الجامعة الافتراضية السورية

SYRIAN VIRTUAL UNIVERSITY

مقدمة في الشبكات

الدكتور إباء عويشق

ISSN: 2617-989X

Books

مقدمة في الشبكات

الدكتور إباء عويشق

من منشورات الجامعة الافتراضية السورية

الجمهورية العربية السورية ٢٠١٨

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

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

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

إباء عويشق، الإجازة في تقانة المعلومات، من منشورات الجامعة الافتراضية السورية، الجمهورية العربية السورية، ٢٠١٨

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

Introduction to networks

Ibaa Oueishek

Publications of the Syrian Virtual University (SVU)

Syrian Arab Republic, 2018

Published under the license:

Creative Commons Attributions- NoDerivatives 4.0

International (CC-BY-ND 4.0)

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

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

الفهرس

مفاهيم أساسية ١
تعريف الشبكات ٣
المنظور العام للشبكات ٤
المواصفات القياسية للشبكات ٧
أصناف الشبكات ١٩
إدارة وتنظيم الشبكات ٢٢
تمارين ٢٥
الطبقة الفيزيائية ٢٦
مقدمة ٢٨
المهام الأساسية لعمل الطبقة الأولى ٢٨
خصائص الإشارات ٢٩
الوسط الناقل ٤١
بنيان الشبكات ٤٣
الابتدال ٤٥
مقدمة ٤٧
الخدمات والطبقات الجزئية في الطبقة الثانية ٤٧
التطور التاريخي للطبقة الثانية وتجهيزاتها ٥٤
وظائف الجسور والبدالات ٦١
تمارين ٨٢
التوجيه ٨٣
مقدمة ٨٥
تعريف عملية التوجيه ٨٥
وظائف التوجيه ٨٧
وظائف متممة ٩٢
تمارين ٩٦

الفصل الاول
مفاهيم أساسية

عنوان الموضوع:

مفاهيم أساسية في الشبكات

الكلمات المفتاحية:

شبكة، أجهزة، بيانات، نموذج مرجعي، مواصفة قياسية، طبقات الشبكات، بروتوكول، طوبولجيا الشبكة، تصنيف الشبكات، شبكات محلية، شبكات واسعة، مجمع، شبكة خطية، شبكة نجمية.

ملخص:

يتعرف الطالب في هذا الفصل على تعريف الشبكة والإطار العام لعمل الشبكات ومفهوم المواصفات القياسية والنموذج المرجعي. بالإضافة إلى استعراض للنموذج المرجعي OSI والنموذج المرجعي لشبكة الإنترنت.

أهداف تعليمية:

يتعرف الطالب في هذا الفصل على:

- الشبكة
- مفهوم النموذج المرجعي
- النموذج المرجعي OSI
- النموذج المرجعي للإنترنت TCP–IP

المخطط:

5 فقرات عناوينها كما يلي:

- **تعريف الشبكات**
- **المنظور العام للشبكات**
- **المواصفات القياسية للشبكات**
- **أصناف الشبكات**
- **إدارة وتنظيم الشبكات**

1. تعريف الشبكات

في عالمنا اليوم، ومع وجود شبكة الإنترنت، أصبح ربط الأجهزة الحاسوبية وغيرها من الأجهزة هو القاعدة لا الاستثناء، وبات من الصعب أن نتصور جهازاً غير متصل. وقد ارتبط مصطلح الشبكات بكم هائل من المفاهيم وغزارة كبيرة في المعلومات بسبب العدد الهائل من التقانات التي جرى تطويرها في السنوات الأخيرة كجزء من مسيرة تطور الشبكات الحاسوبية بشكل عام وشبكة الإنترنت بشكل خاص. ولكن تعريف الشبكات بحد ذاته هو تعريف بسيط وغير معقد:

الشبكات هي وسيلة لربط مجموعة من الأجهزة مع بعضها البعض باستخدام وسائط عتادية وبرمجية بما يسمح بتبادل البيانات بين تلك الأجهزة.

الهدف الرئيسي من الربط هو تبادل البيانات بين التطبيقات التي تعمل على الأجهزة والتشارك في الموارد التي تتيحها تلك الأجهزة (تخزين، طابعات، إلخ).

يرتبط بذلك الربط العديد من الوظائف التي تهدف إلى جعل الربط مفيداً وفعالاً وغير ضار، كوظائف التوافقية التي تسمح بربط حواسيب من أنظمة تشغيل وعتاديات مختلفة مع بعضها البعض. مثال: بفضل وظائف التوافقية يتبادل تطبيق يعمل على هاتف خلوي يستخدم نظام تشغيل أندرويد رسائل سمعية بصرية مع تطبيق يعمل على حاسوب شخصي يستخدم نظام تشغيل ويندوز.

يطرح مثالنا هذا سؤالاً مباشراً حول مفهوم الأجهزة، إذ اقتصر تعريف الشبكات في البداية على الأجهزة الحاسوبية، ولكننا تعمدنا في التعريف عدم الإصرار على استخدام كلمة "حواسيب" أو "أجهزة حاسوبية" واستعضنا عنها بكلمة عامة جداً وهي "أجهزة"، وفي المثال أعطينا مثالاً عن هاتف خلوي. وفي الحقيقة فإن الحاجة إلى الربط تجاوزت بكثير الأجهزة الحاسوبية التقليدية لتصل إلى أجهزة الهاتف الخلوي (وخاصة الهواتف الذكية smart phones)، وآلات البيع بأشكالها المختلفة، والصرافات الآلية، والمركبات، وكاميرات المراقبة، لا بل تعدت الإطار الاحترافي التقليدي لتصل إلى الأجهزة المنزلية وكل ما يمكن أن نتصور أنه يحتاج إلى نقل للبيانات سواء كانت صادرة عن الجهاز أو واردة إليه. وهناك العديد من الجهود الدولية لإنتاج مقاييس ومعايير تسهل هذا الربط ضمن ما يعرف بـ Internet of things.

يعتبر الربط الشبكي للحواسيب الشخصية شكلاً من أشكال العودة إلى النموذج القديم للحوسبة الذي كان مبنياً على الحواسيب الضخمة والتي كان يتصل بها المستخدمون عن طريق المطاريف Terminals. كانت تلك المنظومات الحاسوبية تتيح تبادل البيانات بين المستخدمين بسهولة لأنهم كانو يعملون على نفس الجهاز الحاسوبي ويتشاركون في موارده.

ترافق ظهور الحواسيب الشخصية وانتشارها في مطلع التسعينيات من القرن الماضي بالتحول نحو شكل أكثر انعزالاً للحوسبة، إذا كانت تلك الحواسيب أشبه بالجزر المعزولة، وقد كان المحفز الأساسي في انتشار الشبكات هو الحاجة إلى تقاسم الموارد المكتبية كالطابعات ومخدمات تخزين الملفات. وتزايدت الحاجة إلى الوصل الشبكي لتلك الأجهزة الحاسوبية بسرعة، وخاصة مع ظهور شبكة الإنترنت وما رافقها من تدفق هائل للمعلومات والرغبة في بناء تطبيقات بإمكانها الوصول إلى المعلومات أينما كانت.

في نهاية التسعينيات كانت الشبكات قد أصبحت أحد أهم أركان الحوسبة، ولم يقتصر ذلك على قطاع الأعمال فقط وإنما تعداه نحو الشبكات المنزلية، فقد أصبح وجود العديد من الأجهزة الحاسوبية في المنزل الواحد أمراً مألوفاً، مما اقتضى العمل على تطوير حلول تسمح بوصل تلك الحواسيب بسهولة وبساطة. ولعل الوصل الشبكي للحواسيب هو الطريقة للحصول على أفضل ما لدى النموذجين السابقين للحوسبة:

- الاستقلالية التي تقدمها الحواسيب الشخصية باعتبار أن المستخدم يتفرد باستخدام موارد الحاسوب وبالتالي يحصل على أداء أفضل وأمان أكبر.
- وسهولة تبادل البيانات التي كانت تتيحها الحواسيب الضخمة.

