التي يراد خلطها بصورة متصلة فإن طريقة الخلط المتزامن تكون ملائمة لخلط هذه الإشارات وقلما يرسل حيز دون أن يكون حاوياً لوحدة من وحدات الإشارات. أما إذا كانت وحدات الإشارات تصدر متفرقة فإن طريقة الخلط المتزامن تكون غير ملائمة لتدني كفاءة الإرسال نتيجة لإرسال جزء كبير من الحيزات خالياً من وحدات الإشارات. ففي هذه الحالة تكون طريقة الخلط غير المتزامن (asynchronous multiplexing) الذي يشار إليه أيضاً بالخلط الإحصائي

(statistical multiplexing) هي الأنسب لأنها تتجنب التخصيص الدائم لحيز زمني لكل إشارة، بل يكون الحيز متاحاً لوحدة إشارة ما في حالة صدورها. وترسل بجانب هذه الوحدة ما يميز الإشارة التي تنتمي إليها. عندما تصدر وحدة إشارة ما من مصدرها تخزن مؤقتاً في الذاكرة المخصصة لهذه الإشارة ثم ترسل بعد الفراغ من إرسال وحدات الإشارات التي وصلت قبلها في حالة استخدام طريقة "الداخل أولاً يخرج أولاً" (first-in-first-out,FIFO) أو ترسل حسب الأسبقية (priority) إذا كان الإرسال مبنياً على طريقة الأسبقيات.

تدريب (1)



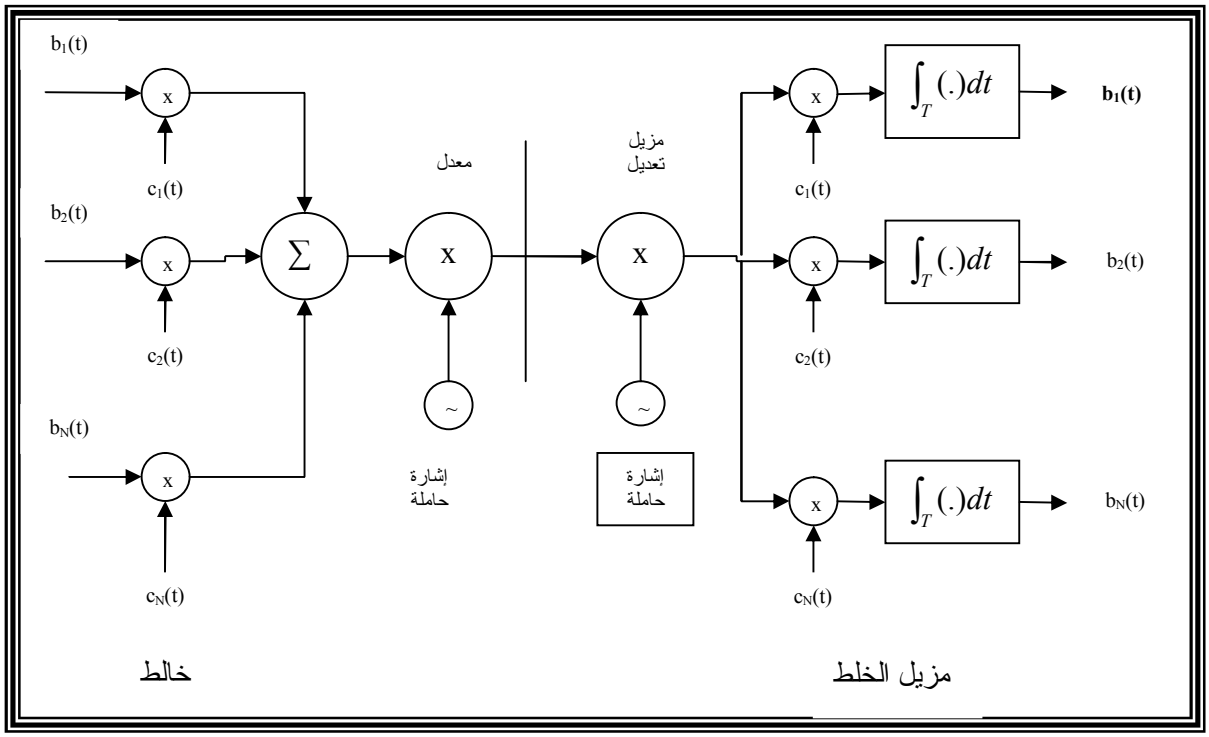
ارسم مخطط نظام خلط إحصائي بحيث يمثل الجزء الأعلى منه مخطط أداة الخلط والجزء الأسفل منه مخطط مزيل الخلط؟

يمكن لأغراض مقارنة هذه الطريقة أي طريقة الخلط غير المتزامن مع طريقة الخلط المتزامن أن نفترض عند صدور وحدة إشارة ما أنها تصدر بمعدل إرسال يساوي R وأن وحدات كل إشارة من الإشارات التي يراد خلطها والتي عددها M تصدر متفرقة بصورة عشوائية ولجزء من الزمن يساوي α. ونفترض أيضاً أن سعة الوصلة التي تنقل الإشارة المخلوطة هي NR رقم ثنائي/الثانية. يكون متوسط معدل الإرسال αMR ويجب أن يكون أقل من سعة الوصلة أي αMR<NR. وبما أن 0<α<1 فإن M>N وأنه كلما اقتربت α من 1 زادت كفاءة الإرسال التي يمكن أن تقاس بمعدل تحميل الوصلة $k = \frac{\alpha MR}{NR} = \frac{\alpha M}{N}$ ولكن بالمقابل تطول فترة تخزين الوحدات المؤقت (buffering) مما يعني زيادة التأخير (delay) وأيضاً ظهور الحاجة لذاكرة ذات سعة كبيرة.

3.5 الخلط بتقسيم الشفرة

في هذه الطريقة ترسل كل الإشارات عبر قناة الإرسال في نفس الوقت وكل منها يحتل نفس الحيز الترددي، أي أنه ليس هنالك تخصيص نطاق ترددي منفصل لكل إشارة كما في حالة الخلط بتقسيم التردد ولا حيز زمني منفصل كما في حالة الخلط بتقسيم الزمن. ولفرز هذه الإشارات عند استقبالها بواسطة المستقبل ترسل كل منها مرمزة بشفرة من مجموعة شفرات كل شفرة منها متعامدة مع (orthogonal to) بقية الشفرات التي ترمز بها الإشارات الأخريات. وتسمى هذه الطريقة طريقة الخلط بتقسيم الشفرة (code-division multiplexing,CDM). ولاستقبال أي من الإشارات المرسلة يزال الترميز بطريقة الترابط باستخدام نفس شفرة الترميز، أنظر الشكل(4-12). نلاحظ في هذا الشكل أن كل إشارة تستخدم لها شفرة من مجموعة الشفرات [cj(t):j=1,2,…,M] لترميزها. فمثلاً الشفرة ck(t) تضرب في الإشارة الثنائية bk(t) على مدى كل رقم ثنائي. وبعد ذلك تجمع هذه الإشارات المرمزة وتحمل بواسطة إشارة حاملة بإحدى طرائق التعديل ثم ترسل. وعند الاستقبال تستخلص الإشارة bk(t) بضربها مرة أخرى في ck(t) وإجراء تكامل على مدى كل رقم ثنائي إذ أن:

$$\int_T c_j(t)b_l(t)c_l(t)dt = \begin{cases} \pm T, & j = l \\ 0, & j \neq l \end{cases} \quad \text{.....(4.15)}$$



الشكل(4-11):مخطط نظام الخلط بتقسيم الشفرة

4.5 الخلط بتقسيم المكان

يستخدم نظام الخلط بتقسيم المكان في حالة الإرسال اللاسلكي حيث ترسل كل إشارة في اتجاه محدد قد يختلف عن اتجاه إرسال الإشارات الأخريات. وتستخدم لهوائيات الذكية (smart antennas) ذات التصميم الذي يمكنها من إرسال كل إشارة في الاتجاه المحدد لها. بذلك تزيد كفاءة استغلال القدرة المرسلة كما تقل احتمالية التداخل مع نقاط الإرسال الأخرى. وهذه الطريقة تناسب نظم الاتصالات الخلوية (cellular) المستخدمة في شبكات تبادل البيانات وشبكات الهاتف السيار (mobile telephone).

أسئلة تقويم ذاتي



1. ما هي الطرائق الخلط التي تستخدم لفصل الإشارات عند الاستقبال؟
2. اشرح بالرسم طريقة خلط الإشارات بتقسيم التردد؟
3. كيف ترسل الإشارة في طريقة خلط الإشارات بتقسيم الزمن؟

الخلاصة

يقصد ترميز البيانات (data encoding) تلك العمليات التي تجري على البيانات لتحيق واحد أو أكثر من الأغراض التالية:

- تُرمَّز البيانات في بعض الحالات لإحداث نوع من المواءمة (matching) بين إشارات البيانات المرسلة وقناة الإرسال حتى لا تُشوَّه (be distorted) هذه الإشارات نتيجة لمرورها عبر القناة بصورة تجعل المستقبل عاجزاً عن تمييز البيانات بالدقة المطلوبة.
- ترمَّز البيانات أيضاً بغرض تقليل الأخطاء التي قد تنتج نتيجة لتشويه الإشارة بواسطة الضجيج (noise) الذي يضاف إلى الإشارة من القناة ومن المستقبل.
- ترمز البيانات أيضاً لأغراض المحافظة على سرِّيتها ومنع فهم محتواها بواسطة الأشخاص غير المصرح لهم بذلك أو جعل فهمها صعباً.
- تُعدَّل إشارة البيانات بغرض إزاحة مكوناتها الترددية من موضعها الأصلي في المدى الترددي (frequency range) إلى موضع آخرَ يحدده تردد الإشارة الحاملة (carrier signal) المستخدمة في عملية التعديل .

وضحت الوحدة المقصود من خلط الإشارات بأنه جمع أكثر من إشارة بيانات وضمها إلى بعضها كإشارة مخلوطة بغرض إرسال كل هذه الإشارات في نفس قناة الإرسال وذلك لتخفيض كلفة الإرسال.

أجملت الوحدة بعض طرائق ترميز الخط منها:

طريقة عكس العلامة المتناوب : تكون الإشارة الرقمية عادة ثنائية أحادية القطبية وهي خارجة من مصدرها ، وتعرف بأنها ثنائية لأن اتساعها يأخذ أحدى قيمتين ، وتعرف بأنها أحادية القطبية لأن قيمتي اتساع الإشارة بنفس القطبية.

ترميز ثنائي القطبية عالي الكثافة على طريقة عكس العلامة المتناوب.

أوردت الوحدة عدد من الشفرات منها الشفرات التي لا تعود إلى للصفر (non-return-to-zero, NRZ, codes) وهناك الشفرة ذات الاتساع الذي لا يعود للصفر (non-return-to-zero-level, NRZ-L) ويوجد شكل أخر من أشكال الشفرة ذات الاتساع الذي لا يعود للصفر مع العكس عند الواحد (NRZ-I) أي (non-return-to-zero, invert on ones)

وهناك أيضاً الشفرات ثنائية الطور مثل شفرة مانشستر (Manchester code) وشفرة مانشستر التفاضلية (differential Manchester code). وشفرات مانشستر من مجموعة الشفرات ثنائية الطور (biphase codes) التي تتغلب على قصور الشفرات ذات الاتساع الذي لا يعود للصفر (NRZ codes) السالف ذكرها.

قدمت الوحدة نوع من أنواع الترميز يعرف بالترميز من ثنائي إلى ثلاثي يتمثل في ترميز مجموعات ثنائية بمجموعات ثلاثية ذات طول أقل، للحصول على ما يسمى بترميز MBNT.

بينت الوحدة مزايا إرسال الإشارات الرقمية وهي إمكانية ترميزها عند الإرسال ليتمكن المستقبل من كشف الأخطاء (error detection) أو كشف وتصحيح الأخطاء (error detection and correction) التي يمكن أن تتعرض لها الإشارة الرقمية.

من أبسط طرائق الترميز لكشف الأخطاء إضافة رقم ثنائي واحد إلى كل مجموعة من الأرقام الثنائية التي يراد إرسالها.

من أهم طرائق فحص التطابق المستخدمة لكشف الأخطاء ما يعرف بطريقة الفحص الدوري بالفائض (cyclic redundancy check, CRC) ، وهي إحدى طرائق كشف الأخطاء التي يستخدم فيها ما يعرف ب الكُتلة (block coding) أي مجموعة من الأرقام الثنائية المتجاورة.

قدمت الوحدة أيضاً نظم ترميز أخرى هامة وتستخدَم لتصحيح الأخطاء وهى الشفرات الالتفافية (convolutional codes).

وضحت الوحدة أن إشارة البيانات أو إشارة المعلومات التي يراد إرسالها تخضع لما يسمى بعملية التعديل بغرض إزاحة مكوناتها الترددية من موضعها الأصلي في المدى الترددي (frequency range) إلى موضع آخرَ يحدده تردد الإشارة الحاملة (carrier signal) المستخدمة في عملية التعديل (modulation) وذلك لتحقيق أحد أو بعض الأغراض التي ذُكرت. والإشارة الحاملة المستخدمة لأغراض التعديل بجانب إشارة المعلومات إشارة جيبية.

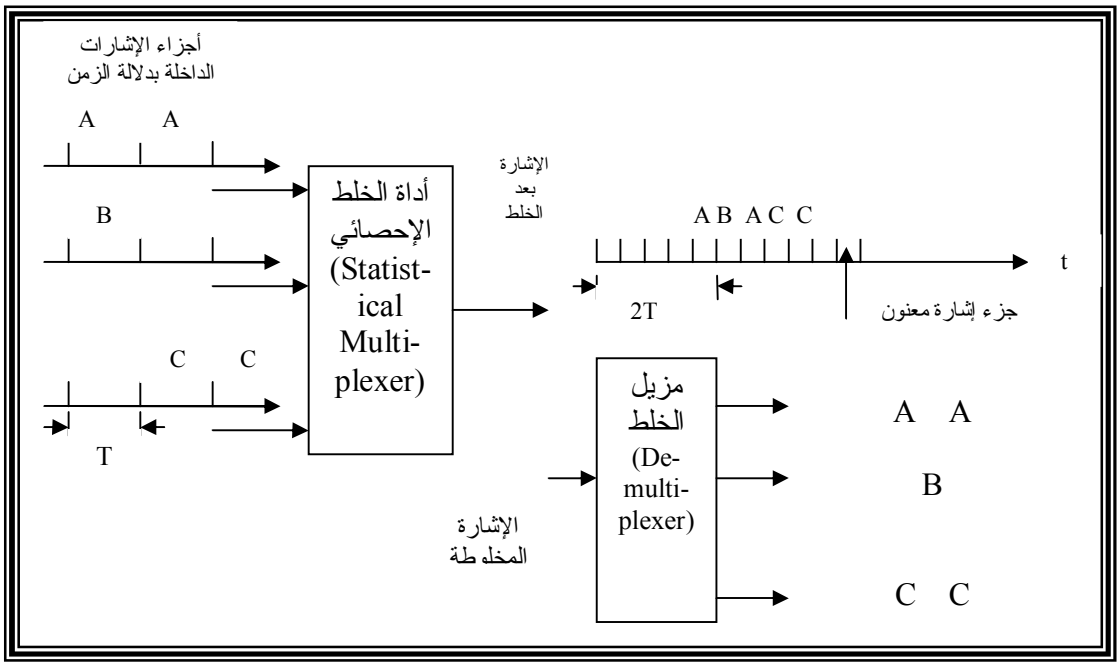
وأخيراً وضحت الوحدة أن عملية خلط الإشارات (signal multiplexing) تمكن من إرسال أكثر من إشارة على نفس القناة، مثلاً في نفس الكبل. قد تكون لكل من هذه الإشارات نفس المكونات الترددية وقد تكون جميعها صادرة من مصادرها في نفس الوقت. فإذا جُمعت هذه الإشارات بصورة مباشرة وأرسلت في القناة فإنه لا يمكن فصلها عن بعضها عند الاستقبال. ولذلك تستخدم طرائق خلط تمكن من فصل الإشارات عند الاستقبال. ومن هذه الطرائق طريقة الخلط بتقسيم التردد وطريقة الخلط بتقسيم الزمن وطريقة الخلط بتوزيع الشفرة.

لمحة مسبقة عن الوحدة التالية

تتناول الوحدة التالية الربط في نظم تراسل البيانات – الطبقة المادية ، في هذه الوحدة تجد أنه يستلزم تراسل البيانات توفر طرفين يتم تبادل البيانات بينهما ويطلق مصطلح الجهاز الطرفي للبيانات على كل منهما ، وفي هذه الوحدة سنتناول طريقة الإرسال غير المتزامن وطريقة الإرسال المتزامن ، وستقدم الوحدة 8 درات من سلسلة المائة تستخدم في كثير من التطبيقات ، وتقدم الوحدة أيضاً سلسلة القياسيات V والتي أصدرها الاتحاد الدولي للاتصالات.

إجابة التدريبات

تدريب 1



مخطط نظام خلط إحصائي. يمثل الجزء الأعلى مخطط أداة الخلط والجزء الأسفل مخطط مزيل الخلط. نلاحظ أنه لا يحبس حيز زمني لقناة بعينها وإنما تخصص الحيزات الزمنية لأجزاء الإشارات الداخلة فعلاً في لحظة ما. ويحمل جزء الإشارة المرسل عنوان المصدر وعنوان المتلقي.

مسرد المصطلحات

- **ترميز البيانات (data encoding)**

تلك العمليات التي تُجرى على البيانات لتحقيق غرض واحدٍ أو أكثرَ من غرض.

- **الفحص الدوري بالفائض (cyclic redundancy check, CRC)**

إحدى طرائق كشف الأخطاء التي يستخدم فيها ما يعرف ب الكُتلة (block coding) أي مجموعة من الأرقام الثنائية المتجاورة.

- **جمع المعامل 2 (modulo-2 addition)**

وهي عملية جمع مكافئة للعملية المنطقية (logical operation) التي تعرف بعملية الانتقاء المنْعي(الحصري) (exclusive ORing) ويكون الناتج 0 إذا كان عدد الأرقام من النوع "1" زوجياً، أما إذا كان عددها فردياً فيكون الناتج 1.


الوحدة الخامسة
الربط في طرق تراسل
البيانات – الطبقة المادية

محتويات الوحدة

الموضـــــوع	الصفحة
المقدمة	**107**
تمهيد	107
أهداف الوحدة	107
1. إرسال البيانات	**109**
1.1 الإرسال غير المتزامن	111
2.1 الإرسال المتزامن	113
2. الربط	**115**
1.2 واجهة ربط الموديم	116
2.2 دارات تبادل الإشارات	117
3. سلسلة القياسات V	**119**
الخلاصة	**122**
لمحة مسبقة عن الوحدة التالية	**125**
مسرد المصطلحات	**126**

المقدمة

تمهيد

عزيزي الدارس،،

مرحباً بك عزيزي الدارس في الوحدة الخامسة من مقرر " تراسل البيانات " والتي تحمل العنوان " الربط في نظم تراسل البيانات – الطبقة المادية " .

القسم الأول من الوحدة يبحث في إرسال البيانات عبر عدد من القنوات المتوازية (إرسال متوازي) ، وأيضاً نظام الإرسال التسلسلي المستخدم للنقل عبر المسافات الطويلة ، ويتناول القسم أيضاً الإرسال غير المتزامن والإرسال المتزامن . **القسم الثاني** : يتناول الربط والحد الفاصل بين كل طرف وأداة ربط ، ويتناول القسم وظيفة المودم ، كما نجد في هذا القسم واجهة ربط المودم ، ثم ينتقل القسم إلى دارات تبادل الإشارات . القسم الثالث يبحث في سلسلة القياسيات V وهي السلسلة التي أعدها الاتحاد الدولي للاتصالات والتي تحدد مواصفات الموديمات المستخدمة لربط أجهزة البيانات عبر شبكة الهاتف العمومية .

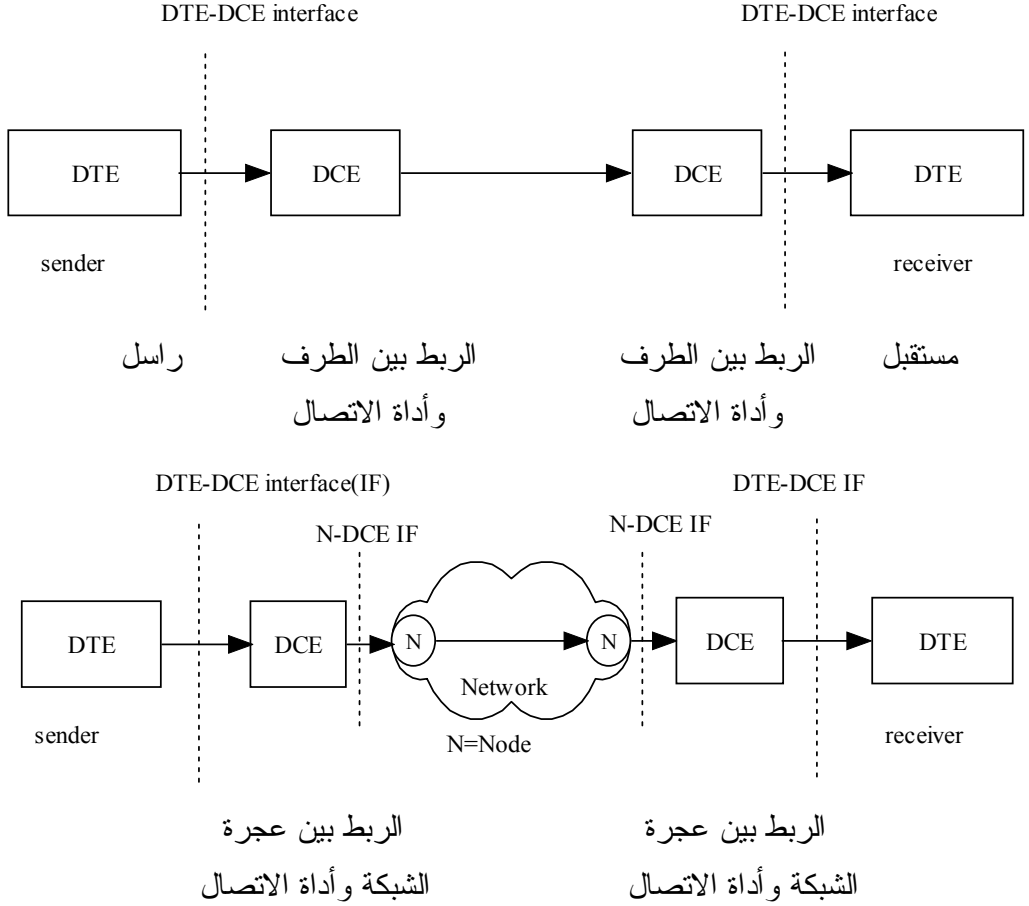
أهداف الوحدة

بعد فراغك من دراسة هذه الوحدة ينبغي أن تكون قادرا علي أن:

- **تشرح** بالرسم طريقة الإرسال غير المتزامن.
- **تصف** طبيعة الإرسال المتزامن.
- **تعدد** مواصفات سلسلة القياسيات V.

توطئة

يستلزم تراسل البيانات توفر طرفين يتم تبادل البيانات بينهما ويطلق مصطلح الجهاز الطرفي للبيانات (data terminal equipment) على كل منهما. يمكن أن يكون الطرفان حاسوبين موصولين مباشرة أو بطريقة غير مباشرة عبر وسيط مثل شبكة أو غير ذلك. في كل الأحوال يتطلب الاتصال توفر الربط بين الطرفين عبر أداة الاتصال الخاصة بكل من الطرفين ويطلق على كل من هاتين الأداتين مصطلح جهاز إرسال البيانات (data communication terminal equipment, DCE) ، أنظر الشكل(5-1).



الشكل(5-1): الاتصال بين طرفين عبر أدوات الاتصال والربط بين الطرفين ربطاً مباشراً (المخطط الأعلى) وربطاً غير مباشر عبر شبكة (المخطط الأسفل)

نلاحظ من الشكل(5-1) أن كلاً من الطرفين يحتاج لأداة اتصال تمكنه من إجراء الاتصال مع الطرف الآخر إذ أن أي من الطرفين لا يتصل بالخط ولا يرسل إشارته عبره دون هذه الأداة الوسيطة. ومهمة أداتي الاتصال تمكين الطرفين من تبادل إشارات التحكم (signaling information or control signals) وإشارات البيانات بينهما. يمكن أن تكون أداة الربط جهاز (أو بطاقة) موديم ((modem device(or card) في حالة الاتصال عبر شبكة الهاتف العمومية (public switched telephone network PSTN), كما أنه في حالة الربط عبر الشبكات المحلية مثلاً تكون أداة الربط ما يعرف ببطاقة الربط بالشبكة (network interface card ,NIC). يؤدي الموديم وظيفتين هما وظيفة التعديل وإزالة التعديل ووظيفة التحكم في الاتصال، وتؤدي بطاقة الربط بالشبكة مهمة التحكم في الاتصال.

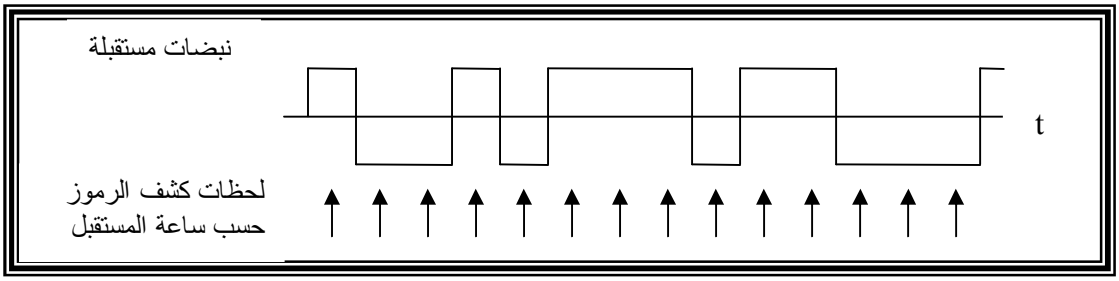
1. إرسال البيانات

تُنقل البيانات داخل أجهزة البيانات مثل الحواسيب وعند مداخلها ومخارجها عبر عدد من القنوات المتوازية وهذا ما يعرف بالإرسال المتوازي (parallel transmission). لقصر المسافات في هذه الحالات يمكن التأكد من تماثل خواص إرسال هذه القنوات المتوازية إلا أن ذلك يكون عسيراً في حالة الإرسال عبر مسافات طويلة. في هذه الحالات يلجأ إلى نظام الإرسال التسلسلي (serial transmission) عبر قناة واحدة ترسل عبرها رموز البيانات (data symbols) أي عناصر الإرسال (signaling elements) بالتوالي أي رمزاً تلو الآخر. ويستخدم الإرسال التسلسلي عادة مع أجهزة المواديم وفي الاتصال المباشر، أي ليس عبر شبكة، بين الحواسيب وغيرها من الأجهزة والأدوات.

عند وصول هذه الرموز إلى المستقبل تكون قد لحق بها التشوه نتيجة لمؤثرات الإرسال (transmission impairments) من ضجيج و تداخل يضافان إلى الإشارة وتشوه ناتج عن دالة نقل قناة الإرسال وغير ذلك من المؤثرات. وبالرغم من ذلك فإن

على المستقبل تمييز الرموز المختلفة وكشفها مع إمكانية حدوث الأخطاء عند اتخاذ القرار بخصوص نوع كل رمز من هذه الرموز. ويزيد الأمر تعقيداً ضرورة توفر التزامن (synchronization) بين إشارة البيانات المستقبلة وبين ساعة المستقبل الرقمية (receiver digital clock). أي أن على المستقبل أن يعرف لحظات وصول الرموز ومداها الزمني. إن توفر التزامن يضمن أخذ عينة (sample) من كل رمز من الرموز المستقبلة عند لحظة محددة داخل مدى الرمز المراد كشفه وقياس اتساع هذه العينة ومقارنته مع الاتساعات المرجعية (reference amplitudes) لتحديد نوع الرمز المستقبَل، أنظر الشكل(5–2)، وذلك يضمن استبعاد المشاكل التي قد تنجم عن عدم التزامن.

إذا كانت الرموز تصدر بالتوالي من المرسل بمعدل رمز كل T ثانية بناءً على توقيت ساعة المرسل (transmitter clock)، فإن المستقبل سيحاول أخذ عينات من هذه الرموز كل T ثانية إذا كانت ساعته متزامنة مع ساعة المرسل. أما إذا كانت ساعته أسرع أو أبطأ من ساعة المرسل فإن المستقبل سيأخذ العينات كل αT ثانية حيث α أقل أو أكبر قليلاً من الواحد. وبعد استقباله عدداً من الرموز يفقد المستقبل التزامن مع المرسل وتحدث الأخطاء عند كشف الرموز. ولتوفير التزامن بين المستقبل والمرسل يمكن استخدام طريقة الإرسال غير المتزامن (asynchronous transmission) أو طريقة الإرسال المتزامن (synchronous transmission).



الشكل(5–2): التوافق بين لحظات كشف النبضات المستقبلة وزمن وصولها

1.1 الإرسال غير المتزامن

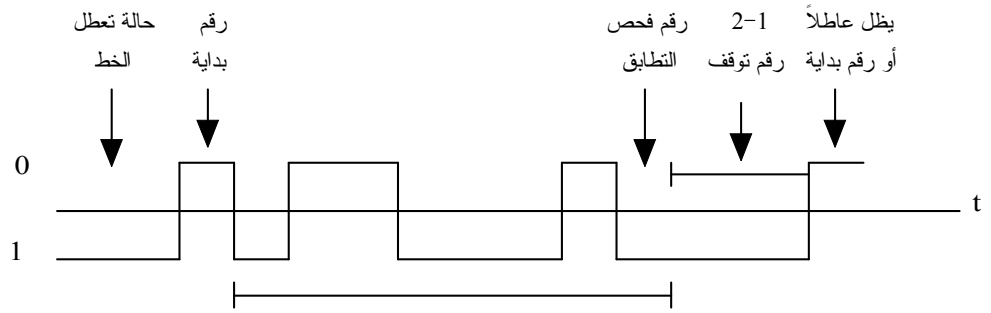
طريقة الإرسال غير المتزامن هي طريقة لتحقيق التزامن بين المرسل والمستقبل بالرغم من أن المصطلح يوحي بخلاف ذلك. في هذه الحالة يحاول النظام تحاشي إرسال الرموز بصورة متتابعة تستوجب دقة عالية في توقيت أخذ عينات منها لكشفها عند الاستقبال. وبدلاً عن ذلك يلجأ المرسل لإرسال البيانات في شكل حروف (characters) كل حرف تمثله مجموعة من الرموز مثلاً 5 إلى 8 من الأرقام الثنائية وعلى المستقبل الحفاظ على التزامن أثناء فترة الحرف فقط. وتصاحب هذه الحروف أرقام ثنائية عند بداية ونهاية كل منها. فالرقم عند بداية الحرف هو الرقم الثنائي 0 ويعرف برقم البداية (start bit) ومداه الزمني يساوي المدى الزمني لكل من أرقام الحرف الثنائية. أما الرقم الثنائي عند نهاية الحرف فهو الرقم 1 ويعرف برقم التوقف (stop bit) ولا يقل مداه الزمني عن 1 أو 1.5 أو2 مرة مثل مدى أرقام الحرف الثنائية، وفي حالة عدم إرسال حرف لاحق مباشرة بعد سابقه يظل مدى رقم التوقف في ازدياد أي أن المرسل في هذه الحالة التي تسمى حالة التعطل (idle state) يستمر في إرسال الرقم 1 على الخط، أنظر الشكل(5-3). وفي حالة الإرسال بأرقام ثنائية ذات اتساع لا يعود للصفر (NRTZ-L) تكون قطبية الرقم 1 سالبة وقطبية الرقم 0 موجبة.

يبدأ إرسال كل حرف بإرسال رقم البداية تليه أرقام الحرف ابتداءً بالرقم الأقل أهمية (LSB) ثم رقم فحص التطابق ويمثل الرقم الأكثر أهمية (MSB) ويستخدم بواسطة المستقبل لكشف الأخطاء وأخيراً يرسل رقم التوقف. يمثل رقم البداية لحظة البداية التي يستغلها المستقبل للتزامن مع أرقام الحرف التي تلي رقم البداية. وهذه اللحظة تصحب الانتقال من قطبية رقم التوقف السالبة إلى قطبية رقم البداية الموجبة وهي لحظة الانتقال من حالة التعطل أو نهاية حرف إلى بداية حرف جديد.

وبمستوى متواضع من التزامن يمكن تتبع الحروف المستقبلة بصورة صحيحة ما لم يكن معدل الخطأ في التزامن كبيراً، مثلاً أكبر من 5% في حالة إطار (frame) من

10 أرقام ثنائية مما يؤدي لحدوث أخطاء، والإطار الواحد يمثله رقم البداية ورقم التوقف وأرقام الحرف الثنائية التي تحتوي أيضاً على رقم فحص التطابق.

أما إذا فُقِد التزامن في هذه الحالة فإنه قد تحدث أخطاء عند محاولة كشف أرقام الحرف خاصة الأخيرة منها، وإذا كانت ساعة المستقبل أسرع من ساعة المرسل التي أُرسلت بها أرقام الحرف الثنائية قد يحدث انتقال في نهاية الحرف من رقم من النوع 0 إلى رقم من النوع 1 يعتبره المستقبل انتقالاً من رقم توقف إلى رقم بداية وبالتالي يعتبر ذلك بداية حرف جديد. ويعرف هذا النوع من الأخطاء بخطأ التزامن (framing error).



أرقام الحرف + رقم فحص التطابق

(5-3): هيأة حرف (character format) من الحروف التي ترسل تباعاً يفصل بينها رقم التوقف وفترة التعطل إن وجدت.

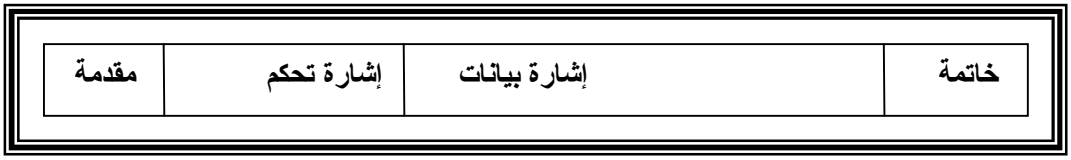
طريقة الإرسال غير المتزامن التي عرضت أعلاه سهلة وقليلة الكلفة غير أن كفاءة استغلال عرض نطاق قناة الإرسال منخفضة، لأنه عند إرسال كل حرف يكون مصحوباً بأرقام إضافية ممثلة في رقم البداية ورقم التوقف الذين لا يمثلان جزءاً من البيانات. وفي حالة إرسال حروف طولها 8 أرقام ثنائية لا تزيد كفاءة الإرسال عن 80% أي أن العبء الإضافي (overhead) لا يقل عن 20%. ويمكن زيادة عدد الأرقام الثنائية المرسلة بين رقم البداية ورقم التوقف إلا إن ذلك يؤدي إلى زيادة خطأ التزامن. هذا ما أدى إلى استخدام طريقة الإرسال المتزامن لزيادة كفاءة الإرسال وسنتعرض لهذه الطريقة في الفقرات التالية.

إن المتحكم في الاستقبال /الإرسال غير المتزامن (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) controller) يمثل عنصراً أساسياً من منظومة الاتصال التسلسلي (serial communication) بالحاسوب. فيتسلم المتحكم البيانات في شكل وحدات البايت (byte) من الحاسوب ويرسلها في شكل أرقام ثنائية. وهنالك متحكم آخر عند طرف الاستقبال يعيد تجميع (re-assembles) الأرقام الثنائية في وحدات البايت مرة أخرى. كذلك يتسلم المتحكم في الاستقبال/الإرسال المتزامن (Universal Synchronous Receiver/Transmitter (USART) controller) البيانات في شكل وحدات البايت ويرسلها أيضاً في شكل أرقام ثنائية مع اختلاف في طريقة توفير التزامن بين المرسل والمستقبل كما هو موضح في الجزء التالي.