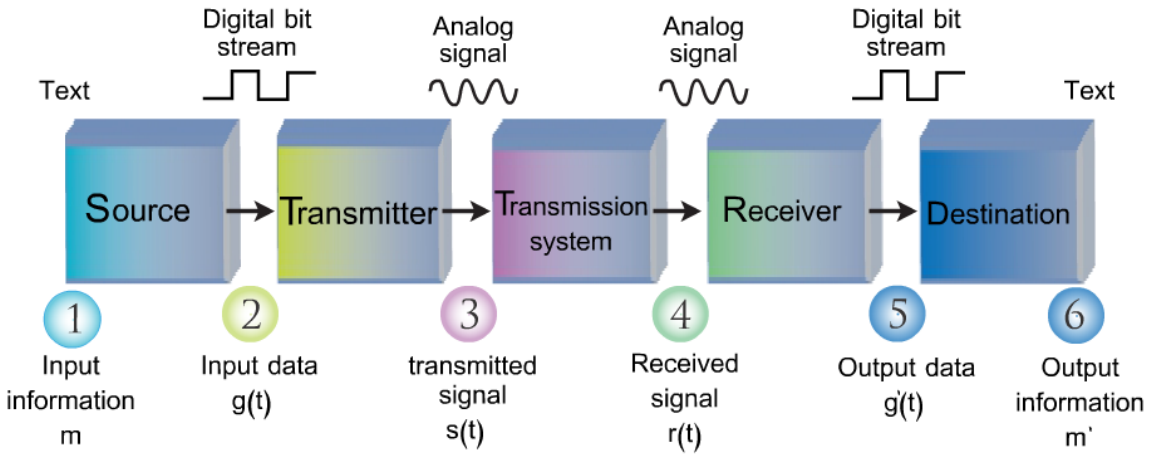
وفي الحقيقة أنه من الصعب بمكان اليوم تصور وجود مكان ما فيه حواسيب غير متصلة بشبكة مالم يكن ذلك الأمر مقصوداً (غالباً لأسباب متعلقة بأمن وسرية المعلومات الموجودة على الحاسوب).

2. المنظور العام للشبكات

قبل أن ندخل في القضايا التقنية ونشرح عمل الشبكات بالتفصيل، يجب أن نحاول قدر الإمكان عرض الوظائف والمهام المطلوبة من الشبكات في إطارها العام حتى نتمكن لاحقاً من مناقشتها بشكل تفصيلي.

سننطلق من الحاجة الأساسية التي تهدف الشبكات إلى تلبيتها: نقل البيانات بين الأجهزة. وفي الحقيقة أن نقل البيانات هو فعلياً ليس بين الأجهزة، وإنما بين التطبيقات (وإذا أردنا أن نكون أكثر دقة من وجهة نظر علم الحاسوب، فهو بين الإجرائيات processes).

الحالة الأبسط لنقل البيانات بين جهازين حاسوبيين معروضة في الشكل (1):



الشكل (1) نقل البيانات بين جهازين حاسوبيين

يريد مستخدم يعمل على الجهاز الأول، إرسال جملة نصية بسيطة إلى مستخدم يعمل على الجهاز الثاني، مثلاً "أخبرنا المدرس أنه ألغى محاضرة مادة الشبكات المقررة صباح الغد، يا للسعادة !!".

يطلب المستخدم التطبيق المطلوب (مثلاً تطبيق بريد إلكتروني)، ويكتب الرسالة، ويطلب إرسالها من التطبيق. الجملة المكتوبة مخزنة في ذاكرة الحاسوب على شكل سلسلة من البتات.

يتصل الحاسوب بواسطة نقل (شبكة محلية أو خط هاتفي) عن طريق تجهيزة للدخل والخرج تأخذ دور المرسل transmitter (بطاقة شبكة أو مودم هاتفي)، وتنقل البيانات من ذاكرة الحاسوب إلى المرسل على شكل إشارة كهربائية رقمية g(t) تأخذ مجموعة من القيم المتتالية عبر الزمن تمثل قيم البتات ضمن السلسلة (0 أو 1). ويقوم المرسل بتحويل هذه الإشارة الرقمية g(t) إلى الإشارة المناسبة للوسط الناقل المتصل به مباشرة s(t).

يمكن أن تتعرض الإشارة s المرسلة على الوسط الناقل إلى العديد من التغييرات قبل أن تصل إلى المستقبل. وبالتالي من الممكن أن تختلف الإشارة المستقبلة r(t) عن الإشارة المرسلة s(t). وسيحاول المستقبل أن يعرف قيمة الإشارة الأصلية معتمداً على الإشارة المستقبلة ومعرفته بخصائص الوسط الناقل. ويعيد تحويل الإشارة التي توصل إليها إلى الشكل الرقمي لتصبح g'(t). يحاول المستقبل أن يفحص البيانات الواردة بحثاً عن أخطاء، وفي حال اكتشافه لخطأ ما، من الممكن أن يتعاون مع المرسل بطريقة ما لتكون g'(t) صحيحة لا أخطاء فيها.

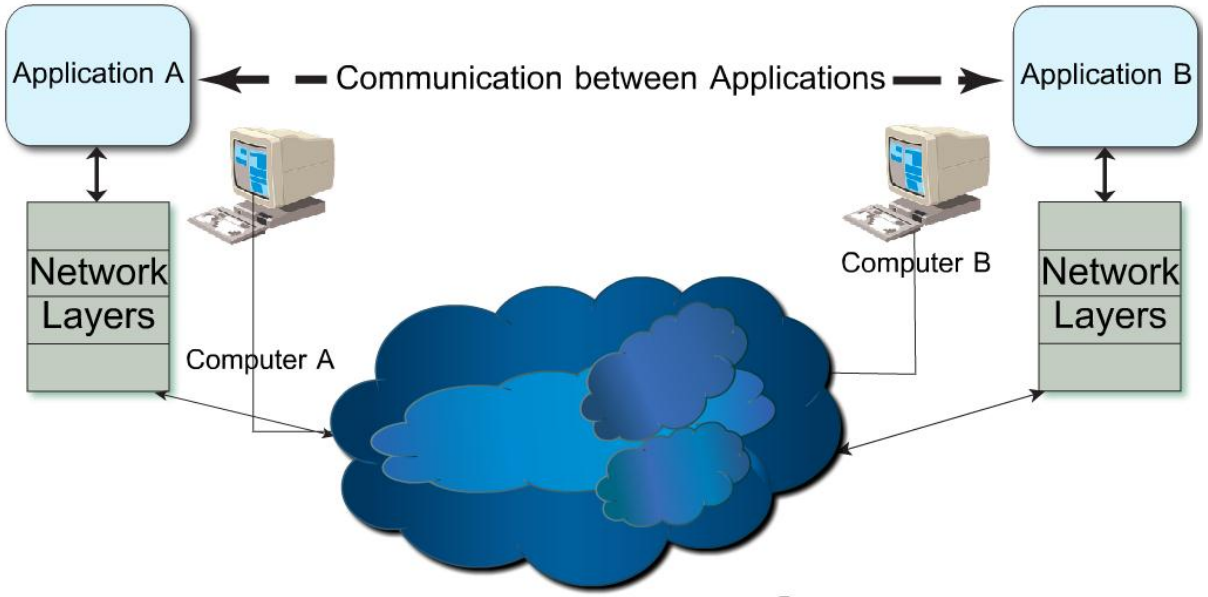
يرسل المستقبل البيانات إلى المستخدم عن طريق تجهيزة خرج (طابعة، أو عرض على الشاشة)، لتصله رسالة m'. ويجب أن تكون الرسالة التي يستعرضها المستخدم المستقبل مطابقة تماماً للرسالة المرسلة حتى تكون عملية الإرسال صحيحة.

تنقل البيانات في الحالة الأبسط عن طريق وسط ناقل من نوع نقطة–لنقطة point–to–point، أي كبل يتصل طرفه الأول بالمرسل والطرف الثاني بالمستقبل. ولكن هذه الحالة غير قابلة للتطبيق في أغلب الأحيان للأسباب التالية:

- المسافة البعيدة، وبالتالي الحاجة إلى وسط ناقل بمواصفات خاصة هي على الأغلب مكلفة إلى حد غير مقبول في معظم الحالات. إذ من غير الوارد أن نقوم بمد كبل ضوئي لتبادل رسائل البريد الإلكتروني بين جهازين حاسوبيين تفصلهما عدة كيلومترات.
- الحاجة إلى تحقيق التواصل بين عدة أجهزة وليس بين جهازين فقط، وهي الحالة الشائعة. إذ يصبح من غير العملي أن يكون هناك وصل مباشر بين كل جهازين بحاجة لتبادل البيانات بين بعضها البعض.