2.1 الإرسال المتزامن

في حالة الإرسال المتزامن (synchronous transmission) ترسل البيانات في هيأة كتلة من الأرقام الثنائية المتتالية ولا تستخدم أرقام البداية والتوقف، إلا أن ذلك يتطلب التزامن بين ساعة المستقبل وساعة المرسل ليتمكن المستقبل من تتبع هذه الأرقام بدقة وكشفها بدون أخطاء. هنالك طرق مختلفة لتحقيق هذا التزامن بين المستقبل والمرسل مثل إرسال إشارة تزامن مستقلة من المرسل إلى المستقبل بصحبة إشارة البيانات، مما يعني استخدام سعة إرسال خاصة بها وهي طريقة ممكنة في حالة الإرسال عبر المسافات القصيرة أما إذا كانت المسافة طويلة فإن إشارة التزامن تتعرض للتشوه الناتج عن الضجيج وقناة الإرسال. لذا فإنه عادة يضمن التزامن في إشارة البيانات المرسلة نفسها ويستخلص هذا التزامن بواسطة المستقبل الذي يستغله في ضبط تزامن ساعته مع إشارة البيانات. كما أنه يجب على المستقبل تمييز بداية ونهاية كل كتلة من البيانات ويتطلب ذلك إرسال تركيبة معينة من الأرقام الثنائية تسمى المقدمة (preamble) عند بداية كل كتلة من البيانات وتركيبة أخرى أو نفس التركيبة من الأرقام الثنائية عند نهاية الكتلة وتسمى الخاتمة (postamble) لتمكين المستقبل من

التعرف على بداية ونهاية كل كتلة بيانات. كما يمكن أن تحتوي الكتلة أيضاً على أرقام ثنائية إضافية تستخدم لنقل ما يعرف بإشارات التحكم (control signals) التي تستغل بواسطة ما يعرف بإجراءات التحكم في وصلة البيانات (data link control procedures) التي سيتم التعرض لها في الفصل( ) لتنظيم انسياب البيانات بين المرسل والمستقبل. تكون مجموعة البيانات والمقدمة والخاتمة وأرقام التحكم ما يعرف بالإطار (frame)، أنظر الشكل(5-4).



الشكل(5-4): إطار إرسال بيانات (data transmission frame)

أسئلة تقويم ذاتي

1. أكمل ما يأتي:

تُنقل البيانات داخل..... البيانات مثـل .....وعنـد مـداخلها و..... عبر عدد من القنوات ..... وهذا ما يعرف بالإرسـال..... .....) transmission).

2. ما هي وظيفة الموديم؟
3. وضح كيف ترسل البيانات في طريقة الإرسال المتزامن؟

2. الربط

يقع الحد الفاصل بين كل طرف وأداة ربطه عند الوصلة (connector) التي تربط بينهما ويتضمن الوصف الكامل لهذا الحد الفاصل ليس فقط خواص الوصلة المادية (connector physical attributes) المطلوبة لتوفير الربط الكهربائي (electrical interface) ولكن أيضاً البروتوكولات (protocols) التي تنظم تبادل الإشارات الكهربائية وهي بروتوكولات الطبقة المادية (physical layer). والإشارات الكهربائية صنفان، صنف لأداء مهام التحكم مثل إيصال حالة (status) الطرف الراهنة إلى الطرف الآخر أو طلب ذلك منه أو التسبب في حدوث حدث ما، وصنف آخر لنقل البيانات.

في حالة إرسال إشارة البيانات عبر مقاسم (switches) شبكة الهاتف العمومية من طرف لآخر في صورة أشبه بإجراء المحادثة الهاتفية بين طرفين، تستخدم أجهزة المواديم التي تقوم بتنفيذ إجراءات الاتصال كما لو أن هنالك محادثة هاتفية يراد تبادلها. ولأن تبادل البيانات يتم بين أجهزة وليس بين أفراد فإن ذلك يتطلب إتباع إجراءات (procedures) محددة ومفهومة للطرفين.

في البداية يجب على كل من الطرفين إشعار جهاز المواديم الموصول به أنه جاهز للاتصال ويطلب من المواديم الربط مع الخط وإخطاره أنه قد قام بذلك. وبالتالي يقوم جهاز المواديم باستقبال إشارة من مصدر آخر مثل المقسم الموصول به قبل أن يرتبط بالخط والرد على الجهاز الطرفي الموصول به. هذه العملية تسمى تبادل إشارات التحكم (signaling interchange) أو المصافحة (handshaking) للتأكد من استعداد الأجهزة المختلفة لإجراء الاتصال.

فإذا استقبل كل موديم إشارة من المقسم تطلب منه الربط مع الخط في حالة استعداد جهازه الطرفي للإرسال، يخطر كل موديم جهازه الطرفي أن قد ارتبط بالخط وأنه جاهز لقبول أي تعليمات لاحقة.

الخطوة التالية هي أن يتحدد اتجاه الإرسال بان يكون الطرف الأول مرسلاً والطرف الثاني مستقبلاً، مثلاً. يتم ذلك بأن يخطر الطرف الأول جهاز الموديم الخاص به أنه يرغب في أن يرسل بيانات وبالتالي على الموديم أن يصبح مرسلاً.

يرسل موديم الطرف الأول إشارة لموديم الطرف الثاني أنه يرغب في الإرسال وعلى الثاني أن يصبح مستقبلاً.

عندما يتأكد لموديم الطرف الثاني أن الإشارة المستقبلة من موديم الطرف الأول مقبولة، يخطر الطرف الثاني أن يستعد ليستقبل إشارة.

بعد زمن محدد مسبقاً (pre-set time) يوفر للطرف البعيد وقتاً كافياً للاستعداد للاستقبال، يعطي موديم الطرف الأول الموافقة على طلب إرسال (request to send) البيانات الذي صدر من الطرف الأول.

بعد إرسال كتلة من البيانات بنجاح من الطرف الأول للطرف الثاني يقوم الأخير بتجميع الرسالة المستقبلة (received message assembly)، وتكرر الخطوات السابقة في الاتجاه العكسي بداية من إشارة طلب الإرسال.

1.2 واجهة ربط الموديم

كما ذكر سالفاً فإن وظيفتي الموديم هما التعديل وإزالته والتحكم في الاتصال. ولربط الموديم مع الجهاز الطرفي تستخدم وصلة (connector) تحتوي على عدد من دارات تبادل الإشارات (signal interchange circuits) التي تمثل، مع إضافة بعض الخواص، ما يعرف بمواصفات واجهة الربط (interface specifications). جزء من هذه الخواص مادي مثل أبعاد وبنية الوصلة، وعدد دبابيس الوصلة، والإشارات الكهربائية التي على هذه الدبابيس. والجزء الآخر منطقي مثل مدلول الإشارات الكهربائية على كل دبوس، والعلاقات بين هذه الإشارات، وإجراءات تبادل المعلومات بين الجهاز الطرفي (DTE) وأداة الاتصال (DCE).

تم تقييس هذه الخواص عالمياً فيما يعرف بالنظام القياسي RS232C الموصى به من قبل إتحاد الصناعات الإلكترونية بالولايات المتحدة (US Electronic Industries

Association, EIA). ويمثل هذا النظام RS232C أساس النظام القياسي V24 المعروف بالتوصية V24 للجنة الاستشارية الدولية للتلغراف والهاتف (Consultative Committee for International Telegraphy and Telephony, CCITT) والموصى بها من قبل اتحاد الاتصالات الدولي (International Telecommunications Union, ITU). ويمكن أن يعتبر النظامان مدلولين لنفس الشيء. يحدد النظام RS232C كل الخواص التي سبق ذكرها. أما النظام V24 فيعدد دارات التبادل لواجهة الربط بين الجهاز الطرفي وأداة الاتصال (DTE-DCE interchange circuits) ووظائفها وتُحدَد الخواص الكهربائية في توصية (recommendation) أخرى من توصيات اتحاد الاتصالات الدولي وهي النظام القياسي V28، وتوزيع دبابيس الوصلة في القياسية العالمية (ISO 2110)، وعند الإشارة للقياسية V24 يفترض ضمنياً انطباق هاتين القياسيتين.

ومما يجدر ذكره في هذا المقام أنه بعد إعادة هيكلة اتحاد الاتصالات الدولي في بداية التسعسنيات أصبحت اللجنة الاستشارية الدولية للتلغراف والهاتف تعرف بقطاع الاتصالات باتحاد الاتصالات الدولي (ITU-Telecommunications, ITU-T, sector) واللجنة الاستشارية الدولية للراديو ((Consultative Committee for International Radio, CCIR) تعرف بقطاع الراديو باتحاد الاتصالات الدولي (ITU-R sector).

2.2 دارات تبادل الإشارات

في كل واجهة ربط مصممة حسب مواصفات القياسية V24 تنقل كل إشارة بين الموديم والجهاز الطرفي على دارة تبادل منفصلة خاصة بها وحدها. تخصص دارة تبادل واحدة لكل وظيفة. وبما إن القياسية V24 عامة فهنالك أكثر من 40 دارة تبادل قصد بها الإيفاء باحتياجات التطبيقات المختلفة.

هنالك طاقمان (sets) من دارات التبادل أحدهما ما يعرف بسلسلة المئة (100 series) المستخدمة لدارات البيانات والتزامن والتحكم والثانية ما يعرف بسلسلة المئتين

(200 series) المستخدمة للنداء الآلي (automatic calling). وهنالك 8 دارات من سلسلة المئة تستخدم في كثير من التطبيقات وهي معطاة بالجدول(5-1).

الجدول(5-1): دارات من سلسلة المئة مستخدمة في كثير من التطبيقات

دارة القياسية V24	الدلالة (Designation)	الاتجاه (Direction)	
		إلى المودیم	إلى الجهاز الطرفي
102	الأرضي أو المشترك لرجوع الإشارة (Signal ground or common return)	√	
103	البيانات المرسلة (Transmitted data)		√
104	البيانات المستقبلة (Received data)	√	
105	طلب الإرسال (Request to send)		√
106	متأهب للإرسال (Ready for sending (Clear to send))		√
107	جهاز البيانات (المودیم) متأهب (Data set ready)		
108/1 Or 108/2	صل جهاز البيانات بالخط (Connect data set to line) الجهاز الطرفي متأهب (Data terminal ready)	√ √	
109	كاشف إشارة الخط (أي الحامل) بقناة البيانات (Data channel line signal (i.e.carrier)detector)		√

أسئلة تقويم ذاتي



1. ما هي الخطوات الواجب إتباعها حتى يتم تبادل البيانات بين طرفين؟
2. ما المقصود بعملية تبادل إشارات التحكم أو المصافحة؟

3. سلسلة القياسيات V

أصدر الاتحاد الدولي للاتصالات قياسيات تسمى بالسلسلة تحدد مواصفات الموديمات المستخدمة لربط أجهزة البيانات عبر شبكة الهاتف العمومية بعضها معطى بالجدول (5–2) أدناه.

V.32	9600bps, Sync, FDX, 2400baud, 4bpb, QAM, STN, PP2W
V.32bis	14400bps, Sync, FDX, 2400baud, 7bpb, TCM, STN, PP2W
V.32ter	14400bps, Sync, FDX, 9bpb, TCM, STN, PP2W
V.33	14400bps, Sync, FDX, 2400baud, 7bpb, TCM, PP4W
V.34	28800bps, Sync, FDX, 2400baud, 12bpb, TCM, STN, PP2W
Sync= Synchronous FDX= Full Duplex bpb=bit per baud STN=for use on Switched Telephone Network PP2W= for use on point-to-point two-wire leased circuits PP4W=for use on point-to-point four-wire leased circuits	

الجدول(5–2): بعض مواصفات السلسلة V

الموديم المبني على المعيارية V.22 والذي يستخدم تعديل الطور الرباعي وتبعد كل نقطة من نقاط الكوكبة (Constellation) الأربعة الممثلة للإشارات المرسلة نفس المسافة من أصل الإحداثيات أي للإشارات نفس الاتساع.

ويستخدم الموديم V.22bis كوكبة بها 16 نقطة. وحسب المعيار سرعته 600 رمزاً في الثانية ويمثل كل رمز 4 أرقام ثنائية ويصبح معدل إرسال البيانات 2400 رقماً ثنائياً في الثانية (bit per second, bps). هنالك 3 اتساعات مختلفة و12 طوراً مختلفا لتمثيل النقاط الستة عشر. ونحصل على إرسال في الاتجاهين في نفس الوقت (full-duplex) باستخدام حاملين مختلفين هما 1200Hz للقناة الأدنى و 2400Hz للقناة الأعلى.

وفي حالة المعيار V.32 هنالك كوكبة إشارات أخرى بها 32 نقطة ومعدل الإرسال المستخدم هو 2400 رمزاً وكل رمز يمثل 5 أرقام ثنائية مع استخدام تعديل الشفرة الشبكية (Trellis Code Modulation, TCM). وبذلك يكون معدل إرسال البيانات لهذا المعيار هو 9600 رقماً ثنائياً في الثانية أي 2400*4 حيث يستخدم الرقم الثنائي الخامس لأغراض تصحيح الأخطاء.

يستخدم المعيار V.29 حاملاً واحداً له تردد يساوي 1700Hz ويعمل بمعدل إرسال يساوي 2400 رمزاً في الثانية ويستخدم كوكبة إشارات بها 16 نقطة ليرسل بمعدل إرسال بيانات يساوي 9600 رقماً ثنائياً في الثانية. ويستخدم المعيار V.29 نظام تعديل الاتساع المتعامد (QAM) بعدد 8 أطوار و4 اتساعات. وتقسم البيانات لوحدات كل وحدة بها 4 أرقام ثنائية تمثل برمز واحد، والرقم الأول من كل مجموعة رباعية (quadbit) يحدد الاتساع وتحدد الأرقام الثلاث الأخرى الطور. وللإرسال في الاتجاهين يستخدم زوجان من الأسلاك، زوجاً لكل اتجاه.

يعمل موديم المعيار V.32bis على 6 أرقام في كل وقت ويضيف رقماً إطنابياً لتعديل الشفرة الشبكية TCM لنحصل على كوكبة من 64 نقطة. ويمكن من الإرسال بمعدل 14400 رقماً ثنائي 2400*6. لموديم المعيار V.32bisخاصية الرجوع fall)

(back لمعدلات إرسال أدنى (12200, 9600 or 4800 bps في حالة تدهور حالة قناة الإرسال (الخط) ويحتوي على آلية تلقائية للعودة مرة أخرى (fall forward) لمعدلات الإرسال الأعلى عندما تتحسن حالة الخط. ويستخدم المعيار تعديل الشفرة الشبكية ثنائي الأبعاد (2-dimensional TCM) بكوكبة إشارات بها 512 نقطة ويسمح بمعدل إرسال يساوي 19.2 kbps.

يمتلك موديم المعيار V.34 المقدرة على ضغط البيانات (data compression) عندما يتراسل مع موديم من نفس المعيار لتخفيض معدل الإرسال. عند تنشيط خاصية ضغط البيانات يمكن أن يتناول الموديم البيانات من طرفية البيانات (DTE) الموصولة به بمعدل 115.2 kbps ويرسلها بمعدل 28.8 kbps. وهذا يعني أن المتحكم في الاستقبال /الإرسال غير المتزامن UART المبنية داخل بوابة الإرسال التسلسلي (serial port) بالحاسوب الشخصي (PC) يجب أن تكون لها المقدرة على الإرسال بهذا المعدل. لاحظ أن 8250 UART تبدأ في فقدان بعض الحروف عند معدل إرسال أعلى من 19.2 kbps كما أن 16400 UART تبدأ في فقدان الحروف عندما يتجاوز معدل الإرسال 57.6 kbps.

أسئلة تقويم ذاتي



أكمل الجدول التالي:

V.32	9600bps,Sync,……
.....	14400bps,Sync,……..
V.32ter	14400bps, Sync, FDX, 9bpb, TCM, STN, PP2W
.....	14400bps, Sync, FDX, 2400baud, 7bpb, TCM, PP4W
V.34	28800bps, ……..

Sync = ……
FDX = Full Duplex
=.....bit per baud
STN.=.....
PP2W= for use on point-to-point two-wire leased circuits
=.....for use on point-to-point four-wire leased circuits

الخلاصة

وصفت الوحدة في قسمها الأول تنقل البيانات داخل أجهزة البيانات مثل الحواسيب وذلك عند مداخلها ومخارجها عبر عدد من القنوات المتوازية وهذا ما يعرف بالإرسال المتوازي ولصغر المسافات في هذه الحالات يمكن التأكد من تماثل خواص إرسال هذه القنوات المتوازية إلا أن ذلك يكون عسيراً في حالة الإرسال عبر مسافات طويلة ، في هذه الحالات يلجأ إلى نظام الإرسال التسلسلي عبر قناة واحدة ترسل عبرها رموز البيانات إلى عناصر الإرسال بالتوالي أي رمز تلو الآخر .

طريقة الإرسال غير المتزامن هي طريقة لتحقيق التزامن بين المرسل والمستقبل بالرغم من أن المصطلح يوحي بخلاف ذلك. و يلجأ المرسل لإرسال البيانات في شكل حروف (characters) كل حرف تمثله مجموعة من الرموز مثلاً 5 إلى 8 من الأرقام الثنائية وعلى المستقبل الحفاظ على التزامن أثناء فترة الحرف فقط. وتصاحب هذه الحروف أرقام ثنائية عند بداية ونهاية كل منها. فالرقم عند بداية الحرف هو الرقم الثنائي 0 ويعرف برقم البداية (start bit) ومداه الزمني يساوي المدى الزمني لكل من أرقام الحرف الثنائية. أما الرقم الثنائي عند نهاية الحرف فهو الرقم 1 ويعرف برقم التوقف (stop bit) ولا يقل مداه الزمني عن 1 أو 1.5 أو2 مرة مثل مدى أرقام الحرف الثنائية، وفي حالة عدم إرسال حرف لاحق مباشرة بعد سابقه يظل مدى رقم التوقف في ازدياد أي أن المرسل في هذه الحالة التي تسمى حالة التعطل (idle state) يستمر في إرسال الرقم 1 على الخط، أنظر الشكل(5-3). وفي حالة الإرسال بأرقام ثنائية ذات اتساع لا يعود للصفر (NRTZ-L) تكون قطبية الرقم 1 سالبة وقطبية الرقم 0 موجبة.

يبدأ إرسال كل حرف بإرسال رقم البداية تليه أرقام الحرف ابتداءً بالرقم الأقل أهمية (LSB) ثم رقم فحص التطابق ويمثل الرقم الأكثر أهمية (MSB) ويستخدم بواسطة المستقبل لكشف الأخطاء وأخيراً يرسل رقم التوقف. يمثل رقم البداية لحظة

البداية التي يستغلها المستقبل للتزامن مع أرقام الحرف التي تلي رقم البداية. وهذه اللحظة تصحب الانتقال من قطبية رقم التوقف السالبة إلى قطبية رقم البداية الموجبة وهي لحظة الانتقال من حالة التعطل أو نهاية حرف إلى بداية حرف جديد.

وبمستوى متواضع من التزامن يمكن تتبع الحروف المستقبلة بصورة صحيحة ما لم يكن معدل الخطأ في التزامن كبيراً، مثلاً أكبر من 5% في حالة إطار (frame) من 10 أرقام ثنائية مما يؤدي لحدوث أخطاء، والإطار الواحد يمثله رقم البداية ورقم التوقف وأرقام الحرف الثنائية التي تحتوي أيضاً على رقم فحص التطابق.

أما إذا فُقِد التزامن في هذه الحالة فإنه قد تحدث أخطاء عند محاولة كشف أرقام الحرف خاصة الأخيرة منها، وإذا كانت ساعة المستقبل أسرع من ساعة المرسل التي أُرسلت بها أرقام الحرف الثنائية قد يحدث انتقال في نهاية الحرف من رقم من النوع 0 إلى رقم من النوع 1 يعتبره المستقبل انتقالاً من رقم توقف إلى رقم بداية وبالتالي يعتبر ذلك بداية حرف جديد. ويعرف هذا النوع من الأخطاء بخطأ التزامن (framing error).

طريقة الإرسال غير المتزامن سهلة وقليلة الكلفة غير أن كفاءة استغلال عرض نطاق قناة الإرسال منخفضة، لأنه عند إرسال كل حرف يكون مصحوباً بأرقام إضافية ممثلة في رقم البداية ورقم التوقف الذين لا يمثلان جزءاً من البيانات. وفي حالة إرسال حروف طولها 8 أرقام ثنائية لا تزيد كفاءة الإرسال عن 80% أي أن العبء الإضافي (overhead) لا يقل عن 20%. ويمكن زيادة عدد الأرقام الثنائية المرسلة بين رقم البداية ورقم التوقف إلا إن ذلك يؤدي إلى زيادة خطأ التزامن. هذا ما أدى إلى استخدام طريقة الإرسال المتزامن لزيادة كفاءة الإرسال إن المتحكم في الاستقبال /الإرسال غير المتزامن (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) controller) يمثل عنصراً أساسياً من منظومة الاتصال التسلسلي (serial communication) بالحاسوب. فيتسلم المتحكم البيانات في شكل وحدات البايت (byte) من الحاسوب ويرسلها في شكل أرقام ثنائية. وهنالك متحكم

آخر عند طرف الاستقبال يعيد تجميع (re-assembles) الأرقام الثنائية في وحدات البايت مرة أخرى. كذلك يتسلم المتحكم في الاستقبال/الإرسال المتزامن (Universal Synchronous Receiver/Transmitter (USART) controller) البيانات في شكل وحدات البايت ويرسلها أيضاً في شكل أرقام ثنائية مع اختلاف في طريقة توفير التزامن بين المرسل والمستقبل.

في حالة الإرسال المتزامن (synchronous transmission) ترسل البيانات في هيأة كتلة من الأرقام الثنائية المتتالية ولا تستخدم أرقام البداية والتوقف، إلا أن ذلك يتطلب التزامن بين ساعة المستقبل وساعة المرسل ليتمكن المستقبل من تتبع هذه الأرقام بدقة وكشفها بدون أخطاء. هنالك طرق مختلفة لتحقيق هذا التزامن بين المستقبل والمرسل مثل إرسال إشارة تزامن مستقلة من المرسل إلى المستقبل بصحبة إشارة البيانات، مما يعني استخدام سعة إرسال خاصة بها وهي طريقة ممكنة في حالة الإرسال عبر المسافات القصيرة أما إذا كانت المسافة طويلة فإن إشارة التزامن تتعرض للتشوه الناتج عن الضجيج وقناة الإرسال. لذا فإنه عادة يضمن التزامن في إشارة البيانات المرسلة نفسها ويستخلص هذا التزامن بواسطة المستقبل الذي يستغله في ضبط تزامن ساعته مع إشارة البيانات. كما أنه يجب على المستقبل تمييز بداية ونهاية كل كتلة من البيانات ويتطلب ذلك إرسال تركيبة معينة من الأرقام الثنائية تسمى المقدمة (preamble) عند بداية كل كتلة من البيانات وتركيبة أخرى أو نفس التركيبة من الأرقام الثنائية عند نهاية الكتلة وتسمى الخاتمة (post amble) لتمكين المستقبل من التعرف على بداية ونهاية كل كتلة بيانات. كما يمكن أن تحتوي الكتلة أيضاً على أرقام ثنائية إضافية تستخدم لنقل ما يعرف بإشارات التحكم (control signals) التي تستغل بواسطة ما يعرف بإجراءات التحكم في وصلة البيانات (data link control procedures) ، تكون مجموعة البيانات والمقدمة والخاتمة وأرقام التحكم ما يعرف بالإطار (frame) .

في القسم الثاني وهو بعنوان الربط وضحت الوحدة الحد الفاصل بين كل طرف وأداة ربط عند الوصلة التي تربط بينهما ، وما يتضمنه الوصف الكامل لهذا الحد ، كما تطرقت الوحدة لطريقة ربط الموديم مع الجهاز الطرفي وذلك باستخدام وصلة (connector) تحتوي على عدد من دارات تبادل الإشارات التي تمثل مع إضافة بعض الخواص ما يعرف بمواصفات واجهة الربط .

قدمت الوحدة وفي قسمها الثالث بعض مواصفات سلسلة القياسيات V وهي سلسلة من إصدار الاتحاد الدولي للاتصالات وتحدد هذه السلسلة مواصفات الموديمات المستخدمة لربط أجهزة البيانات عبر شبكة الهاتف العمومية .

لمحة مسبقة عن الوحدة الدراسية التالية

الوحدة التالية تبحث في تراسل البيانات والتحكم في انسيابها وفيها نبحث في عملية تبادل البيانات بتفصيل للوقوف على مكوناتها الأساسية . ابتداءً لابد من وجود طرفين يرغبان في تبادل البيانات . كذلك لابد لهذين الطرفين أن يكونا متفقين على التخاطب بلغة يفهمانها من حيث معاني المفردات ، وقواعد بناء الجمل المختلفة ، كما انه لابد من توفر وسيط عبره يسمع كل طرف الطرف الآخر .

مسرد مصطلحات

- **الإرسال غير المتزامن**

هي طريقة لتحقيق التزامن بين المرسل والمستقبل بالرغم من أن المصطلح يوحي بخلاف ذلك. في هذه الحالة يحاول النظام تحاشي إرسال الرموز بصورة متتابعة تستوجب دقة عالية في توقيت أخذ عينات منها لكشفها عند الاستقبال.

- **الإرسال المتزامن (synchronous transmission)**

طريقة ترسل بها البيانات في هيأة كتلة من الأرقام الثنائية المتتالية ولا تستخدم أرقام البداية والتوقف، إلا أن ذلك يتطلب التزامن بين ساعة المستقبل وساعة المرسل ليتمكن المستقبل من تتبع هذه الأرقام بدقة وكشفها بدون أخطاء.


الوحدة السادسة
تراسل البيانات
والتحكم في انسيابها

محتويات الوحدة

الموضـــــوع	الصفحة
المقدمة	**126**
تمهيد	129
أهداف الوحدة	130
1. البروتوكولات	**132**
2. عملية الاتصال	**134**
3. بروتوكولات طبقات ربط النظم المفتوح OSI	**137**
1.3 طبقة التطبيقات	137
2.3 طبقة العرض	137
3.3 طبقة الجلسة	138
4.3 طبقة النقل	139
5.3 طبقة الشبكة	140
6.3 طبقة التحكم بوصلة البيانات	141
7.3 الطبقة المادية	142
4. التحكم في تبادل البيانات	**143**
5. التحكم بالانسياب	**145**
1.5 طريقة الوقوف والانتظار	146
2.5 بروتوكولات النافذة المنزلقة	152
1.2.5 الرجوع عدد N إطاراً	152
2.2.5 الاستبعاد الانتقائي	157
6. التحكم في الأخطاء	**158**
1.6 الفحص الدوري بالفائض	159
الخلاصة	**161**
إجابات التدريبات	**163**
مسرد المصطلحات	**164**
المصادر والمراجع	**165**

المقدمة

تمهيد

عزيزي الدارس،،

مرحباً بك عزيزي الدارس في الوحدة السادسة من مقرر " تراسل البيانات " والتي تبحث في تراسل البيانات والتحكم في انسيابها، **القسم الأول** من الوحدة بعنوان البروتوكولات وفيه نوضح مراحل الاتصال والقصد من تجزئة عملية الاتصال وتقسيمها إلى مراحل . **القسم الثاني** من الوحدة يبحث في عملية الاتصال التي تحقق بين تطبيقي مستخدم أحدهما حاسوب مرسل والأخر حاسوب مستقبل .

القسم الثالث من الوحدة يتطرق إلى بروتوكولات طبقات ربط النظم المفتوح (OSI) الذي يقدم وصفاً لمهام الطبقات المختلفة المكونة لنموذج ربط النظم المفتوح .

القسم الرابع يتناول التحكم في تبادل البيانات حيث يقدم القسم مطلوبات لضمان وصول البيانات . التحكم بالانسياب عنوان **القسم الخامس** ونتناول في هذا القسم طريقة الوقوف والانتظار وطريقة النافذة المنزلقة .

القسم السادس يتناول التحكم في الأخطاء فبجانب مهمة التحكم انسياب البيانات فان من مهام بروتوكول طبقة التحكم في وصلة البيانات التأكد من استقبال البيانات بدون أخطاء .

أهداف الوحدة

بعد فراغك من دراسة هذه الوحدة ينبغي أن تكون قادرا علي أن:

- **تعدد** مطلوبات ضمان وصول البيانات.
- **تصف** كيف تتحقق عملية الاتصال.
- **تصف** مهام الطبقات المختلفة المكونة لنموذج ربط النظم المفتوح OSI.

توطئة

كما ذكر في الفصل الأول فإن مهمة نظم تراسل البيانات الأساسية هو تبادل البيانات بين طرفين. وذكر أيضاً أن عملية تبادل البيانات تشمل نقل البيانات إلكترونياً من طرف لآخر بالإضافة إلى مهام أخرى عديدة مثل ضبط وفحص المعلومات (control and checking of information) ومعالجة نقلها في شبكات الحاسوب المكونة من الدوائر والشبكات الضرورية لنقل البيانات، والعتاد الصلب (hardware) والعتاد المرن (software) المطلوبين لدعم وظائف تراسل البيانات. وكذلك إجراءات كشف وتصحيح الأخطاء (error detection and correction). وذلك حسب معايير (standards) وصل أجهزة المستخدمين مع شبكة الإرسال، والقواعد والبروتوكولات (rules and protocols) التي تحقق التبادل المنظم للمعلومات.

يمكن النظر لعملية تبادل البيانات بتفصيل للوقوف على مكوناتها الأساسية. ابتداءً لا بد من وجود طرفين يرغبان في تبادل البيانات. كما لابد لهذين الطرفين أن يكونا متفقين على التخاطب بلغة يفهمانها من حيث معاني المفردات (semantics) وقواعد بناء الجمل (syntax) المختلفة. كما أنه لا بد من توفر وسيط عبره يسمع كل طرف الطرف الآخر، وعندما يود طرف مخاطبة الطرف الآخر يجب على هذا الطرف إشعار الطرف الآخر برغبته في التخاطب معه ليعيره انتباهه واهتمامه. كما يجب على كل طرف التأكد من توصيل خطابه للآخر بصورة مفهومة لا لبس فيها كما له أن يتأكد مما إذا كان الطرف الآخر فهمه. تحدث هذه الترتيبات بين البشر بصورة تلقائية وهي مهمة لنجاح التخاطب بين الطرفين. ولا شك أن هذه الترتيبات ذات أهمية أكبرً في حالة الماكينات والحواسيب التي تتبادل البيانات فيما بينها.

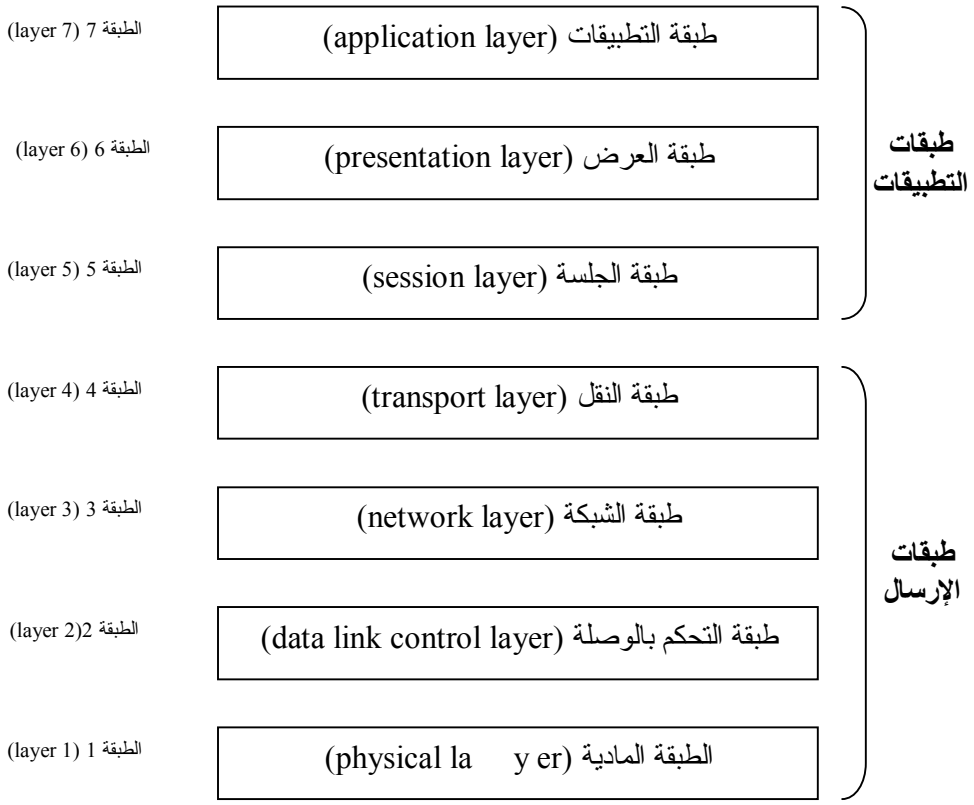
1. البروتوكولات

إن عملية الاتصال بين حاسوبين موصولين مباشرة أو عن طريق شبكة مثل شبكة محلية (LAN) عملية معقدة وتصبح هذه العملية أكثر تعقيداً عندما يتبادل هذان الحاسوبان البيانات عبر شبكات موصولة فيما بينها (interconnected networks, internet) مثل الإنترنت. ولتحقيق التخاطب أو الاتصال بين هذين الحاسوبين بطريقة دقيقة ومحكمة تتم عملية الاتصال المفصلة أعلاه في مراحل، كل مرحلة منها تؤدي وظيفة محددة وكل مرحلة مصممة لتتفاعل مع المرحلة التي تليها ومع المرحلة التي تسبقها بصورة محكمة. والقصد من تجزئة عملية الاتصال وتقسيمها إلى مراحل هو تبسيط هذه العملية كما يحدث في كثير من الأمور الحياتية. ومن الضروري أن تتفاعل كل مرحلة مع المرحلة التي تسبقها والمرحلة التي تليها بصورة سلسة. إن تقسيم عملية الاتصال إلى مراحل لا يبسط هذه العملية فقط ولكن أيضا يبسط عمليات تحديث وتطوير كل مرحلة بصورة مستقلة عن المراحل الأخرى ومن غير تأثير على المراحل الأخرى مع مراعاة الربط (interfacing) بين هذه المرحلة المعنية بالتغيير والمرحلتين السابقة لها واللاحقة.

لقد قسمت عملية الاتصال إلى سبع مراحل متفق عليها عالمياً تعرف اصطلاحاً بالطبقات (layers) حيث تقتصر كل طبقة من هذه الطبقات السبعة على أداء مهام محددة بواسطة إجراءات (procedures) أو بروتوكولات (protocols) ملائمة لأداء هذه المهام. ويمكِّن طاقم هذه البروتوكولات أي تطبيقين من البرمجيات (software applications) مودعين في حاسوبين من تبادل البيانات بينهما عبر الشبكات. ويطلق على طاقم هذه البروتوكولات المعتمدة من منظمة التقييس العالمية (International Standards Organization(ISO)) منذ مطلع ثمانينات القرن العشرين مصطلح نموذج ربط النظم المفتوح (Open Systems Interconnection(OSI) Model) أي المتاحة مواصفاته لكل الناس من مصنعين ومستخدمين، لإتاحة الفرصة للتخصص وذلك

بأن تركز كل شركة على تصنيع جزئية أو جزئيات محددة وإتقانها وبالتالي نحصل على نظم جيدة ولتوفير التنافس بين المصنعين مما يؤدي إلى تخفيض كلفة هذه النظم ولتسهيل عملية الاتصال. ويطلق على المراحل أو الطبقات التي ورد ذكرها مصطلح طبقات نموذج ربط النظم المفتوح (OSI layers) وهي مفصلة في الشكل(6-1). إن نموذج ربط النظم المفتوح لا يشرح كيفية ربط، مثلاً، بطاقة شبكة (network interface card) من صنع شركة ما مع مقسم (switch) من صنع شركة أخرى، ولكن يصف نوع التفاعلات (interactions) التي لا بد أن تتم بين بطاقة الشبكة والمقسم حتى يتمكنا من الاتصال فيما بينهما مهما كانت الشركتان المصنعتان.