ولهذا الغرض ظهرت "الشبكات" بالمفهوم العام كبديل عن عن الوصل المباشر، وللشبكات أشكال مختلفة سنتعرض لها لاحقاً في هذا الفصل.

بإمكاننا أن نلخص الإطار العام لعمل الشبكات كما يعرضه الشكل (2) على النحو التالي:



الشكل -2- المنظور العام لعمل شبكات المعطيات

- هناك تطبيق APPa يعمل على جهاز PCa ويحتاج إلى تبادل بيانات مع تطبيق آخر APPb يعمل على جهاز PCb. وليس من الضروري أن تكون هذه التطبيقات تفاعلية وإن كانت التطبيقات التفاعلية كالمحادثة الصوتية أو المرئية تعطي مثالاً ممتازاً لهذه الحالة.
- تخضع البيانات التي تنتقل من APPa إلى APPb إلى العديد من المعالجات التي تقوم بها التجهيزات والبرمجيات المسؤولة عن خدمات الشبكات. ويمكن لهذه التجهيزات والبرمجيات أن تكون مستقلة عن الأجهزة الحاسوبية (مثال : أجهزة التوجيه ضمن الشبكة) أو مرتبطة بها (الأجزاء المسؤولة عن خدمات الشبكات في نظام التشغيل).
- نظراً للكم الكبير من المعالجات التي تحتاج إليها البيانات، وضرورة تنظيم تلك المعالجات بهدف رفع كفاءتها، فمن المناسب تقسيمها إلى أجزاء مختلفة مستقلة، كل منها مكلف بالقيام بأعمال محددة، وهي آلية متعارف عليها في تصميم المنظومات المعلوماتية.
- هناك العديد من المنهجيات لتصميم المنظومات، والمنهجية التي تم اعتمادها في حالة الشبكات هي تقسيم العمل إلى مراحل بما يشبه سلسلة الإنتاج الصناعية التي تخضع لها المنتجات المختلفة. إذ تنظم المعالجات ضمن مراحل مختلفة، تقوم كل مرحلة باستلام البيانات من المرحلة السابقة لها ومن ثم تطبيق المعالجة المسؤولة عنها وترحيلها إلى المرحلة التالية. وتعرف مراحل المعالجة باسم طبقات الشبكات Network Layers.
- تتخاطب طبقات الشبكات بين بعضها البعض وفق ترتيب صارم، إذ لا تتخاطب الطبقة إلا مع الطبقات الملاصقة لها (الأعلى والأدنى)، ولهذا سميت بالطبقات.
- إن هذا الفصل الوظيفي للطبقات مفيد جداً لأنه يسمح للمصنعين والمصممين بالتركيز على الطبقات التي تقدمها تجهيزاتهم، ورفع كفاءتها دون الحاجة إلى فهم مفصل لما يحصل في الطبقات الأخرى. مثال:

تعمل المبدلات في الطبقة 2، وبالتالي فإن شركة متخصصة في تصنيع المبدلات ستركز بشكل رئيسي على وظائف الطبقة 2 وكيف يمكن تقديمها على أفضل وجه، وقد تحتاج إلى فهم عمل الطبقة 3 باعتبارها هي التي ستطلب خدمات الطبقة 2 وبالتالي هناك أثر متبادل بين التصميمين, ولكنها لن تحتاج إلى بحث وظائف الطبقة 4 وأثرها على عمل المبدلات.

3. المواصفات القياسية للشبكات

نظراً لوجود العديد من الوسائل الممكنة لتنفيذ طبقات الشبكات التي تكلمنا عنها في المقطع السابق، فقد ظهرت تاريخياً العديد من النماذج المختلفة لطبقات الشبكات. وكانت الشبكات في البداية تعمل في نطاق ضيق جداً، إذ كانت الأجهزة الحاسوبية قادرة على التواصل فقط مع الأجهزة القادمة من نفس الجهة الصانعة. وكان هذا يفرض على الزبائن نوعاً من أنواع الاحتكار ويحد من خياراتهم وقدرتهم على تطوير منظوماتهم. إذا كانوا دوماً مضطرين للاعتماد على ما يقدمه المصنعون من وظائف وخدمات، وكان الانتقال من مصنع إلى آخر مكلفاً ومحفوفاً بمخاطر التوافقية إلى حد كبير.

كان من الضروري ظهور مواصفات قياسية standards تسمح للشركات والمطورين والمستخدمين بالعمل في بيئة متوافقة بحيث تتمكن التجهيزات التي ينتجها مصنع ما من التخاطب بدون مشكلات مع التجهيزات التي ينتجها مصنع آخر. وقامت المنظمة الدولية للمواصفات القياسية ISO في نهاية السبعينيات بإصدار المواصفة القياسية التي عرفت لاحقاً بنموذج OSI (ربط المنظومات المفتوحة) والذي أصدرته المنظمة الدولية للمواصفات القياسية ISO في عام 1984، وهو النموذج المعتمد على إطار واسع في دراسة وتصميم الشبكات والأجهزة الشبكية. وهو النموذج الذي اعتمد في تصميم الشبكات على مبدأ الطبقات الذي ذكرناه في المقطع السابق. ورغم كونه النموذج المرجعي الأساسي، فقد ظهرت هناك نماذج أخرى حصلت على اهتمام كبير:

- نموذج شبكة الإنترنت، وهو النموذج المبني على المواصفات القياسية التي طورتها مجموعة العمل IETF والتي تحولت إلى معيار دولي بحكم الأمر الواقع نظراً للانتشار العريض لشبكة الإنترنت.
- نموذج سيسكو، وهو نموذج خاص بشركة سيسكو التي ظلت لفترة طويلة تسيطر على السوق العالمية لتجهيزات الشبكات، وهو نموذج حاصل على شعبية كبيرة بسبب ترويج الشركة له عن طريق منظومة التدريب والتأهيل والاعتمادية التابعة لها.

ومن الضروري هنا أن نركز على مفهوم المواصفة القياسية باعتبارها نموذجاً مرجعياً يلتزم به المصنعون المختلفون، وليس شركة قائمة بحد ذاتها تقوم بتصنيع تجهيزات. أي أننا لن نجد في السوق تجهيزات تحمل ماركة OSI أو Internet.

1.3. نموذج OSI

يعتبر هذا النموذج هو المعتمد على إطار واسع في دراسة وتصميم الشبكات والأجهزة الشبكية.

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

- الطبقات: يوصف المعيار ISO7498 تصميم نموذج الطبقات السبع، وهو يستند على فكرة أساسية: تقسم المنظومة الشبكية إلى عدة طبقات، وفي كل طبقة هناك عدة مكونات تقدم وظائف مختلفة. وتتخاطب الطبقة مباشرة فقط مع الطبقة التي هي أدنى منها، كما تتيح للطبقة الأعلى استخدام وظائفها.
- البروتوكولات: البروتوكول هو لغة تخاطب، تتضمن العديد من المفردات المختلفة، وتستخدم للتواصل بين مكون لإحدى الطبقات الشبكية الموجودة على جهاز ما، وبين المكون المقابل من نفس الطبقة موجود على جهاز آخر. مثال: يمكن لمتصفح وب أن يرسل إلى مخدم الوب رسالة باستخدام بروتوكول HTTP مفادها "أرسل لي الصفحة التي اسمها "index.html".