يشار إلى منظومة البروتوكولات (protocol suite) التي تحقق مهمة الاتصال بمُتراصَّة البروتوكولات (protocol stack) حيث أنها تؤدي مهامها تباعاً أي الأول ثم التالي كأنها موضوع بعضها فوق البعض. وترسم طبقات نموذج ربط النظم المفتوح مرصوصة فوق بعضها تأكيداً لهذا التسلسل المنطقي لمهام الاتصال كما في الشكل(6-1). ويُشار إلى الطبقات العليا من 5 إلى 7 بطبقات التطبيقات (application layers) وتُحقق بروتوكولات تنفيذ مهام هذه الطبقات دائماً في شكل برمجيات، وتعتمد تفاصيل هذه المهام والبروتوكولات المنفذة لها على نوع تطبيق المستخدِم (user application) الذي يقوم بالإرسال. أما الطبقات الدنيا من 1 إلى 4 فيشار إليها بطبقات الإرسال (transmission layers) ولا يهمها أي تطبيق استهل الإرسال فهي تعالج البيانات المرسلة بنفس الطريقة في كل الأحوال. وتُحقق الطبقتان 1 و2 بالعتاد الصلد (hardware) والطبقتان 3 و 4 بالبرمجيات أي بالعتاد المرن (software). ولا بد من التذكير بأن طبقات نموذج ربط النظم المفتوح تصف المهام التفصيلية المطلوب تنفيذها لإنجاز مهمة الاتصال الكلية، وهي المهمة التي تتحقق بواسطة البروتوكولات التي تصمم لتنفيذ مهام كل طبقة. رغم أن هذا النموذج يصوِّر كيفية الاتصال فقط ولا يمثل وسيلة للاتصال فإنه لا شك قد ساعد كثيراً في وصف طريقة قياسية لتحقيق الاتصال.



الشكل(6-1): نموذج ربط النظم المفتوح المرجعي

أسئلة تقويم ذاتي



قسمت عملية الاتصال إلى سبع مراحل متفق عليها عالمياً اذكر هذه المراحل؟

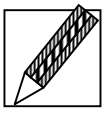
2.عملية الاتصال

يتحقق الاتصال بين تطبيقي مستخدم أحدهما في حاسوب مرسل والآخر في حاسوب مستقبل. يبدأ التطبيق المرسل عملية الاتصال بطلب خدمات أحد بروتوكولات طبقة التطبيقات الذي بدوره يتناول البيانات الممررة له بواسطة التطبيق المرسل ويمررها إلى طبقة العرض، ثم تمرر البيانات من طبقة إلى الطبقة الأدنى في الحاسوب

المرسل إلى أن تصل الطبقة المادية ومن ثمَّ ترسل عبر الشبكة لتصل إلى الحاسوب المستقبل. بعد استقبال البيانات تمرر من طبقة إلى الطبقة لأعلى داخل الحاسوب المستقبل إلى أن تصل طبقة التطبيقات التي تدفع بها إلى التطبيق المستقبل. في كلا الحالتين تؤدي كل طبقة من الطبقات مهام محددة لتمكين التطبيقين من الاتصال. ومما تجدر ملاحظته أنه ليس كل تطبيق يحتاج لخدمات جميع طبقات التطبيقات، ولكن كل تطبيق يحتاج لخدمات جميع طبقات الإرسال.

كل طبقة تقدم خدمات للطبقة التي تعلو عليها وتطلب خدمات الطبقة الأدنى منها في نفس الحاسوب وكذلك تتصل بطريقة غير مباشرة بواسطة بيانات التحكم مع الطبقة المناظرة (peer layer) لها في الحاسوب الآخر.

تدريب (1)



ارسم مخططاً مبسطاً لنظـــام انسياب البيانـات من الطبقـة المرسلـة حتـى الطبقة المستقبلة.

تُقسم البيانات التي يرغب تطبيق المستخدم في إرسالها إلى التطبيق الموجود في الحاسوب الآخر أجزاء صغيرة بواسطة بروتوكول طبقة التطبيقات ويضيف إلى كل جزء من البيانات مقدمة طبقة التطبيقات ومؤخرتها للحصول على ما يعرف بوحدة بيانات بروتوكول طبقة التطبيقات (application layer protocol data unit,PDU) ويطلق عليها أيضاً مصطلح رسالة (message). تحوي المقدمة والمؤخرة المضافتان بيانات تحكم غير مفهومة للطبقات الأدنى في نفس الحاسوب ولكنها مفهومة للطبقة النظيرة في الحاسوب الآخر.

ويتوالى سريان هذه الوحدات من طبقة إلى الطبقة الأدنى التي تتعامل مع هذه الوحدات كبيانات حيث أنها لا تستطيع فهم بيانات التحكم المدرجة في المقدمة والمؤخرة. وتضيف هذه الطبقة بدورها مقدمة ومؤخرة للوحدة التي تسلمتها للحصول على وحدة بيانات بروتوكول (PDU) جديدة بعد إضافة مقدمة ومؤخرة هذه الطبقة إليها، وهكذا إلى أن تصل الوحدة إلى الطبقة المادية التي لا تضيف مقدمة ولا مؤخرة. تعرف وحدة بيانات بروتوكول طبقة النقل بالقطعة (segment)، وتعرف وحدة بيانات بروتوكول طبق الشبكة بالحزمة (packet)، كما تعرف وحدة بيانات بروتوكول طبقة التحم بوصلة البيانات بالإطار (frame). تعرف عملية وضع البيانات بين المقدمة والمؤخرة بعملية التغليف (encapsulation) ويطلق على العملية العكسية إزالة التغليف (de-encapsulaation). في الغالب لا تضاف مؤخرة وإنما تضاف مقدمة (header) فقط، أنظر الشكل(6-2).

بيانات المستخدم الأصلية (original user data)	مقدمة الطبقة 4	مقدمة الطبقة 3	مقدمة الطبقة 2	مقدمة	مقدمة	مقدمة مقدمة
الطبقة 5 6 7						

الشكل(6-2): وحدة بيانات البروتوكول (PDU) بعد إلحاق مقدمات الطبقات المختلفة بها.

ثم تسري هذه الوحدات في قناة الإرسال لتصل إلى المستقبل. وفي المستقبل تسري وحدات بيانات البروتوكول من الطبقات الدنيا إلى الأعلى حيث تقوم كل طبقة بنزع مقدمة ومؤخرة الطبقة النظيرة من الوحدات وقراءة ما تحوي من بيانات تحكم وذلك قبل تسليمها إلى الطبقة الأعلى إلى أن تصل إلى التطبيق المعني.

أسئلة تقويم ذاتي



قسمت عملية الاتصال إلى سبع مراحل متفق عليها عالمياً اذكر هذه المراحل؟

3. بروتوكولات طبقات ربط النظم المفتوح OSI

كما ذكر سابقاً فإن مهمة الاتصال الكلية تنفذ في شكل مهام جزئية بواسطة بروتوكولات طبقات ربط النظم المفتوح (OSI). وفيما يلي وصف لمهام الطبقات المختلفة المكونة لنموذج ربط النظم المفتوح (OSI model).

1.3 طبقة التطبيقات

وهي أعلى طبقة من طبقات المتراصَّة وهي الأقرب إلى تطبيقات المستخدم (user applications) ولكن لا تشملها، وتشمل برامج تمكِّن تطبيقات المستخدم التي بها مكوِّن اتصال من الوصول إلى الشبكة. وتمكِّن هذه البروتوكولات المستخدم من أداء بعض المهام مثل تصفح الإنترنت بواسطة متصفح الإنترنت الذي ينادي بروتوكول نقل النصوص (Hypertext Transfer Protocol, HTTP) للوصول إلى خادمات الويب (to access web servers) لتنزيل صفحات الويب (to download web pages)، وكذلك يمكِّن برنامج البريد الإلكتروني المستخدم من إرسال البريد.

وقد صممت بروتوكولات عديدة للعمل عند طبقة التطبيقات مثل بروتوكول نقل البريد البسيط (Simple Mail Transfer Protocol, SMTP) وبروتوكول نقل الملفات (File Transfer Protocol, FTP) وبروتوكول نقل النصوص (HTTP).

وتؤدي هذه الطبقة مهام إدارة الموارد المطلوبة لنقل الملفات، مثل الذاكرات المستخدمة لتخزينها قبل أن تتوفر لها سعة الشبكة المطلوبة لنقلها، ولمضاهاة الملف الافتراضي (virtual file emulation) ولمضاهاة الطرف الافتراضي (virtual terminal emulation)، وللمعالجة الموزعة (distributed processing) وغير ذلك.

2.3 طبقة العرض

طبقة العرض هي الطبقة التي تلي طبقة التطبيقات وترتبط بها من جانب وبطبقة الجلسة من الجانب الآخر. وهي تمكن تطبيقات طبقتي التطبيقات المودعة في الطرفين المتصلين من فهم واستعمال المعلومات المتبادلة بينها، وتمكنها من تحديد شكل البيانات (data format) أو تحويلها من شكل لآخر بناءً على الشكل الذي يتفق عليه تطبيقا الإرسال ليتوفر التوافق بينهما. كذلك تحتوي هذه الطبقة على بروتوكولات إجراء التشفير (encryption) وإزالة الشفرة (decryption) باستخدام خوارزميات التشفير (cryptographic algorithms) حتى لا تقرأ الرسائل بواسطة طرف ثالث بجانب المرسل والمستقبل المعني. كما تحوي بروتوكولات ضغط البيانات وإزالة الضغط لتمكين البيانات من الانسياب في الشبكات البطيئة أي ذات سعات الإرسال الضيقة (narrow transmission capacity). ولذلك تعتبر طرق تحويل ترميز النصوص (text format translation) من الشفرة القياسية الأمريكية لتبادل المعلومات (الآسكي) (ASCII) إلى الترميز الموحَّد (Unicode) أو العكس وكذلك طرق ضغط الصور مثل JPEG وGIF جزءاً من طبقة العرض. وبهذا يصبح الاتصال غير معتمد على نوعية أجهزة الاتصال (machine-independent). ومن بروتوكولات طبقة العرض ما يعرف ببروتوكول العرض (Presentation Protocol) وقواعد الترميز الأساسية لتجريد تنويت بناء النص (Abstract Syntax Notation 1 .Basic Encoding Rules, ASN1BER)

أحياناً تضاف إجراءات التشفير لبروتوكولات طبقات غير طبقة العرض كما في حالة بروتوكول الإنترنت (Internet Protocol, IP) ، وهو من بروتوكولات طبقة

الشبكة، للحصول على بنية تأمين بروتوكول الإنترنت (Internet Protocol Security Architecture, IPSec).

3.3 طبقة الجلسة

من مهام هذه الطبقة التفاوض حول الجلسات بين عمليات التطبيقات (application processes) وبدؤها والمحافظة عليها وإنهاؤها، مثل عملية بنكية بواسطة ماكينة صرف آلي (automatic teller machine,ATM) أو عملية تحويل النقود (fund transfer) عموماً. وتراقب طبقة الجلسة كلفة الخدمة المقدمة، وفي حالة الجلسات المهمة مثل المذكورة سابقاً يتتبع بروتوكول الجلسة (Session Protocol) الاتصال بوضع نقاط مراقبة (checkpoints) فإذا انقطع الاتصال لأي سبب واصل البروتوكول الجلسة من أقرب نقطة مراقبة حيث انقطع الاتصال وليس من البداية. وتستخدم التطبيقات عند كل طرف من طرفي الاتصال طبقة العرض لربط العديد من جلسات طبقة النقل وتحقيق التزامن بينها.

4.3 طبقة النقل

طبقة النقل مسئولة عن نقل البيانات بين الشبكات بموثوقية عالية. ويحقق بروتوكول النقل (Transport Protocol) واحدة أو أكثر من المهام، مثل التحكم في انسياب البيانات (data flow control) وكشف الأخطاء واستعادة البيانات (error detection and recovery) والخلط (multiplexing) وترتيب الحزم (packet sequencing) وإدارة الاتصال (connection management).

التحكم بانسياب البيانات يمكِّن طرفي الاتصال من الاتفاق على معدل إرسال مناسب لكليهما، وهي مهمة تشبه مهمة التحكم التي تتم في طبقة التحكم بوصلة البيانات (DLC layer) بين طرفين في شبكة واحدة، إلا أنها أكثر تعقيدا في حالة طبقة النقل إذ من الممكن أن يكون كل طرف من الطرفين موصولاً بشبكة مختلفة.

تستخدم بروتوكولات النقل نفس الطريقة المستخدمة بواسطة بروتوكولات التحكم بوصلة البيانات لكشف الأخطاء وهي طريقة فحص الإطناب الدوري (CRC)، إلا أن بروتوكولات النقل تحاول دائماً استعادة البيانات الصحيحة بطلب إعادة الإرسال. وعندما تُسقِط طبقة التحكم بوصلة البيانات إطار بيانات ما (a data frame) يقع العبء على طبقة النقل لتصحيح الأخطاء الحادثة لهذا الإطار.

تظهر أهمية الخلط عندما يكون هنالك أكثر من تطبيق يرسل بيانات على نفس الوصلة. مثلاً قد يكون المستخدم في لحظة ما يتصفح الإنترنت ويرسل بريداً وينقل ملفاً إلى المخدم في آن واحد. في هذه الحالة تقوم بروتوكولات النقل بمهمة إضافة بيانات التحكم إلى كل حزمة بيانات(data packet) لتمكن من تمييز التطبيق المعني بالحزمة وذلك في حالتي الإرسال والاستقبال.

إن من مهام بروتوكولات النقل تجزئة البيانات (data segmentation) إلى وحدات صغيرة كل منها تسمى وحدة بيانات البروتوكول (protocol data unit,PDU) لها طول يساوي الطول المُعيَّن بواسطة الشبكة للإرسال، ثم تجميع هذه الوحدات عند الاستقبال وبالترتيب الصحيح المودع في مقدمة (header) وحدة البيانات.

من مهام بعض بروتوكولات النقل الداعمة للوصل (connection-oriented protocols) إنشاء وصلة بين طرفين والمحافظة عليها وإنهاؤها وذلك عبر التخاطب فيما بينها ليتم الوصل قبل الإرسال حتى يمكن التحكم في انسياب البيانات ويتم تصحيح الأخطاء. وبروتوكولات النقل الأخرى التي لا تنشي وصلةً بين الطرفين لتبادل البيانات بينهما تسمى بروتوكولات النقل بدون وصل (connection-less protocols) وهي أسرع من سابقاتها ولكنها تستخدم في حالة الإرسال الذي لا يحتاج لاعتمادية مطلقة.

هنالك العديد من بروتوكولات طبقة النقل منها على سبيل المثال ما يعرف ببروتوكول التحكم بالإرسال (Transmission Control Protocol,TCP) وبروتوكول داتاغرام المستخدم (User Datagram Protocol,UDP) وبروتوكول تبادل الحزم التسلسلي (Sequential Packet Exchange,SPX).

5.3 طبقة الشبكة

المهام الأساسية لطبقة الشبكة هي العنونة المنطقية (logical addressing) أي عنونة الشبكة (network addressing) والتوجيه (routing)، وهما المهمتان اللتان تحققان إرسال البيانات عبر الشبكات الموصولة (internetwork) فيما بينها مثل الشبكة الجامعية (campus network) وشبكة المدينة (metropolitan area network,MAN) وشبكة المنطقة الواسعة (wide-area network,WAN). لقد وزعت مهام تحقيق إرسال البيانات عبر الشبكات الموصولة بين طبقتي النقل والشبكة، غير أن هذه المهام قد دُمجت في طبقة التحكم بوصلة البيانات (DLC) في حالة إرسال البيانات داخل شبكة واحدة.

بينما تستخدم العنونة المادية (physical addressing) في طبقة التحكم بوصلة البيانات، تستخدم العنونة المنطقية في طبقة الشبكة حيث تخصص عناوين نقاط الالتقاء التي تسمى العقد (nodes) بواسطة مدير الشبكة الذي يمكنه تغيير عنوان أي عقدة دون تغيير تهيئتها المادية (physical configuration)، بشرط أن يكون لكل عقدة عنوان فريد (unique address) خاص بها.

6.3 طبقة التحكم بوصلة البيانات

تتلخص مهام طبقة التحكم بوصلة البيانات في العنونة المادية (physical addressing)، وبنية الشبكة (network architecture)، والتحكم في الأخطاء (error control) أي كشف وتصحيح الأخطاء، وسلسلة الإطارات (frame sequencing)، والتحكم في الانسياب (flow control). وتحقق هذه الطبقة الاتصال في حدود شبكة معزولة أو شبكة داخلية (intranet).

عن طريق العناوين المادية يتم تبادل البيانات بين أي زوج من العقد الموصولة بنفس الشبكة. ويجب أن يكون لكل عقدة عنوان فريد يميزها عن العقد الأخرى حتى تصلها البيانات المعنونة لها دون لبس. وعادة يُضمَّن العنوان المادي في بطاقة الربط

بالشبكة (network interface card,NIC) ويتم ذلك بواسطة المصنِّع ولا يستطيع مدير الشبكة تغيير هذا العنوان إلا بتغيير البطاقة نفسها. تصلح هذه العنونة في حالة الشبكة الواحدة لقلة عدد العقد وإمكانية التعرف على العقدة صاحبة العنوان بسهولة. أما في حالة الشبكات الموصولة فلا تصلح هذه الطريقة ولا بد من عنونة منطقية مرتبة بدقة تمكن من انتقال البيانات إلى العقدة المقصودة بسهولة وبدون لبس.