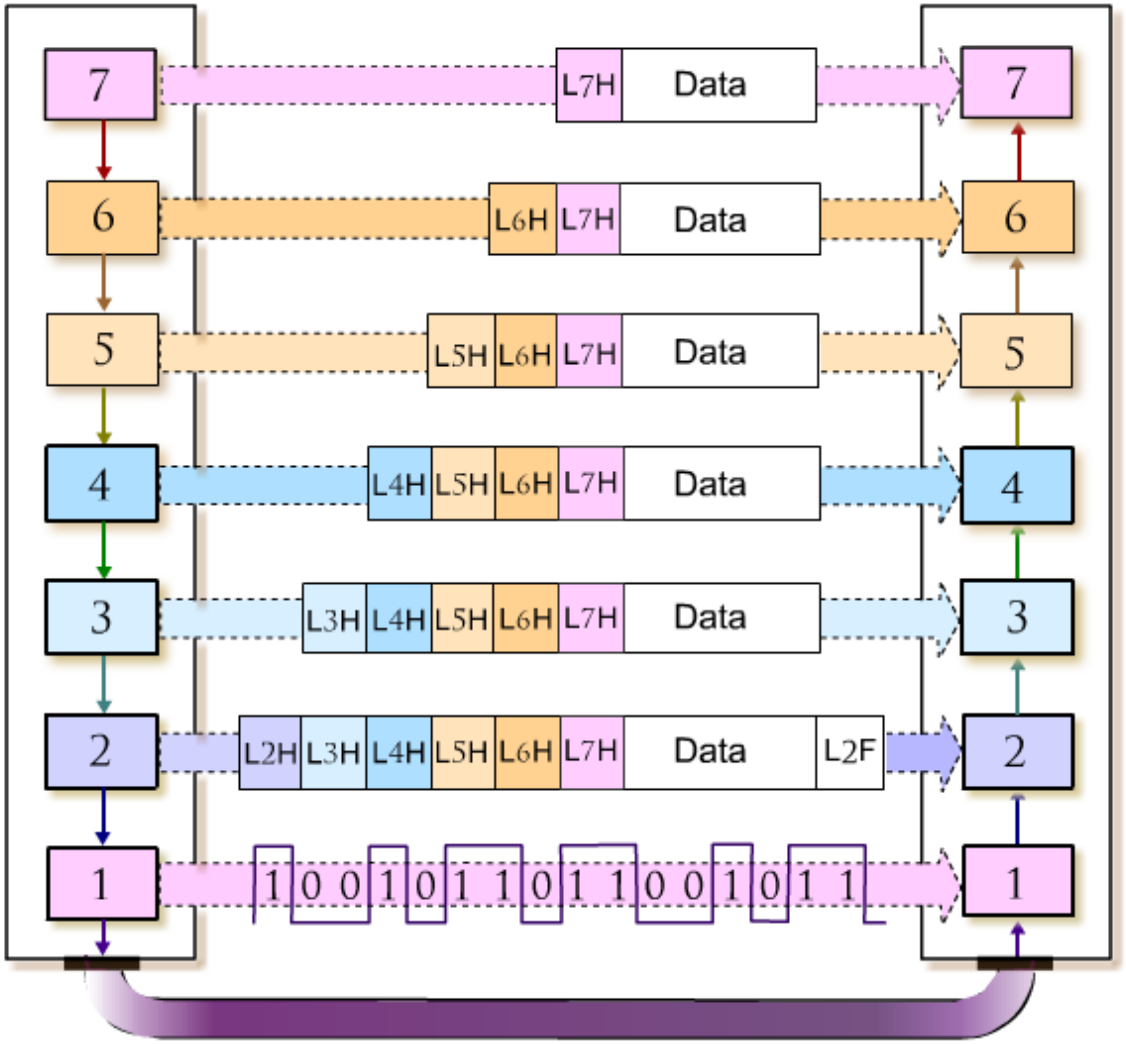
وتقوم البروتوكولات بصياغة البيانات التي يجري تبادلها بين المكونات المتقابلة من نفس الطبقة على شكل وحدات للبيانات تعرف باسم وحدات بيانات البروتوكولات Protcol Data Units: PDU.

تنقسم وحدة البيانات إلى جزئين:

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

1.1.3. معالجة البيانات عبر الطبقات:

تتم معالجة البيانات المتبادلة بين جهازين مختلفين بحسب نموذج OSI بالطريقة التي يوضحها الشكل (3):



الشكل -3- مراحل التغليف/فك التغليف المتتالية

1. تقوم الطبقة الأعلى (ولتكن الطبقة N) لدى الجهاز المرسل بتحويل البيانات إلى وحدة بيانات للبروتوكول من الطبقة N.
2. تمرر هذه الوحدة إلى الطبقة الأدنى منها (N-1)، والتي تصبح مسؤولة عن إرسالها إلى الطبقة المقابلة وتتعامل معها على أنها وحدة بيانات خدمة (بتعبير آخر: بالنسبة للطبقة N-1، فإن الوحدة القادمة من الطبقة N تشكل بأكملها حمولة مفيدة والمطلوب منها معالجتها على هذا الأساس).
3. تقوم الطبقة N-1 بإضافة الترويسة و/أو التذييل الخاص بها، وينتج عن ذلك وحدة بيانات من الطبقة N-1. وترسل هذه الوحدة بدورها إلى الطبقة N-2. وتسمى هذه العملية بالتغليف Encapsulation.
4. تستمر هذه العملة حتى الوصول إلى الطبقة الأدنى، وعندها يتم نقل البيانات إلى الجهاز المستقبل.

5. تجري معالجة البيانات في الطرف المستقبل باتباع الطريق العكسي بدءاً من الطبقة الدنيا ووصولاً إلى الطبقة العليا. حيث تكون لدينا سلسلة من وحدات بيانات الخدمات يتم استخلاصها واحدة تلو الأخرى عن طريق نزع الترويسة و/أو التذييل المضافة أثناء عمليات التغليف المتتالية التي تمت عند الإرسال. وتسمى هذه العملة بفك التغليف Decapsulation.

وبعبارة أخرى أكثر تبسيطاً، تعبر البيانات عند الإرسال مجموعة الطبقات من الأعلى إلى الأسفل ويزداد حجمها لأن كل طبقة تضيف مجموعة بيانات التحكم الخاصة بها عن طريق عملية التغليف، والتي تنزع بدورها عند الوصول أثناء عبور البيانات الطبقات من الأسفل إلى الأعلى لتعود إلى شكلها الأصلي الذي كان من المطلوب إرساله عن طريق عملية فك التغليف.

2.1.3. الطبقات وأدوارها

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

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

توجد وظائف الطبقة الرابعة فما فوق ضمن الأجهزة الانتهائية التي تتبادل المعلومات فيما بينها، أي أنه لا توجد أجهزة متخصصة في تقديم وظائف النقل مثلاً. أما وظائف الطبقة الثالثة والثانية والأولى، فهي وظائف شبكية يمكن أن تكون موجودة أيضاً في أجهزة متخصصة لهذا الغرض.
ونورد فيما يلي وصفاً مختصراً لكل طبقة من الطبقات، وسيكون هناك شرح أكثر تفصيلاً في الفصول القادمة.

- طبقة التطبيقات (الطبقة السابعة).

هذه هي الطيقة التي يتصل بها المستخدمون مع التطبيقات للحصول على الخدمات المرجوة. وهي معنية بتحديد الأجهزة التي سيتم التواصل معها وبالتحقق من وجود الموارد اللازمة للاتصال المطلوب. ومن أهم الأمثلة على الخدمات التي يمكن للمستخدم الحصول عليها:

1. خدمة تصفح الوب
2. خدمة البريد الإلكتروني
3. الطباعة عن طريق الشبكة
4. نقل الملفات

- طبقة العرض (الطبقة السادسة).

هذه الطبقة معنية بقضايا التوافقية بين الحواسيب المختلفة. إذ تقوم طبقة العرض كما يوحي اسمها بعرض البيانات إلى طبقة التطبيقات، أي أنها تقوم بشكل رئيسي بدور المترجم وتقوم بعمليات الترميز وتحويل البيانات بين الصيغ المختلفة، بما في ذلك التشفير وفك التشفير وضغط البيانات وفك الضغط. ومن إحدى آليات نقل البيانات الناجحة هي وضع البيانات في صيغة معيارية موحدة قبل نقلها. وبالتالي تعمل الأجهزة الحاسوبية بعد استقبالها لهذه البيانات على تحويلها إلى الصيغة الخاصة بها لتقوم بمعالجتها.
يسمح قيام طبقة العرض بعملية الترجمة بضمان قراءة البيانات التي ترسلها طبقة التطبيقات للجهاز المرسل من قبل طبقة التطبيقات من الجهاز المستقبل. ويتضمن نموذج OSI مواصفات قياسية للبروتوكولات تعرف كيف يمكن صياغة البيانات بصيغة معيارية موحدة. ونورد فيما يلي أمثلة على الصيغ المستخدمة لتبادل البيانات متعددة الوسائط:

1. صيغة JPEG المستخدمة في ترميز الصور
2. صيغة MIDI المستخدمة في ترميز الموسيقى المرقمة
3. صيغة MPEG المستخدمة في ترميز الفيديو

إن وجود مثل هذه الصيغ يسمح لمطوري مواقع الوب بتضمين الصور (مثلاً) في صفحات مواقعهم دون أن يضطروا في أي حال من الأحوال بالتفكير في احتمال ظهور مشكلة لدى المستخدم الزبون في عرض الصورة عند استعراضه لمحتوى الصفحة، وذلك بغض النظر عن نوع الجهاز المستخدم ونظام التشغيل ونوع المتصفح الذي يستخدمه الزبون.

- طبقة الجلسة (الطبقة الخامسة).

هذه الطبقة مسؤولة عن نقل البيانات بين التطبيقات، وهي التي تقوم بتأسيس وتنظيم وإنهاء عمليات تبادل البيانات بين التطبيقات في كل طرف، وهي التي تطلب من طبقة النقل تأسيس اتصال في حال كانت هناك حاجة لذلك (مثال: متصفح الوب مع مخدم الوب). لنفترض أن المستخدم قد فتح البريد الإلكتروني الخاص به باستخدام متصفح الوب chrome. وقام بنقر shift+click على ثلاث رسائل مختلفة يمثل كل منها رسالة. ما سيحصل فعلياً هو أن المتصفح سينشأ لكل رسالة إجرائية جديدة تعرض على نافذة مستقلة ويقابلها ثلاثة إجرائيات في نظام التشغيل. إذاً لدينا ثلاثة إجرائيات تتصل جميعها بنفس المخدم وتطلب منه صفحات مختلفة.

دور طبقة الجلسة هو تنظيم عملية التواصل مع المخدم، بحيث تضمن إرسال الطلب ووصول الإجابة إلى كل من الإجرائيات دون أن يحصل هناك خلط.
تعرف هذه الطبقة أيضاً عمليات أخرى أكثر تطوراً مثل نقاط الحفظ pointing check والاسترجاع recovery.

- طبقة النقل (الطبقة الرابعة).

تقوم هذه الطبقة بنقل سلاسل البيانات متغيرة الطول (تعرف باسم مقاطع أو segments) بين المصدر والوجهة عبر شبكة أو عدة شبكات، وتكون مسؤولة عن المحافظة على جودة الخدمة. من أهم الأمثلة على طبقة النقل هو بروتوكول TCP المستخدم في شبكة الإنترنت والمبني فوق بروتوكول IP المستخدم في طبقة الشبكة.
بإمكان طبقة النقل التحكم بوثوقية البيانات بالاعتماد على التحكم بتدفق البيانات وتقطيع وتجميع البيانات والتحكم بالأخطاء.
وهناك بعض بروتوكولات النقل المتصلة، أي أن بإمكان طبقة النقل أن تحتفظ بقائمة من المقاطع المرسلة وتعيد إرسال تلك التي يفشل إرسالها. كما تقدم طبقة النقل الإشعار باستلام البيانات عند وصولها بنجاح وتقوم بإرسال الرزمة التالية في حال عدم حصول خطأ. وهي بذلك تضمن وصول البيانات إلى وجهتها بنفس ترتيب إرسالها وبدون أخطاء.
ويعرف نموذج OSI خمسة صفوف من بروتوكولات النقل المتصلة، وهي تبدأ بالصف TP0 والذي يتضمن أقل عدد من الوظائف باعتباره مصمم ليعمل مع طبقة شبكات عالية الوثوقية ولا أخطاء فيها، وصولاً إلى الصف TP4، وهو المصمم من أجل الشبكات الأقل وثوقية مثل شبكة الإنترنت. وسيتم شرح هذه الصفوف بالتفصيل عند التعرض لها في الفصل الخاص بطبقة النقل.

- طبقة الشبكات (الطبقة الثالثة).

تظهر طبقة الشبكات مفهوم الشبكة المنطقية على أنها ربط لمجموعة شبكات فيزيائية مختلفة (تسمى أيضاً شبكة بينية Internetwork). ويكتسب هذا الربط أهمية خاصة عندما تكون الشبكات المرتبطة متباعدة جغرافياً (مثل شبكة الإنترنت).

تقدم هذه الطبقة الوظائف اللازمة لنقل وحدات بيانات متغيرة الطول (تعرف باسم الرزم packets، أو طرود البيانات datagrams) بين جهازين متصلين مع نفس الشبكة المنطقية. ويتضمن ذلك العديد من الوظائف الفرعية مثل:

1. العنونة المنطقية والتي لا تتعلق بنوع التجهيزات وبالشبكة الفيزيائية، ومن أشهرها عناوين الإنترنت IP addresses). وتقدم الطبقة الثالثة وظيفة تحويل العناوين الفيزيائية إلى عناوين منطقية وبالعكس.
2. إيجاد الطريق المناسب الذي ستسلكه الرزمة للوصول إلى وجهتها، باعتبار أن الشبكة يمكن ان تكون عبارة عن شبكة ناتجة عن ربط مجموعة شبكات مع بعضها البعض. تعرف هذه العلمية باسم عملية التوجيه routing.
3. اكتشاف الأخطاء الناتجة عن عملية نقل الرزم.
4. لا تضمن هذه الطبقة عادة وثوقية البيانات المنقولة، أي أن الرزم المرسلة لاتصل بالضرورة إلى وجهتها.

تعرف الأجهزة المستخدمة في هذه الطبقة باسم الموجهات routers، وسنشرح آلية عملها بالتفصيل في الفصل الخاص بالطبقة الثالثة.

- طبقة ربط المعطيات (الثانية).

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

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

ومن أهم الأجهزة المستخدمة في الطبقة الفيزيائية الجسور bridges والمبدلات switches التي ستشرح بالتفصيل في الفصل الخاص بالطبقة الثانية.

- الطبقة الفيزيائية (الطبقة الأولى).

هذه الطبقة مسؤولة بشكل رئيسي عن نقل سلاسل البتات التي تتحول إلى نبضات كهربائية أو أمواج راديوية أو إشارات ضوئية عبر الوسط الناقل.

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

1. الحامل الفيزيائي
2. مكونات منظومة مد الأسلاك
3. الموائمات التي تربط الكبل مع البوابة الفيزيائية لبطاقة الشبكة أو ما يكافئها
4. مواصفات المآخذ ونقاط الوصل
5. المكونات الفعالة مثل المكررات repeaters والمجمعات hub
6. الهوائيات اللاسلكية
7. بطاقات الشبكة

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

3.1.3. الانتقادات الموجهة لنموذج OSI

تعرض نموذج OSI تاريخياً للكثير من الانتقاد، وخاصة لأنه أتى في مرحلة متأخرة من عمر الشبكات، واعتبره الكثيرون بما فيهم الأكاديميون، كثير التعقيد وغير كفؤ، إلى درجة تجعله غير قابل للتنفيذ. إذ أن الالتزام به سيعني إلغاء عدد كبير من البروتوكولات واستبدالها ببروتوكولات جديدة في كل الطبقات. وهذا ما اعترض عليه العديد من المصنعين والمستخدمين نظراً للتكاليف المرتبطة بإعادة التصميم والاستثمارات العديدة التي سبقت ذلك. وبالإضافة لماسبق، فقد تركت الكثير من الوظائف الموصفة لتكون اختيارية للمصنعين، مما أدى إلى ظهور العديد من مشكلات التوافقية بين المصنعين المختلفين بسبب عدم تنفيذهم جميعاً للوظائف الاختيارية.

وبالتالي فإن نموذج OSI يبقى اليوم نموذجاً نظرياً غير محقق فعلياً على أرض الواقع، ولكنه مناسب جداً لدراسة الشبكات وتحليل العمل باعتباره يعرض توزيع الخدمات بأسلوب علمي وهندسي مناسب. وهناك بعض البروتوكولات التي تم توصيفها ضمن سلسلة بروتوكولات OSI والتي تشكل استثناء لهذا الوضع، مثل بروتوكول IS–IS (أحد بروتوكولات التوجيه التي سنتعرض لها في مقرر لاحق)، وهو بروتوكول موصف في المواصفة ISO/IEC 10589:2002، وتم اعتماده لاحقاً في الوثيقة RFC1142 كأحد بروتوكولات الإنترنت.