تحتوي بنية الشبكة على طبولوجيا الشبكة (network topology) مثل البص (bus) والحلقة (ring) وكذلك على العوامل التي تحدد أوقات وكيفية وصول العقد إلى الشبكة وهو ما يعرف بتنظيم النفاذ إلى الشبكة (arbitration).

إن من مهام طبقة التحكم بوصلة البيانات كشف الأخطاء التي تحدث في الإطار وتصحيحها بطلب إعادة إرسال الإطار أو بإسقاط الإطار وذلك بشطبه وترك مهمة التصحيح للطبقات العليا مثل طبقة النقل.

إن حجم الإطار (frame size) محدود لاعتبارات عديدة ولذا يتم إرسال الرسالة أو حتى الحزمة في عدة إطارات مما يستوجب إضافة بيانات في مقدمة الإطار توضح موقعه من الرسالة الكلية وهذا ما يعرف بسَلْسَلة الإطارات frame sequencing) التي ستتضح أهميتها لتنظيم عمليات الانسياب والتحكم في الأخطاء.

لقد تم تقسيم طبقة التحكم بوصلة البيانات إلى طبقتين فرعيتين بواسطة الجمعية IEEE802 التابعة لجمعية مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (Institution of Electrical and Electronic Engineers,IEEE) الأمريكية. إحدى هاتين الطبقتين الفرعيتين ما يعرف بطبقة التحكم المنطقي بالوصلة (logical link control,LLC) التي تؤدي المهام المشتركة بين كل الشبكات أي المهام التي لا تعتمد على طبيعة الشبكة مثل التغليف (encapsulation) والتحكم بالأخطاء والانسياب وربط طبقة الشبكة مع الطبقة الفرعية الأخرى، وهي طبقة التحكم بالنفاذ إلى الوسط (medium access control,MAC) أي تنظيم النفاذ إلى الشبكة (arbitration) الذي يعتمد على طبيعة كل شبكة على حده.

7.3 الطبقة المادية

الطبقة المادية مسئولة عن إعداد الرسالة في الشكل الملائم قبل الدفع بها إلى الوسط الناقل سواءً كان زوج أسلاك أو كبل محوري أو ليف ضوئي أو الفراغ أو غير ذلك. فتعد رسالة البيانات في شكل كهربائي أو ضوئي حسب المواصفات المحددة مثل طريقة الترميز والتعديل ومعدل الإرسال وقدرة الإرسال ومسافات الإرسال ونوع الوصلات وغير ذلك من المواصفات، بناءً على طبيعة الوسط الناقل. ولا تغير هذه الطبقة الإطار الذي يصلها من الطبقة الأعلى ولا تضيف إليه مقدمة أو مؤخرة بل لا تفسر ما يحويه وبالتالي لا تجري عليه أي معالجات تعتمد على محتواه.

أسئلة تقويم ذاتي

1. صممت بروتوكولات عديدة للعمل عند بقة التطبيقات اذكر اثنين منها؟
2. ما هي المهام التي تؤدبها طبقة التطبيقات مثل لمات تقول؟
3. ما هي المهام الأساسية لطبقة الشبكة؟
4. لخص مهام طبقة التحكم بوصلة البيانات.

4. التحكم في تبادل البيانات

كما ذكر سابقاً ترسل البيانات من نقطة إلى النقطة التالية بين طرفين في شكل إشارات تسري في الوسط الناقل الذي يصل بين هذين الطرفين وذلك بعد إعداد هذه الإشارات بصورة تتسق مع قناة الإرسال التي تحملها. إن ذلك ليس كافياً لضمان وصول البيانات بصورة صحيحة. فهنالك مطلوبات عديدة لضمان وصول البيانات بالدقة المطلوبة منها:

- إدارة وصلة الاتصال بواسطة إجراءات تحقق التنسيق والتعاون بين الطرفين لبدء ومواصلة وإنهاء عملية تبادل البيانات بين هذين الطرفين بالدقة المطلوبة

- تزامن الإطار (frame synchronization) حيث أن البيانات ترسل في إطارات مما يعني ضرورة تحديد بداية ونهاية كل إطار
- التحكم بانسياب البيانات (data flow control) حتى لا ترسل البيانات بمعدل إرسال يفوق مقدرة المستقبل على تتبع البيانات الواصلة إليه وكشفها وتصحيح الأخطاء التي تحدث بها
- التحكم بالأخطاء (error control) وذلك بكشف الأخطاء التي تحدث نتيجة للضجيج والتشوه المضافين لإشارة البيانات بواسطة قناة الإرسال وكذلك تصحيح هذه الأخطاء
- العنونة (addressing) في حالة الإرسال من نقطة إلى نقاط عديدة كما في حالة شبكة المنطقة المحلية مما يستوجب تضمين الإطار عنوان الطرف المرسل وعنوان الطرف المستقبل
- تمكين المستقبل من تمييز بيانات المستخدم (user data) من بيانات التحكم (control data) إذ أنهما يرسلان على نفس القناة

ولذلك تعد البيانات في إطارات طبقة التحكم بوصلة البيانات حيث كل إطار يحمل البيانات المراد إرسالها مضافة إليها بيانات التحكم بالإرسال التي تضمَّن في مقدمة الإطار. و تشمل البيانات المراد إرسالها بالنسبة لهذه الطبقة كلاً من بيانات المستخدم الأصلية والبيانات المضمنة في مقدمات الطبقات العليا. وقد يكون الإطار حاملاً لبيانات التحكم فقط في بعض الأحيان. وتحتوي بيانات التحكم على بيانات للتزامن بين المرسل والمستقبل وتحديد بداية الإطار، وبيانات تحدد نوع الإطار وما إذا كان يحتوي بيانات مستخدم أم فقط بيانات تحكم، وبيانات للتحكم بانسياب البيانات بين الطرفين، وبيانات للتحكم بالأخطاء، وبيانات تحدد حجم بيانات المستخدم وغير ذلك من البيانات التي تؤدي المهام التي ورد ذكرها، أنظر الشكل(6-3).

مقدمة الإطار (frame header)	عنوان المستقبل (receiver address)	عنوان المرسل (sender address)	طول حيز بيانات المستخدم	حيز SN	حيز RN	حيز بيانات المستخدم (user data field)	الفحص الدوري بالفائض (CRC)

الشكل(6-3): نموذج لإطار البيانات وما يحويه من أجزاء مختلفة

يوضح الشكل(6-3) نموذجاً لإطار البيانات بأجزائه المختلفة الذي ترسله طبقة التحكم بوصلة البيانات. يحتوي الإطار على مقدمة ذات تركيبة محددة معلومة للطرفين، المرسل والمستقبل، تمكن المستقبل من تبين بداية كل إطار. ويتحسس المستقبل عند محاولة استقبال كل إطار بأجزائه المختلفة وصول هذه التركيبة من الأرقام الثنائية ليحدد بها بداية الإطار. وقد يحتوي الإطار على عناوين المرسل والمستقبل وأيضاً على حجم بيانات المستخدم المضمنة في الإطار إن كانت هنالك بيانات مستخدم.

كما يحتوي الإطار على أرقام فحص الإطناب الدوري التي تحسب من الإطار وتضاف إليه عند الإرسال لتمكين المستقبل من كشف حدوث الأخطاء، كما موضح في طريقة كشف وتصحيح الأخطاء المشروحة أدناه. وعند الاستقبال يعيد المستقبل حساب أرقام فحص الإطناب التي تكون أصفاراً في حالة عدم حدوث الأخطاء. أما إذا كان متبقي القسمة غير صفر دل ذلك على حدوث خطأ أو أكثر وفي هذه الحالة قد يطلب المستقبل من المرسل إعادة إرسال ذلك الإطار الذي وصل للمستقبل محتوياً على بعض الأخطاء. لذا من الضروري أن يحتفظ المرسل بكل إطار أرسل إلى المستقبل حتى يتلقى من المستقبل تأكيداً على استقباله لذلك الإطار خالياً من الأخطاء. وهنا تظهر أهمية رقم الإرسال (send number,SN) ورقم الاستقبال (receive number,RN) المستخدمين لتحديد الإطارات التي أرسلت والإطارات التي استقبلت دون أخطاء، كما هو موضح في طرق التحكم بانسياب البيانات المشروحة أدناه.

أسئلة تقويم ذاتي



هنالك مطلوبات عديدة لضمان وصول البيانات بالدقة المطلوبة اذكرها؟

5. التحكم بالانسياب

تنبع أهمية التحكم بانسياب البيانات من وجوب التأكد من وصول كل إطار إلى المستقبل وكشفه والتأكد من عدم حدوث أي خطأ به. وإذا حدث به خطأ يطلب المستقبل من المرسل إعادة إرسال ذلك الإطار حتى يستقبل دون أي خطأ. وتسمى هذه الطريقة طلب إعادة الإرسال الآلي (automatic repeat request,ARQ) وتستخدم لتصحيح الأخطاء باعتبار أن الأخطاء تحدث متفرقة واحتمال حدوث الأخطاء يقل مع تكرار إرسال الإطار. هنالك طرق مختلفة للتحكم بانسياب البيانات منها ما يعرف بطريقة الوقوف والانتظار (stop-and-wait) وطريقة النافذة المنزلقة (sliding window).

1.5 طريقة الوقوف والانتظار

طريقة الوقوف والانتظار للتحكم بانسياب البيانات طريقة بسيطة تتلخص في الآتي. يرسل المرسل إطاراً من البيانات ثم يتوقف عن الإرسال وينتظر حتى يتلقى من المستقبل إشعاراً بالاستلام (acknowledgement). إذا كان هذا الإشعار إيجابياً (positive acknowledgement,ACK) أي أن الإطار قد استلم بدون أخطاء، يرسل المرسل الإطار التالي. أما إذا كان الإشعار سالباً (negative acknowledgement,NAK) أي أن الإطار قد استلم وبه بعض الأخطاء فإن المرسل يعيد إرسال ذلك الإطار مرة تلو الأخرى حتى يستلم إشعاراً إيجابياً من المستقبل. كما هو واضح فإن هذه الطريقة ذات كفاءة إرسال متدنية. أي أن كثيراً من الوقت قد يبدد في الانتظار خاصة إذا كان زمن انتقال الإشارة (signal propagation time) من المرسل إلى المستقبل طويلاً كما في حالة الوصلات الفضائية (space links) المستخدمة للسواتل المتزامنة (geosynchronous satellites). يوضح ما يلي تسلسل إرسال أحد الإطارات بين الطرفين والإشعار باستقباله، حيث TP هو زمن انتقال الإشارة بين الطرفين وTA زمن الإشعار وTPR زمن المعالجة الكلي في الطرفين.

لحظة بداية إرسال الإطار	t0
لحظة نهاية إرسال الإطار	t0+TF
لحظة بداية استقبال الإطار	t0+TP
لحظة نهاية استقبال الإطار	t0+TP+TF
لحظة الفراغ من معالجة الإطار	t0+TP+TF+TPR1
لحظة بداية إرسال الإشعار	t0+TP+TF+TPR1
لحظة نهاية إرسال الإشعار	t0+TP+TF+TPR1+TA
لحظة بداية استقبال الإشعار	t0+TP+TF+TPR1+TP
لحظة نهاية استقبال الإشعار	t0+TP+TF+TPR1+TA+TP
لحظة الفراغ من معالجة الإشعار	t0+TP+TF+TPR1+TA+TP+TPR2
زمن الإرسال والإشعار	TF+2TP+TA+TPR1+TPR2=TF+2TP+TA+TPR

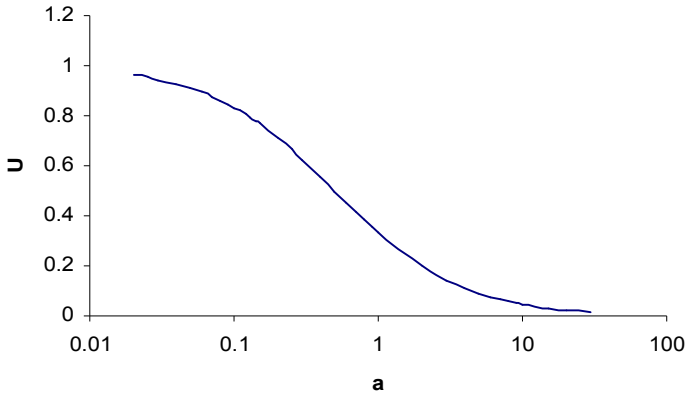
لنأخذ مثالاً لإرسال إطارات بيانات ذات طول N رقماً ثنائياً ترسل بمعدل إرسال R رقماً في الثانية بين طرفين يبعدان مسافة D متراً وأن سرعة انتقال الإشارة v متراً في الثانية. لنفرض أن إطار الإشعار قصير جداً مقارنة مع إطار البيانات وله طول يساوي n رقماً ثنائياً، وكذلك زمن معالجة الإطارات بواسطة الطرفين يمكن تجاهله. إذا لم تكن هنالك أخطاء تحدث فإن ما يعرف بمعدل استغلال الوصلة أي اختصاراً الاستغلال (utilization,U) وهو نسبة زمن إرسال البيانات الفعلي لزمن الإرسال الكلي ويعرف أيضاً بالمردود (throughput) يعطى بالآتي:

$$U = \frac{T_F}{T_F + 2T_P + T_A + T_{PR}} \approx \frac{T_F}{T_F + 2T_P} = \frac{1}{1+2a} \quad \text{.....(6.1)}$$

تم تجاهل زمن الإشعار TA وزمن المعالجة TPR في هذه العلاقة المعطاة بالمعادلة (6.1). وتمثل a نسبة زمن انتقال الإشارة TP بين الطرفين إلى زمن إرسال الإطار TF، وهي تعطى بما يلي:

$$T_P = \frac{D}{v}, \qquad T_F = \frac{N}{R}, \qquad \therefore a = \frac{T_P}{T_F} = \frac{D/v}{N/R} = \frac{DR}{vN} \quad \text{.....(6.2)}$$

ونلاحظ تدني الاستغلال مع زيادة نسبة زمن انتقال الإشارة إلى زمن إرسال الإطار، أنظر الشكل(6-4).



الشكل(6-4): تغير الاستغلال U مع العامل a في حالة عدم حدوث الأخطاء

أما في حالة حدوث الأخطاء فإن الاستغلال ينخفض نتيجة للزمن المبدد في إعادة الإرسال. لنفرض أن معدل خطأ الإطارات هو p فإن احتمال استقبال الإطار دون خطأ هو (1-p) أي بدون إعادة إرسال. ومن الممكن أن يصل الإطار في المرة الأولى بخطأ ولكن عندما يعاد إرساله مرة واحدة، أي يرسل للمرة لثانية، يصل بدون خطأ وذلك باحتمال p(1-p) . وعموماً يمكن أن تتكرر الأخطاء بتكرار إرسال الإطار عدة مرات لتكن (k-1) ثم يعقب ذلك إرسال بدون خطأ أي يكون قد أرسل الإطار عدد k من المرات ليستقبل في النهاية بدون خطأ وذلك باحتمال يساوي 1-pk(1-p). يمكن حساب الاستغلال في هذه الحالة كنسبة زمن إرسال إطار واحد للزمن الكلي المطلوب لإرسال هذا الإطار العدد المتوقع من المرات واستقباله بدون خطأ. ويعطى ذلك الزمن الكلي بالآتي:

$$(T_F + 2T_P + T_A + T_{PR})E(k) = (T_F + 2T_P + T_A + T_{PR})\sum_{k=1}^{\infty} k(1-p)p^{k-1}$$
$$\approx (T_F + 2T_P)(1-p)^{-1} \quad \text{.....(6.3)}$$

حيث E(k) هو متوسط عدد المرات التي يرسل بها إطار حتى استلامه بدون أخطاء. وبذلك يكون الاستغلال في حالة معدل خطأ إطارات يساوي p هو

$$U = \frac{1-p}{1+2a} \quad \text{.....(6.4)}$$

ومما تجدر الإشارة إليه أن زيادة حجم الإطار تؤدي إلى زيادة الاستغلال كما أن احتمال خطأ الإطار يزيد مع زيادة حجم الإطار وبالتالي يؤدي إلى تخفيض الاستغلال. أي أنه في حالة وجود الأخطاء لا تؤدي زيادة حجم الإطار إلى زيادة الاستغلال تلقائياً كما في الحالة المثالية التي افترض فيها عدم حدوث الأخطاء.