2.3. شبكة الإنترنت ونموذجها المرجعي:

تعتبر شبكة الإنترنت اليوم هي الشبكة الأشهر والأكثر اتساعاً في العالم وعلى مدى تاريخ الحوسبة. ولعلها أحد أكبر الابتكارات البشرية الذي أدى إلى حصول تغيير جذري في حياة الناس عبر العصور. ونورد فيما يلي أهم اللحظات التاريخية المرتبطة بحياة شبكة الإنترنت:

- كانت بدايات شبكة الإنترنت في نهاية الستينيات من القرن الماضي، عندما أطلقت في الولايات المتحدة الأمريكية شبكة Arpanet في عام 1969 والتي كانت في بداياتها محصورة بوزارة الدفاع الأمريكي وعدد من الجامعات والباحثين.
- في سنة 1971، كان أول استخدام لتطبيقات المستخدمين عن طريق الشبكة، إذا بلغ عدد الحواسيب المرتبطة بالشبكة 23، وقام راي توملينسون Ray Tomlinson بإرسال أول رسالة بريد إلكتروني.
- في سنة 1974 تم تطوير النسخة الأولى من البروتوكول TCP الذي كان يشكل الأداة الأساسية لنقل البيانات بين التجهيزات المختلفة المتصلة مع الشبكة. وجرى تطوير هذا البروتوكول لاحقاً ووضعه قيد التنفيذ والاستخدام ليصبح في عام 1983 البروتوكول الوحيد المستخدم في شبكة Arpanet.
- في سنة 1986 ظهرت شبكة NSF–Net وهي شبكة أنشأتها المؤسسة الوطنية للعلوم، تعتمد البروتوكولات التي تم تطويرها وربطت الجامعات ومراكز الأبحاث في كافة أنحاء الولايات المتحدة عن طريق عدد من الحواسيب العملاقة.
- رفعت الحكومة الأمريكية يدها عن شبكة NSF–Net في سنة 1995، لتظهر شبكة الإنترنت التي حلت محل الشبكة السابقة كشبكة ذات استخدام تجاري مفتوحة لجميع المستخدمين من جميع القارات.
- نمت منذ ذلك الحين لتصبح أكبر شبكة في العالم، إذا بلغ عدد المتصلين بالشبكة في نهاية عام 2014 2.38 مليار نسمة.

إذا نظرنا إلى نموذج الإنترنت، فسنجد أنه لا يلتزم بالهرمية الصارمة بين الطبقات التي يفرضها نموذج OSI، لا بل إن الوثيقة RFC3439 والتي تشرح المبادئ العامة لتصميم شبكة الإنترنت، تتضمن مقطعاً خاصاً عنوانه "Layering considered harmful" (إن التقطيع إلى طبقات يعتبر ضاراً). والمقصود بذلك أن إحدى مساوئ تقطيع الوظائف إلى طبقات معزولة عن بعضها البعض قد يؤدي إلى انخفاض الكفاءة أو إلى ظهور مشكلات غير محبذة مثل تكرار العمل بين الطبقات المختلفة مثال: فحص مجموعة البيانات نفسها مرات متتالية للعثور على الأخطاء.

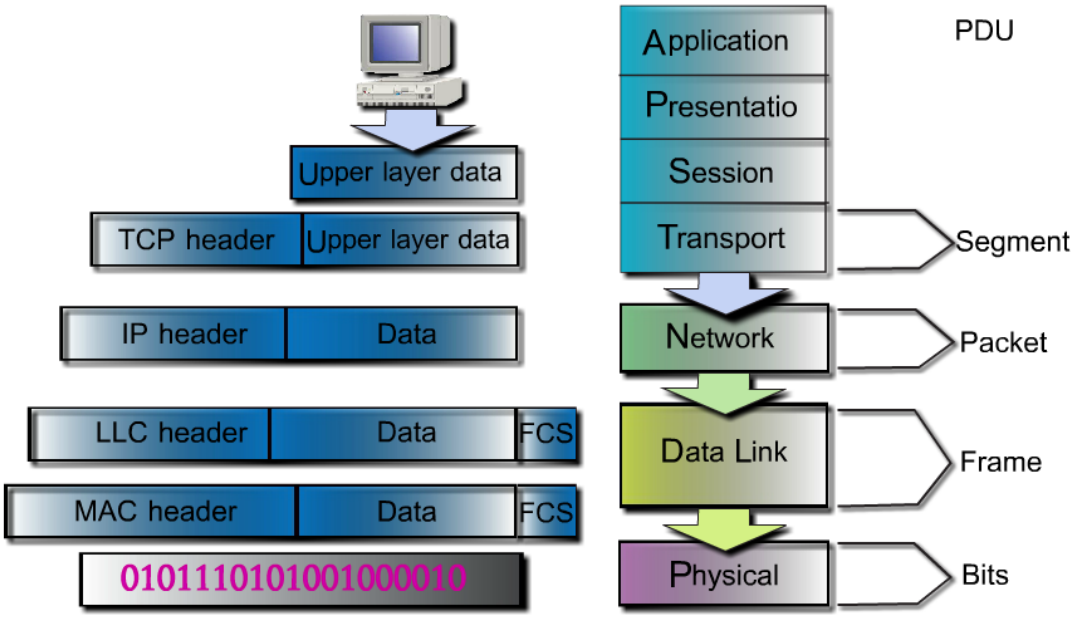
يعتمد نموذج الإنترنت على توزيع الوظائف على أربع طبقات:

1. طبقة التطبيقات، وهي تتضمن الوظائف المذكورة في طبقات التطبيقات والعرض وأغلب وظائف طبقة الجلسة من نموذج OSI.
2. طبقة النقل، وهي تتضمن وظائف طبقة النقل من نموذج OSI إضافة إلى وظائف إغلاق الاتصال السلس المأخوذ من طبقة الجلسة في نموذج OSI.
3. طبقة ترابط أو ارتباط الشبكات، وتتضمن جزءاً من وظائف الطبقة الثالثة في نموذج OSI.

4. الطبقة الفيزيائية وهي تشمل وظائف الطبقة الثانية والطبقة الأولى وبعض وظائف الطبقة الثالثة من نموذج OSI.

ومن الضروري أن نلاحظ هنا أن شبكة الإنترنت هي شبكة قائمة فعلياً، وليست مجرد نموذج مرجعي يمكن الاعتماد عليه عند تصميم شبكات جديدة. وبالتالي فإن معظم المفاهيم الشبكية التي تتم دراستها بشكل عملي ستطبق على مفاهيم شبكة الإنترنت التي أصبحت بحكم الواقع نموذجاً مرجعياً لايقل أهمية عن نموذج OSI، ومن حسن الحظ أنه لاتوجد هناك فروقات كبيرة بين النموذجين.

يعرض الشكل –4– عملية تغليف البيانات التي تتم في نموذج الإنترنت بالمقارنة مع تلك التي تتم في نموذج OSI، ونرى أن هناك تشابها كبيراً بين العمليتين, ولكن نموذج الإنترنت هو أكثر "واقعية" وأسهل فهماً.



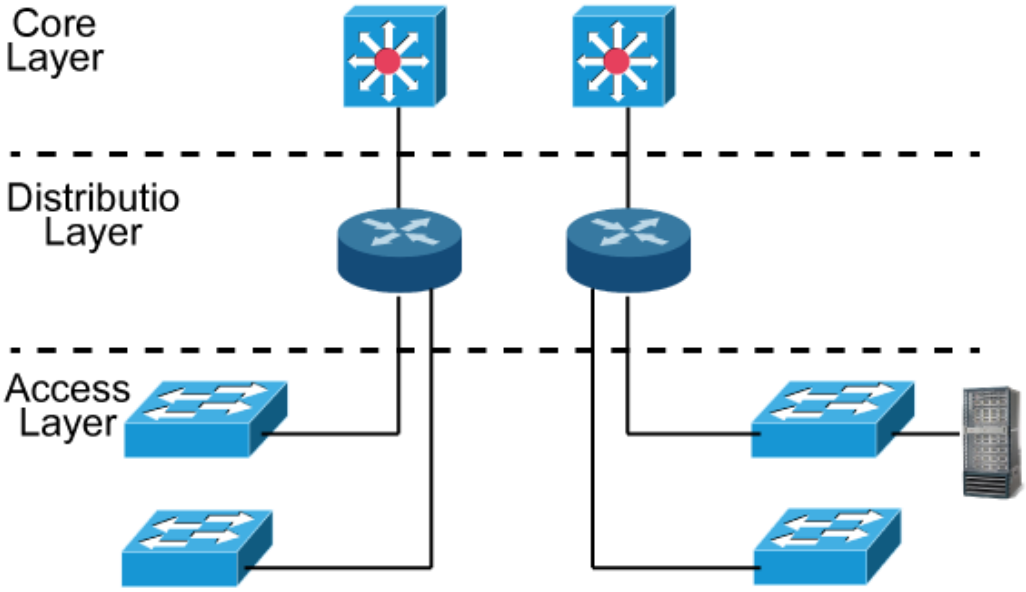
الشكل –4– التغليف وفك التغليف في شبكة الإنترنت

1. يتم تحويل المعلومات التي يولدها المستخدم إلى بيانات لتنقل عبر الشبكة
2. يتم تحويل البيانات إلى مقاطع وتأسيس اتصال موثوق بين الجهازين المرسل والمستقبل
3. يتم تحويل المقطع إلى رزم، ويحدد عنوان الوجه المنطقي في الترويسة الخاصة بكل رزمة لتتمكن طبقة الشبكة من تحديد مسارها وإيصالها إلى الوجهة.
4. يتم تحويل الرزم إلى إطارات لتنقل عبر الشبكة المحلية، وتستخدم عناوين إثرنت الفيزيائية لتحديد الوجهة بشكل فريد..
5. تحول الإطارات إلى بتات، ويضاف إليها معلومات الترميز الرقمي والميقاتية. وترسل على الوسط الناقل.

ملاحظة هامة: يمكن أن لايتسع الإطار للرزمة بسبب وجود قيود على حجمه، وبالتالي هناك حاجة إلى تقطيع الرزمة إلى عدة إطارات. وبنفس الطريقة يمكن ألا تتسع رزمة واحدة للمقطع بسبب وجود قيود على حجمها، وبالتالي يتم تقطيع المقطع إلى عدة رزم.

3.3. نموذج شركة سيسكو CISCO

من المستغرب أن يكون هناك نموذج مرجعي لشركة، فهذا يتعارض إلى حد كبير مع مفهوم النموذج المرجعي وكونه منهجاً تستند عليه جميع الشركات في عملها. ولكن هناك وضع خاص لهذه الشركة بالذات، فقد كانت هناك درجة كبيرة من التماهي بين أجهزة الشبكة واسم هذه الشركة بالذات (هذا يشبه مصطلح فريجيدير الذي كان لفترة طويلة يستخدم كمرادف لمعنى البراد أو الثلاجة المنزلية، علماً بأنه اسم لشركة تصنع هذه التجهيزات). فقد ارتبط اسم هذه الشركة بتجهيزات الموجهات التي هي عصب شبكة الإنترنت لفترة طويلة من الزمن حتى بات محترفو المهنة يستخدمون الاسم للدلالة عن الموجه.



الشكل -5- نموذج سيسكو الهرمي

ويعرف هذا النموذج باسم النموذج الهرمي، لأنه يوزع الوظائف على شكل هرمي كما يعرضه الشكل (5).
ويهدف هذا النموذج بشكل رئيسي إلى تقديم نموذج استرشادي لمصممي الشبكات بشكل عام وشبكات المؤسسات بشكل خاص، وهو يقسم الشبكة إلى ثلاثة طبقات:

- طبقة النفاذ Access Layer :.

وهي الطبقة التي تتصل عن طريقها الأجهزة الانتهائية والمخدمات. وتستخدم فيها تجهيزات من نوع المبدلات من الطبقة 2 في أغلب الأحيان. ويتم التركيز عادة على تخفيض الاستثمارات التي تحتاج الشركة للقيام بها لكل بوابة إثرنت تريد وضعها في الخدمة.

تدعى هذه الطبقة أيضاً بطبقة سطح المكتب Desktop لأنها تركز على ربط أجهزة الزبائن (مثال: محطات العمل والحواسيب الشخصية) إلى الشبكة.

- طبقة التوزيع Distribution Layer :.

هذه الطبقة هي الطبقة "الذكية" في نموذج الطبقات الثلاث. وفي هذه الطبقة تتم عمليات التوجيه والتصفية وإدارة جودة الخدمة. وكما تكون هذه الطبقة مسؤولة في كثير عن الأحيان عن إدارة وصلات الفروع المختلفة. وتعرف هذه الطبقة أيضاً باسم طبقة مجموعة العمل.

- طبقة النواة أو قلب الشبكة Core Layer :.

تقدم طبقة قلب الشبكة خدمات إعادة التوجيه بسرعة كبيرة ووثوقية عالية لنقل الرزم بين أجهزة طبقة التوزيع عبر الأجزاء المختلفة من الشبكة. وتكون الموجهات والمبدلات المستخدمة في هذه الطبقة من أعلى التجهيزات كفاءة، وتتصل بسرعات كبيرة من مرتبة 10 غيغابت في الثانية (أو أعلى في حال كانت تلك السرعات متاحة).

4. أصناف الشبكات

هناك العديد من التصنيفات المتبعة لتصنيف الشبكات، وأشهرها التصنيفات التالية:

- التصنيف بحسب المدى الجغرافي إذ تقسم الشبكات إلى شبكات محلية وشبكات بعيدة
- التصنيف الطوبولوجي، وهو معني بالتوضع المكاني للأجهزة.

1.4. التصنيف بحسب المدى الجغرافي

تقسم الشبكات بحسب مداها الجغرافي إلى نوعين رئيسيين:

- الشبكات المحلية:.

تسمى شبكات الحواسيب التي تكون فيه الأجهزة متواجدة في منطقة جغرافية واحدة بالشبكات المحلية، ويرمز لها باسم LAN كاختصار لـ Local Area Networks. وعادة ما تكون هذه الشبكات مملوكة لنفس الجهة التي تكون مكاتبها في هذا الموقع او البناء. ويمكن أن تتضمن الشبكة المحلية عدة شبكات فرعية (مثال: مجموعة شبكات في الطوابق تتصل مع بعضها البعض لتشكل شبكة بناء).

اتسع نطاق الشبكات المحلية خلال العقدين الماضيين ليتجاوز مفهوم المنطقة الجغرافية الواحدة وذلك مع تنامي أداء الوصلات الشبكية وقدرتها على وصل الأجهزة الشبكية بسرعات كبيرة عبر مسافات بعيدة. إذا بات من الممكن بفضل تقانات الألياف الضوئية أن تكون لدينا وصلات شبكية تمتد لعشرات بل مئات الكيلومترات وبسرعات من مرتبة 10غيغا بت/ثا وحتى 100 غيغا بت/ثا. وتستخدم الوصلات التي تقدم هذه السعات العالية في بناء ما يعرف بشبكات المدن Metropolitan Area Networks. وهي حالة متطورة من الشبكات المحلية.

- الشبكات الواسعة:.