كمثال نفترض أن احتمال الخطأ في الأرقام الثنائية هو pB وله قيمة صغيرة جداً وبالتالي يكون احتمال الخطأ في الإطارات p هو (1− احتمال عدم حدوث خطأ) أي

$$p = 1-(1-p_B)^N = 1-(1-Np_B+\frac{N(N-1)}{2!}p_B^2-\frac{N(N-1)(N-2)}{3!}p_B^3+...+(-1)^N p_B^N)$$
$$\cong Np_B \quad \text{.....(6.5)}$$

حيث N هو حجم الإطار وR معدل الإرسال بالأرقام الثنائية. ومن المعادلات (6.2) و (6.4) و (6.5) يمكن أن نعبر عن الاستغلال بدلالة a بما يلي:

$$U \cong \frac{1-Np_B}{1+2a} = \frac{1-\frac{RT_P p_B}{a}}{1+2a} = \frac{a-RT_P p_B}{a(1+2a)} \quad \text{.....(6.6)}$$

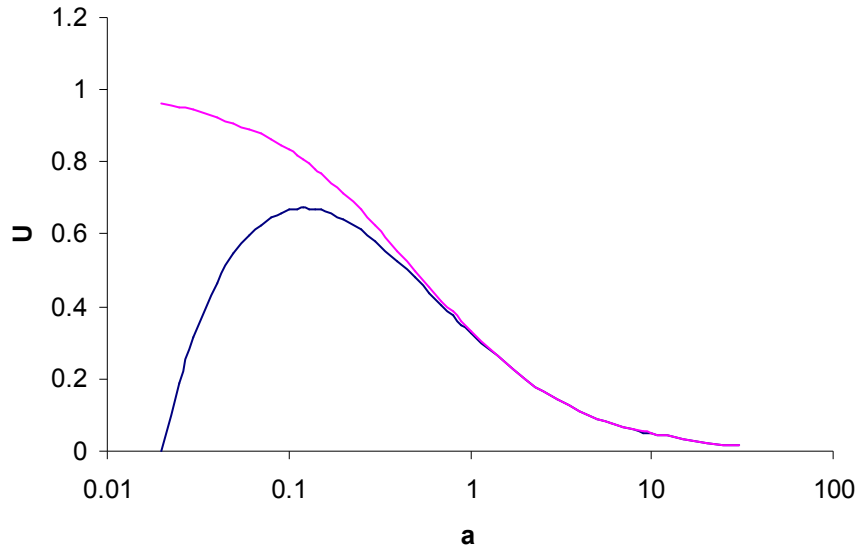
نلاحظ أن قيمة a التي تعطي أعظم قيمة للاستغلال باعتبار TP و pB و R ثوابت، أنظر الشكل(6−6)، هي:

$$a = RT_P p_B\left\{1+\sqrt{1+\frac{1}{2RT_P p_B}}\right\} \quad \text{.....(6.7)}$$

وهي تعتمد على معدل الإرسال وزمن انتقال الإشارة بين الطرفين واحتمال الخطأ في الأرقام الثنائية. أي أن حجم الإطار الذي يحقق أعظم استغلال هو

$$N = RT_F = \frac{RT_P}{a} = \frac{1}{p_B\left(1+\sqrt{1+\frac{1}{2RT_P p_B}}\right)} \quad \text{.....(6.8)}$$

وهو يتناسب عكسياً مع معدل خطأ الأرقام الثنائية



الشكل(6-5): تغير الاستغلال U مع المعامل a في حالة حدوث الأخطاء مقارنة مع حالة عدم حدوث الأخطاء

إن تسلسل الأحداث في الواقع الفعلي هو كما يلي:

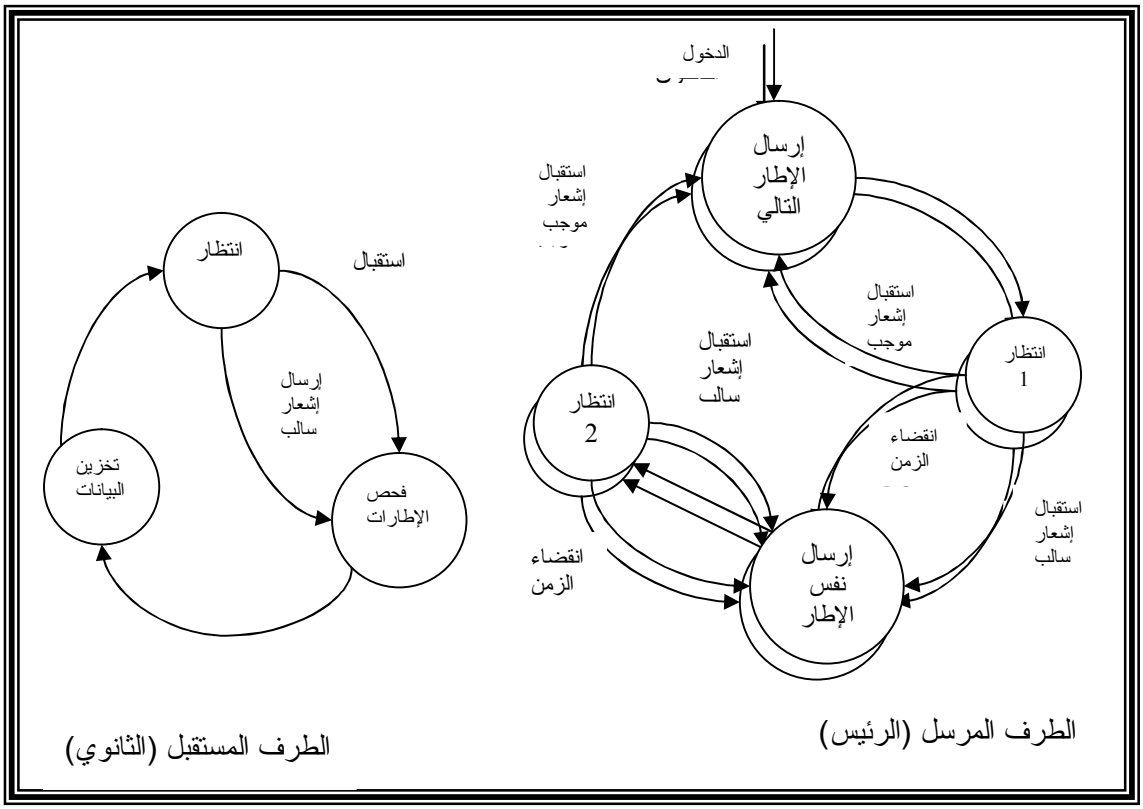
- يرسل المرسل إطاراً من البيانات وينتظر إشعاراً من الطرف المستقبل أثناء فترة زمنية محددة
- إذا استقبل المستقبل الإطار بدون أخطاء يرسل إشعاراً موجباً وإذا وصل هذا الإشعار إلى المرسل أثناء الفترة الزمنية المحددة يرسل المرسل إطاراً جديداً يحمل رقم إرسال يختلف عن رقم الإرسال المحمول بالإطار السابق الذي استلم بدون أخطاء، أي يتم قلب رقم الإرسال من 0 إلى 1 أو من 1 إلى 0 حتى

يسهل على المستقبل التمييز بين الإطارات المرسلة ولا تلتبس عليه. ويمكن للمرسل أن يتخلص من الإطار السابق المحتفظ به

- أما إذا استقبل المستقبل الإطار وبه أخطاء يرسل إشعاراً سالباً إلى المرسل وإذا وصل هذا الإشعار إلى المرسل أثناء الفترة الزمنية المحددة يعيد المرسل إرسال نفس الإطار بنفس رقم الإرسال لتمكين المستقبل من استقباله بدون أخطاء
- وإذا انقضى الزمن المحدد قبل أن يصل إشعار المستقبل إلى المرسل، لأن الإشعار لم يرسل أو لأنه فقد، يعيد المرسل إرسال الإطار إلى المستقبل بنفس رقم الإرسال وتعرف هذه الحالة بحالة انقضاء الزمن (time-out case)

يوضح الشكل(6–6) تتابع الأحداث المذكورة سالفاً. ويعرف هذا الشكل بمخطط انتقال (أو تحوُّل) الحالة (state-transition diagram) لنظام طلب إعادة الإرسال الآلي المبني على طريقة التوقف والانتظار (stop-and-wait ARQ). يوضح الجزء الأول من الرسم تسلسل الأحداث في حالة المرسل ويعرف بالطرف الرئيسي أو المحطة الرئيسية، ويوضح الجزء الثاني من المخطط تسلسل الأحداث في حالة المستقبل ويعرف بالطرف الثانوي أو المحطة الثانوية.

إن كفاءة طريقة طلب إعادة إرسال الإطارات المبنية على طريقة التوقف والانتظار متدني الكفاءة لأن المرسل ينتظر بين كل إطار يرسله والآخر فترة من الزمن قد تطول للتأكد من استلام الإطار المرسل إلى المستقبل بدون أخطاء. لذلك ابتكرت طرق أخرى أغلى كفاءة وهي الطرق المبنية على ما يسمى بطريقة النافذة المنزلقة الواردة فيما يلي.



الشكل(6-6):مخطط انتقال الحالة لطريقة طلب الإعادة الآلي المبنية على التوقف والانتظار

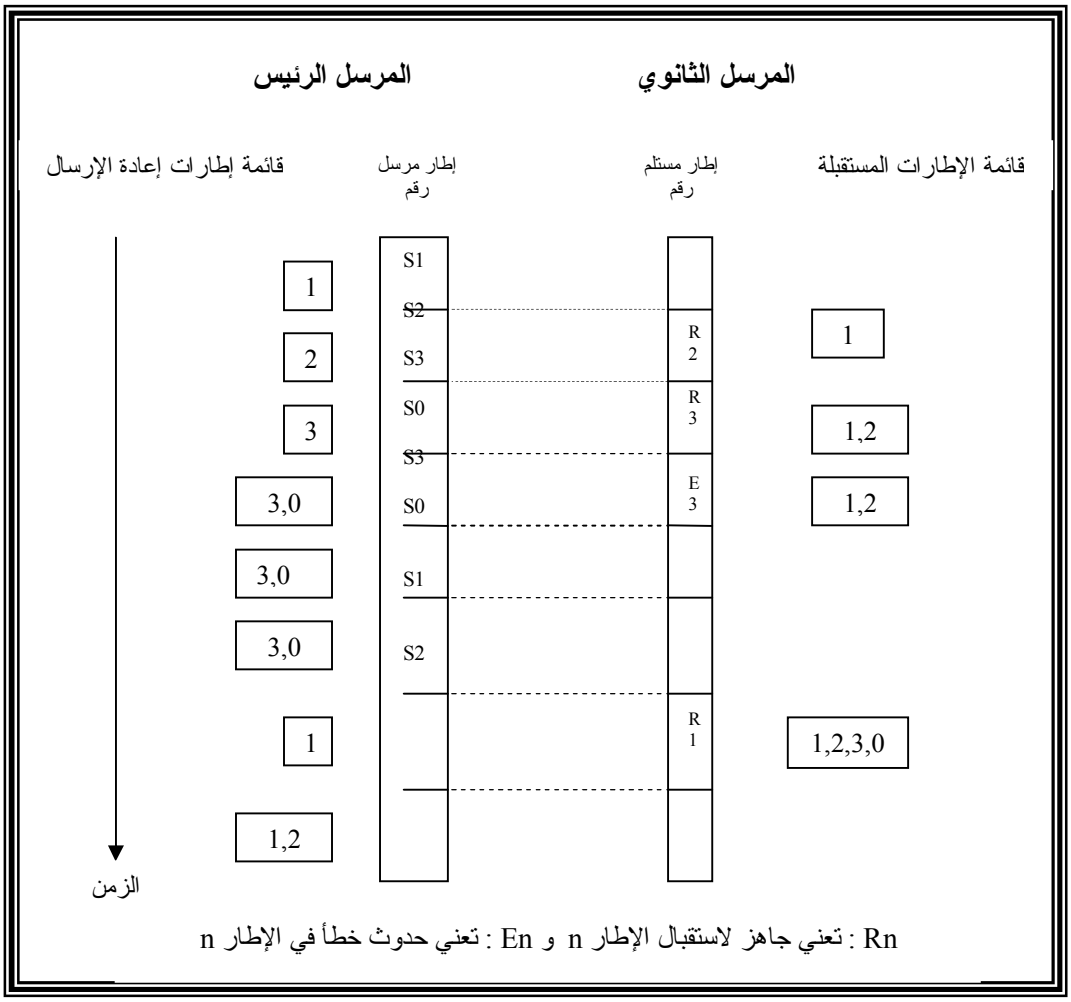
2.5 بروتوكولات النافذة المتزلقة

لقد اقترحت الطرق المبنية على ما يسمى ببروتوكولات النافذة المنزلقة (sliding window) لزيادة كفاءة استغلال وصلة البيانات مقارنة بالكفاءة المتاحة من نظام طلب إعادة إرسال الإطارات المبني على بروتوكول التوقف والانتظار.

1.2.5 الرجوع عدد N إطاراً

إن من بروتوكولات النافذة المنزلقة، ما يعرف ببروتوكول الرجوع عدد N إطاراً (Go-back-N,GBN)، ويستخدم في حالة الاتصال المزدوج وترسل الإطارات بصورة مستمرة وفي الاتجاهين وذلك لتفادي التوقف الذي يحدث في حالة بروتوكول

التوقف والانتظار الذي يستخدم في حالة الاتصال شبه (نصف) المزدوج. في هذا النظام يرسل الطرفان بنفس القدر ويستقبلان في نفس الآن فكل طرف يعتبر الطرف الرئيس عندما يرسل ويعتبر الطرف المستقبل طرفاً ثانوياً أي أن النظام متوازن. وعندما يستقبل الطرف الرئيس إشعاراً سالباً (NAK) من الطرف الثانوي يقوم بإرسال كل الإطارات ابتداءً من الإطار الذي استقبل وبه أخطاء والإطارات التي أرسلت بعده والإطارات اللاحقة التي لم ترسل سابقاً على ألا يتجاوز عدد الإطارات المرسلة منذ آخر إطار استلم بدون أخطاء عدداً محدداً يسمى النافذة. وعلى المرسل الاحتفاظ بكل هذه الإطارات التي تلت آخر إطار تأكد له استقباله بدون أخطاء لإعادة إرسال أي منها إذا دعت الحاجة لذلك. في العادة لا يرسل المستقبل إشعاراً لكل إطار استلم بدون أخطاء بل يرسل إشعاراً تراكمياً يؤكد وصول عدد من الإطارات حتى إطار معين بدون أخطاء وتستعمل في هذه الحالة أرقام الإرسال والاستقبال. ويحدد مدى رقم الإرسال (وكذلك رقم الاستقبال) الذي يبدأ من 0 حتى (2m-1) سعة النافذة التي يجب أن تقل عن هذا المدى بواحد أي تساوي (2m-1) (7 أو15 أو31 أو...) لتحاشي اللبس الذي يمكن أن يحدث عند تتبع الإطارات. يوضح الشكل(6–7) تتالي الأحداث في حالة بروتوكول الرجوع عدد N إطاراً.



الشكل(6-7): يوضح الشكل توالي الأحداث في حالة بروتوكول الرجوع عدد N إطارا $(N=2^2-1=3)$

على سبيل المثال إذا استقبل المستقبل الإطار الذي يحمل رقم الإرسال 0 بدون أخطاء فإنه يؤكد ذلك للمرسل بإرسال رقم الاستقبال 1 أي أنه جاهز لاستقبال الإطار الذي يحمل رقم الإرسال 1 والإطارات التالية. فإذا كانت النافذة سعتها 4 فإن المرسل سيرسل الإطارات الحاملة لأرقام الإرسال 1 و2 و3 و0 . وإذا أرسل المستقبل رقم الاستقبال 1 فإن ذلك قد يعني للمرسل أحد أمرين: إما أن جميع الإطارات قد استقبلت سالمة بدون أخطاء أو أن تكون جميع هذه الإطارات قد فقدت وأن رقم الاستقبال 1

المرسل بواسطة المستقبل هو تكرار لما أرسله سابقاً. ولتفادي هذه المشكلة تحدد سعة النافذة لتكون 3 بدلاً عن 4.

لحساب الاستغلال أو المردود في حالة بروتوكول النافذة المنزلقة ننظر في تتابع الأحداث التالية:

لحظة بداية إرسال الإطار الأول	t0
لحظة نهاية إرسال الإطار الأول	t0+TF
لحظة بداية استقبال الإطار الأول	t0+TP
لحظة نهاية استقبال الإطار الأول	t0+TP+TF
لحظة الفراغ من معالجة الإطار الأول	t0+TP+TF+TPR1
لحظة بداية إرسال الإشعار باستقبال الإطار الأول	t0+TP+TF+TPR1
لحظة نهاية إرسال الإشعار باستقبال الإطار الأول	t0+TP+TF+TPR1+TA
لحظة بداية استقبال الإشعار باستقبال الإطار الأول	t0+TP+TF+TPR1+TP
لحظة نهاية استقبال الإشعار باستقبال الإطار الأول	t0+TP+TF+TPR1+TA+TP

فإذا افترض عدم حدوث أخطاء في استقبال الإطارات، وإذا افترض أيضاً أنه بعد وصول الإشعار باستقبال الإطار الأول إلى المرسل لم يكتمل إرسال جميع إطارات النافذة بل هنالك إطارات أخرى ما زالت تلحق بسابقاتها أي أن

$$NT_F \rangle 2T_P + T_F + T_A + T_{PR}$$
$$N \rangle 2a + 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6.9)$$

ففي هذه الحالة سيكون الاستغلال يساوي 1. أما إذا تم إرسال جميع إطارات النافذة قبل وصول الإشعار بالاستقبال إلى المرسل فإن على المرسل أن يتوقف عن الإرسال حتى وصول الإشعار. وفي هذه الحالة تكون N أقل من (2a+1) وتوجد فترة توقف عن الإرسال تساوي $(2T_P + T_F + T_A + T_{PR} - NT_F)$ تؤدي لأن يكون الاستغلال أقل من 1 أي:

$$U = 1, \qquad N \rangle 2a+1 \quad \text{.....(6.10}a\text{)}$$

$$U \cong \frac{N}{2a+1}, \quad N \langle 2a+1 \quad \text{.....(6.10}b\text{)}$$

وفي حالة حدوث الأخطاء يختلف الاستغلال عما هو معطى بالمعادلة (6.10) إذ لا بد من إدراج أثر إعادة إرسال الإطارات على الاستغلال لأن كل خطأ في أي إطار يستوجب، عند إعادة إرساله، إرسال عدد M من الإطارات حيث M تساوي تقريباً (2a+1) في حالة N>(2a+1) وتساوي N في حالة N<(2a+1). فإذا كان احتمال الخطأ في الإطارات هو p وأن أي إطار أُستقبل عدد (k-1) من المرات المتتالية بأخطاء قبل النجاح في إرساله في المرة التالية بدون خطأ يستوجب إرسال (k-1)+1) (M من الإطارات، فإن عدد الإطارات المحتمل إرساله في المتوسط للنجاح في إرسال إطار واحد بدون أخطاء هو:

$$\begin{aligned} K &= \sum_{k=1}^{\infty} \{1+(k-1)M\} p^{k-1}(1-p) \\ &= M\sum_{k=1}^{\infty} kp^{k-1}(1-p) + (1-M)\sum_{k=1}^{\infty} p^{k-1}(1-p) \\ &= \frac{M}{1-p} + (1-M) = \frac{1-p+Mp}{1-p} \quad \text{.....(6.11)} \end{aligned}$$

وبالتالي يكون الاستغلال في حالة بروتوكول الرجوع N إطاراً مع تعرض الإطارات للأخطاء كما موضح بالمعادلات (6.12).

$$\begin{aligned} U &\cong \frac{(2a+1)T_F}{K(2a+1)T_F} = \frac{1-p}{1-p+Mp} = \frac{1-p}{1-p+p(2a+1)} \\ &= \frac{1-p}{1+2ap}, \qquad N \rangle 2a+1 \quad \text{.....(6.12}a\text{)} \\ U &\cong \frac{N}{K(2a+1)} = \frac{N(1-p)}{(2a+1)(1-p+Np)}, \qquad N \langle 2a+1 \quad \text{.....(6.12}b\text{)} \end{aligned}$$

في المعادلات (6.12) والمعادلة (6.10b) أهمل زمن المعالجة وكذلك زمن الإشعار لصغرهما.

2.2.5 الاستبعاد الانتقائي

طريقة الاستبعاد الانتقائي (selective reject,SR) تمثل إحدى طرق تحكم النافذة المنزلقة التي يعاد فيها إرسال فقط الإطار الذي استقبل وبه أخطاء. أما الإطارات التي تليه فلا يعاد إرسالها إذا كانت قد استقبلت بدون أخطاء. وبهذه الطريقة يزيد استغلال قناة الإرسال خاصة إذا كان احتمال الخطأ عالياً نسبياً. إذا كان الإرسال بدون أخطاء يكون استغلال الوصلة كما هو معطى بالمعادلات (6.10) الموضحة أعلاه. أما إذا كانت هنالك أخطاء في الإرسال وبمعدل خطأ p في الإطارات فإن الاستغلال يعطى بالمعادلات (6.13) أدناه.

$$U \cong \begin{cases} 1-p, & N \rangle 2a+1 \quad \ldots\ldots\ldots\

أسئلة تقويم ذاتي



لحساب الاستغلال أو المردود في حالة بروتوكول النافذة المنزلقة ننظر في تتابع الأحداث التالية أكمل الأحداث الناقصة:

لحظة بداية إرسال الإطار الأول .....

..... t0+TF

لحظة بداية استقبال الإطار الأول .....

لحظة نهاية استقبال الإطار الأول .....

..... t0+TP+TF+TPR1

..... t0+TP+TF+TPR1

لحظة نهاية إرسال الإشعار باستقبال الإطار الأول .....

لحظة بداية استقبال الإشعار باستقبال الإطار الأول .....

..... t0+TP+TF+TPR1+TA+TP

6. التحكم في الأخطاء

بجانب مهمة التحكم في انسياب البيانات فإن من مهام بروتوكول طبقة التحكم في وصلة البيانات التأكد من استقبال البيانات بدون أخطاء، أي مهمة التحكم في الأخطاء (error control). ويتم ذلك عادة بكشف الأخطاء التي تضاف إلى أي إطار مرسل عند استقباله وطلب إعادة إرسال الإطار الذي يتعرض للأخطاء. ويمكن تكرار طلب إعادة الإرسال عدة مرات إلى أن يستقبل الإطار خالياً من الأخطاء. ومن الطرق كثيرة الاستخدام ما يعرف بطريقة الفحص الدوري بالفائض (cyclic redundancy check,CRC) التي يستخلص فيها عدد من الأرقام الثنائية من كل إطار تعرف بأرقام الفحص الدوري (CRC digits) الإضافية تضاف إلى نهاية هذا الإطار لتستخدم بواسطة المستقبل في كشف الأخطاء التي يمكن أن تحدث للإطار.

1.6 الفحص الدوري بالفائض

إن من أهم الطرق المستخدمة لكشف الأخطاء ما يعرف بطريقة الفحص الدوري بالفائض (cyclic redundancy check, CRC) ، وهي كما ذكر في الباب الرابع إحدى طرق كشف الأخطاء التي يستخدم فيها ما يعرف بترميز الكُتلة (block coding) أي مجموعة الأرقام الثنائية المتجاورة. وأنه في هذه الحالة تقسم الإشارة الثنائية إلى مجموعات بعدد متساوٍ من الأرقام الثنائية يطلق عليها مصطلح الكتلة أو الإطار (frame) أو الرزمة (packet) ويضاف لكل مجموعة عدد محدد من الأرقام الثنائية التي تحسب من أرقام المجموعة الأصلية في ضوء خوارزمية (algorithm) منطقية معينة ويستغل هذا العدد بواسطة المستقبل لكشف حدوث الأخطاء التي تتعرض لها المجموعة الأصلية.

ففي طريقة الفحص الدوري بالفائض المستخدمة في بروتوكول طبقة التحكم في الوصلة يضاف لكل إطار ما يسمى بأرقام الفحص الدوري بالفائض وعددها 16 أو 32 رقماً، أنظر الشكل(6-3). وتحسب مجموعة أرقام الفحص الدوري بالفائض كما هو مفصل بالباب الرابع كمتبقي عملية قسمة متعددة الحدود (polynomial) التي تمثل أرقام الإطار بعد إزاحة (its shift) متعددة الحدود هذه إلى اليسار 16 أو 32 موضعاً قدر طول مجموعة أرقام الفحص الدوري. ثم تقسم متعددة حدود مجموعة أرقام الإطار المزاحة على متعددة حدود تعرف بمتعددة حدود الفحص الدوري بالفائض (CRC polynomial) و التي درجتها (its degree) 16 أو 32، وهي أيضاً تمثل مجموعات أرقام ثنائية، ويرمز أس المتغير (exponent of the variable) في متعددات الحدود هذه إلى موضع الرقم الثنائي في مجموعة الأرقام الثنائية و يشير معامل المتغير (1 أو 0) إلى نوع الرقم الثنائي.

هنالك ثلاث متعددات حدود للفحص الدوري كثيرة الاستعمال وهي:

$$CRC-16 = x^{16}+x^{15}+x^2+1$$
$$CRC-CCITT = x^{16}+x^{12}+x^5+1$$
$$CRC-32 = x^{32}+x^{26}+x^{23}+x^{22}+x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^8+x^7+x^5+x^4+x^2+1 \quad \text{.....} \quad (6.14)$$

وكما ذكر أيضاً في الباب الرابع فإنه يمكن اختيار متعددة حدود الفحص الدوري بخواص تمكن من اكتشاف كل الأخطاء المنفردة (single errors) التي تطال الأرقام الثنائية، وجميع الأخطاء المزدوجة (double errors) شريطة أن تحتوي متعددة حدود الفحص الدوري على ثلاثة حدود على الأقل، وأي عدد فردي من الأخطاء إذا كانت تحتوي على العامل (x+1) ، وأي مجموعة أخطاء متتابعة (burst error) إذا كان طول هذه المجموعة أقل من طول متعددة حدود الفحص الدوري أي أقل من عدد أرقام الفحص الدوري بالفائض، وأغلب مجموعات الأخطاء المتتابعة الأطول.

أسئلة تقويم ذاتي



هنالك ثلاث متعددات حدود للفحص الدوري كثيرة الاستعمال وهي:

$$CRC-\ldots\ldots = x^{16}+\ldots\ldots+x^2+1$$
$$CRC-\ldots\ldots = x^{16}+x^{12}+x^5+1$$
$$\ldots\ldots-32 = x^{32}+x^{26}+x^{23}+\ldots\ldots+x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^8+x^7+\ldots+x^4+x^2+\ldots$$

أكمل الفراغات في المتعددات؟

الخلاصة

قسمت الوحدة عملية الاتصال إلى سبع مراحل متفق عليها عالمياً تعرف اصطلاحاً بالطبقات Layers حيث تقتصر كل طبقة على أداء مهام محددة بوساطة بروتوكولات ملائمة لأداء هذه المهام ، وأشارت الوحدة إلى الطبقات العليا من 5 إلى 7 بطبقات التطبيقات وتحقق بروتوكولات تنفيذ مهام هذه الطبقات دائماً في شكل برمجيات ، وتعتمد تفاصيل هذه المهام والبروتوكولات المنفذة لها على نوع تطبيق المستخدم الذي يقوم بالإرسال . أما الطبقات الدنيا من 1 إلى 4 فيشار إليها بطبقات الإرسال .

وضحت الوحدة انسياب البيانات من الطبقة المرسلة حتى الطبقة المستقبلة وذلك بتحقق الاتصال بين تطبيقي مستخدم أحدهما في حاسوب مرسل والآخر في حاسوب مستقبل .

وصفت الوحدة مهام الطبقات المختلفة المكونة لنموذج ربط النظم المفتوح (OSI Model) :

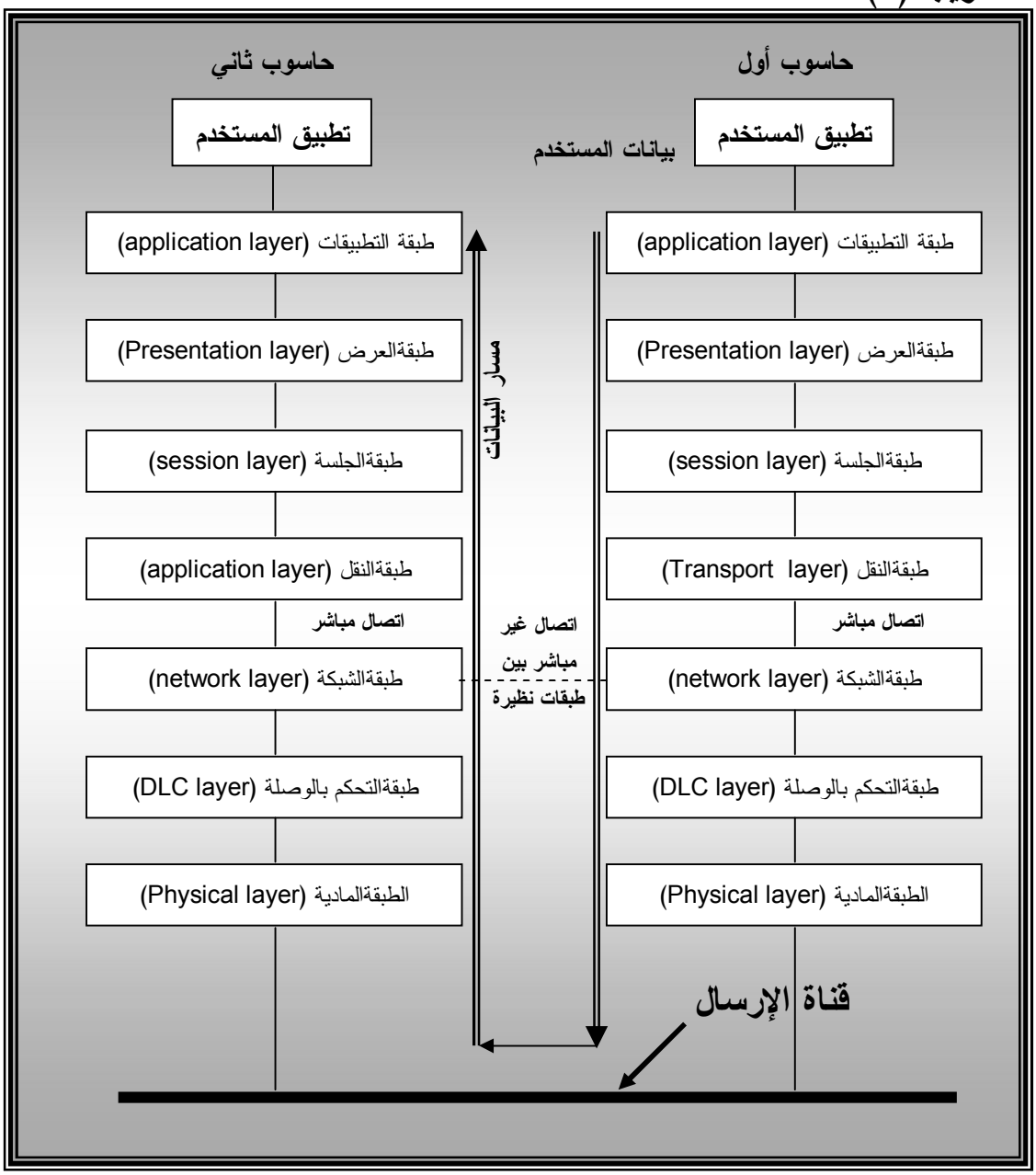
- **طبقة التطبيقات** وهي أعلى طبقة من طبقات المتراصة وهي الأقرب إلى تطبيقات المستخدم ولكن لا تشملها ، وتشمل برامج تمكن تطبيقات المستخدم التي بها مكون اتصال من الوصول إلى الشبكة .
- **طبقة** العرض تلي طبقة التطبيقات وترتبط بها من جانب وبطبقة الجلسة من الجانب الآخر ، وهي تمكن تطبيقات طبقتي التطبيقات المودعة في الطرفين المتصلين من فهم واستعمال المعلومات المتبادلة بينهما ، تحتوي هذه الطبقة على بروتوكولات إجراء التشفير وإزالة الشفرة .
- **طبقة الجلسة** من مهام هذه الطبقة التفاوض حول الجلسات بين عمليات التطبيقات وبدؤها والمحافظة عليها وإنهائها .
- **طبقة النقل** مسئولة عن نقل البيانات بين الشبكات بموثوقية عالية ، ويحقق بروتوكول النقل بعض المهام مثل التحكم في انسياب البيانات ، وكشف الأخطاء

واستعادة البيانات ، ومن مهامه كذلك تجزئة البيانات إلى وحدات صغيرة كل منها تسمى حدة بيانات البروتوكول .

- **طبقة الشبكة** المهام الأساسية لطبقة الشبكة هي العنونة المنطقية أي عنونة الشبكة (network addressing) والتوجيه (routing)، وهما المهمتان اللتان تحققان إرسال البيانات عبر الشبكات الموصولة (internet work) فيما بينها.
- **طبقة التحكم بوصلة البيانات** تتلخص مهام طبقة التحكم بوصلة البيانات في العنونة المادية (physical addressing)، وبنية الشبكة (network architecture)، والتحكم في الأخطاء (error control) أي كشف وتصحيح الأخطاء، وسلسلة الإطارات (frame sequencing)، والتحكم في الانسياب (flow control). وتحقق هذه الطبقة الاتصال في حدود شبكة معزولة أو شبكة داخلية (intranet).
- **الطبقة المادية** وهي مسئولة عن إعداد الرسالة في الشكل الملائم قبل الدفع بها إلى الوسط الناقل سواءً كان زوج أسلاك أو كبل محوري أو ليف ضوئي أو الفراغ أو غير ذلك ، ولا تغير هذه الطبقة الإطار الذي يصلها من الطبقة الأعلى ولا تضيف إليه مقدمة أو مؤخرة بل لا تفسر ما يحويه وبالتالي لا تجري عليه أي معالجات تعتمد على محتواه.

إجابة التدريبات

تدريب (1)



شكل يوضح انسياب البيانات من الطبقة المرسلة حتى الطبقة المستقبلة

مسرد المصطلحات

- **طبقة التطبيقات**

وهي أعلى طبقة من طبقات المتراصَّة وهي الأقرب إلى تطبيقات المستخدم (user applications) ولكن لا تشملها، وتشمل برامج تمكِّن تطبيقات المستخدم التي بها مكوِّن اتصال من الوصول إلى الشبكة.

- **الطبقة المادية**

الطبقة المادية هي الطبقة مسئولة عن إعداد الرسالة في الشكل الملائم قبل الدفع بها إلى الوسط الناقل سواءً كان زوج أسلاك أو كبل محوري أو ليف ضوئي أو الفراغ أو غير ذلك.

- **طبقة العرض**

هي الطبقة التي تلي طبقة التطبيقات وترتبط بها من جانب وبطبقة الجلسة من الجانب الآخر، وهي تمكن تطبيقات طبقتي التطبيقات المودعة في الطرفين المتصلين من فهم واستعمال المعلومات المتبادلة بينها، وتمكنها من تحديد شكل البيانات (data format) أو تحويلها من شكل لآخر بناءً على الشكل الذي يتفق عليه تطبيقا الإرسال ليتوفر التوافق بينهما.

- **طبقة الجلسة**

هي الطبقة التي تفاوض حول الجلسات بين عمليات التطبيقات (application processes) وبدؤها والمحافظة عليها وإنهاؤها.

- **طبقة النقل**

هي الطبقة المسئولة عن نقل البيانات بين الشبكات بموثوقية عالية.

- **طبقة الشبكة**

هي الطبقة التي تؤدي المهام الأساسية وهي العنونة المنطقية (logical addressing) أي عنونة الشبكة (network addressing) والتوجيه (routing)، وهما المهمتان اللتان تحققان إرسال البيانات عبر الشبكات الموصولة (internet work) فيما بينها.

المصادر والمراجع

- Bernard Pleazard, (supervisor), *Handbook of Data Communications,* National Computing Centre (England), 1982.
- Bishnu P Pal (Editor), *Fundamentals of Fibre Optics in Telecommunication and Sensor Systems*, New Age International Publishers, 1992.
- Edward A Lee and David G Messerschmitt, Digital Communication, 2nd Edition, Allied Publishers by arrangement with Kluwer Academic Publishers, 1996.
- Herbert Taub and Donald L Schillng, *Principles of Communication Systems*, 2nd Edition, McGraw-Hill, 1991.
- Ian A Glover and Peter M Grant, *Digital Communications,* Pearson Education Limited, 2nd Edition, 2004.
- Jochen Schiller, *Mobile Communications,* Pearson Education Limited, 2nd Edition, 2003.
- Michael J Miller and Syed V Ahmed, *Digital Transmission Systems and Networks,* Computer Science Press, 1987.
- P Chakrabarti, *Principles of Digital Communication,* Dhanpat Rai & Co, 1999.
- Simon Haykin and Barry Van Veen, *Signals and Systems,* John Wiley & Sons, 2nd Edition, 2004.
- Simon Haykin, *Digital Communications,* John Wiley & Sons, 1988.
- T G Thomas and S Chandra Sekhar, *Communication Theory,* McGraw-Hill, 2006.
- Trevor Housley, *Data Communications and Teleprocessing Systems,* Prentice-Hall, Inc, 1979.
- William Stallings, *Data and Computer Communications,* 5th Edition, Prentice-Hall, 1999.