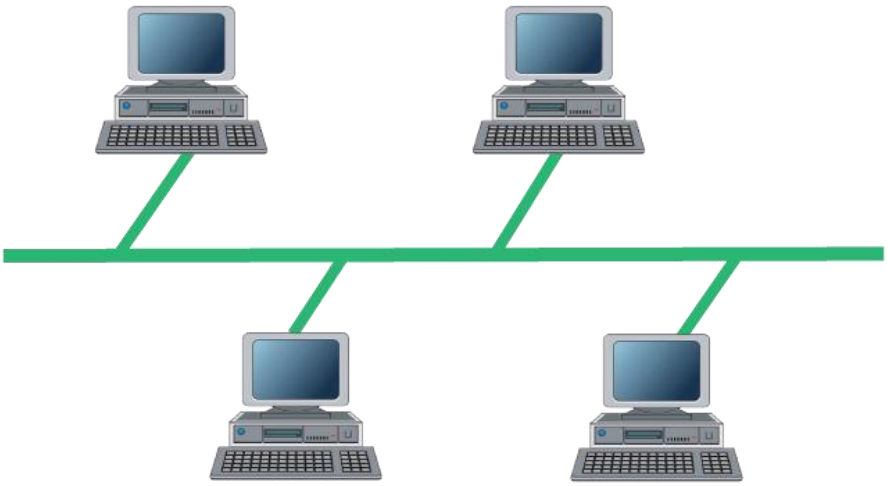
هي شبكات تربط بين عدة شبكات موجودة في مناطق متباعدة جغرافياً، ويرمز لها باسم WAN كاختصار لـ Wide Area Networks. وتمتد هذه الشبكات ضمن مدينة، أو دولة، أو قارة، أو حتى عبر الكرة الأرضية. وفي أغلب الأحيان يكون طرفا الاتصال مملوكين لجهتين مختلفتين، ويتم الاتصال بهدف تبادل البيانات بين هاتين الجهتين. وتستخدم في وصل هذه الشبكات الواسعة دارات مؤجرة من شركات تقديم خدمات الاتصالات، كما يمكن أن تستخدم اتصالات الأقمار الصناعية. وقد ظهرت خلال العقود الأخيرة شركات متخصصة في تمديد الكبال الضوئية العابرة للقارات، وخاصة بعد تزايد الطلب على الاتصال بشبكة الإنترنت.

2.4. التصنيف الطوبولوجي

ويقصد بذلك الطريقة التي تتوضع بها الأجهزة الشبكية والأجهزة المتصلة بالشبكة وكيفية الوصل بين مجموعة الأجهزة تلك (طوبولوجيا هي كلمة تعني التوضع المكاني). وأهم أصناف الشبكات الموجودة بحسب هذا التصنيف هي الشبكات الخطية والشبكات النجمية.

- الشبكات الخطية:.

في هذا الصنف من الشبكات تتصل جميع الأجهزة عن طريق وسط ناقل مشترك كما يظهر الشكل (6)



الشكل -6- الشبكات الخطية

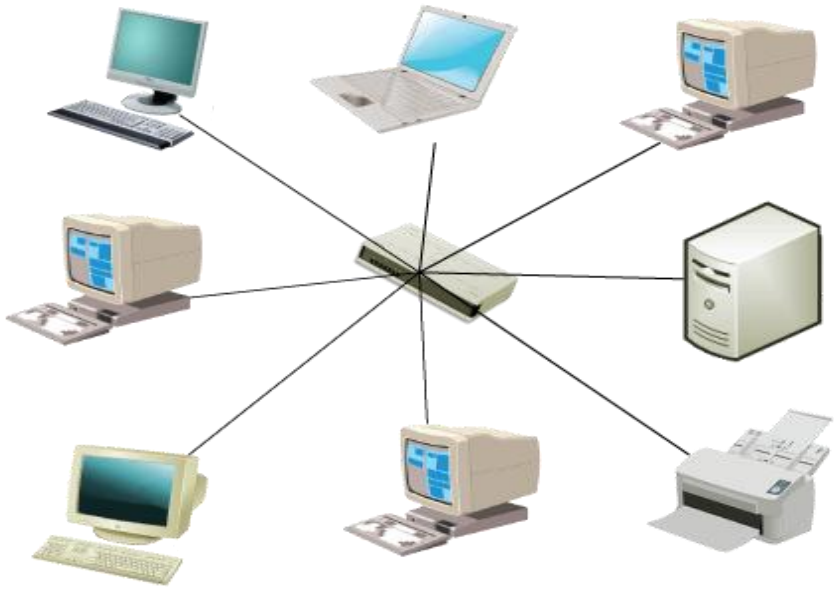
تتصل الأجهزة مباشرة بالوسط الناقل دون وجود أي جهاز مخصص لهذا الغرض، ويتم الإرسال مباشرة بين الأجهزة دون وجود أي وسيط. وتشبه الشبكات الخطية في ذلك وصل الدارات عن طريق التسلسل، إذ غالباً ما يؤدي انقطاع الوصل الشبكي عن جهاز إلى انقطاع الوصل الشبكي عن جميع الأجهزة التي تليه.

هذا الصنف من الشبكات مناسب لبناء الشبكات المحلية الصغيرة لأنها لاتحتاج إلى كمية كبيرة من الكبال، كما لاتحتاج إلى تمديدات خاصة لتركيب جهاز جديد.

مساوئ هذا الصنف من الشبكات مرتبطة بشكل رئيسي بمشكلات الوسط الناقل المشترك. إذ يتناقص الأداء مع زيادة عدد الأجهزة المتصلة، ويمكن أن تتوقف الشبكة بأكملها في حال وجود انقطاع في مكان ما من الكبل.

- الشبكات النجمية:.

في هذا الصنف من الشبكات تتصل الأجهزة بجهاز مركزي يدعى مجمعاً (أو مبدلة) عن طريق كبال الوصل كما يظهر الشكل (7)



الشكل –٧– الوصل النجمي للشبكات

تكون جميع عمليات الإرسال عن طريق هذا الجهاز المركزي. ومن محاسن هذه البنية أنها سهلة التركيب ولا تؤثر فيها أعطال الأجهزة على بعضها البعض. ولكن يصبح المجمع نقطة ضعف من ناحية الوثوقية لأن أي عطل بطرأ عليه يمس الشبكة بأكملها ومن ناحية الأداء لأنه يتحول إلى نقطة اختناق ممكنة باعتباره ممراً إجبارياً لكل البيانات العابرة للشبكة، كما أنها تحتاج إلى كمية كبيرة من الكبال لأن كل جهاز يحتاج إلى وصلة مستقلة عن الآخرين.

ويمكن أن يكون الوصل نجمياً هرمياً hierarchical في حالة الشبكات الكبيرة، بحيث يتصل المجمع بدوره مع مجمع مركزي بالإضافة مع عدة مجمعات. وهو أسلوب متبع بكثرة في حالة شبكات الأبنية إذ تبنى نجمة أولى هي الشبكة الطابقية (تعرف أيضاً باسم المستوى الأفقي) وتتصل الشبكات الطابقية مع مجمع (أو مبدلة) مركزي في مكان مخصص لهذا الغرض (عادة في أسفل البناء).

5. إدارة وتنظيم الشبكات

تتسم شبكات المعطيات وشبكة الإنترنت بالذات بأنها عابرة للقارات وتضم عدداً هائلاً من التجهيزات والبرمجيات التي تعمل في خدمة المستخدمين عبر العالم. وهذا يطرح قضيتين أساسيتين:

- وضع المواصفات القياسية التي تضمن أن تعمل التجهيزات والبرمجيات المختلفة بتوافقية
- وضع قواعد الإدارة والتنظيم وتوزيع الموارد

1.5. المواصفات القياسية الشبكات

نظراً لتعدد الجهات المصنعة للتجهيزات والبرمجيات الشبكية، فمن الضروري أن تكون هناك جهات معنية بوضع المواصفات القياسية لتلك التجهيزات والبرمجيات وقواعد الربط البيني بين الشبكات المختلفة. وأهم الجهات هي التالية:

- المنظمة الدولية للمواصفات القياسية ISO

وهي منظمة مستقلة غير حكومية (ولا تتبع للأمم المتحدة كما قد يخطر على بال الكثيرين)، وتقوم بوضع المواصفات القياسية بشكل عام في شتى المجالات ومنها مجالات المعلوماتية وشبكات المعطيات. ونموذج OSI هو أحد أهم الأمثلة.

- مجموعة العمل لهندسة الإنترنت IETF

وهي الجهة المعنية بوضع المواصفات القياسية الخاصة ببروتوكولات الإنترنت. وتصدر مواصفاتها القياسية على شكل وثائق تعرف باسم RFC. وتمر الوثيقة بعدة مراحل قبل اعتمادها لتصبح وثيقة مواصفات قياسية. إذ تبدأ الوثيقة حياتها في حالة مسودة إنترنت Internet Draft، وهناك الكثير من الوثائق التي لم تتجاوز تلك المرحلة. ويمكن الاطلاع على الوثيقة RFC7100 التي تتضمن قائمة المواصفات القياسية المعتمدة رسمياً في شبكة الإنترنت على العنوان tools.ietf.org/html/rfc7100.

عند الحاجة إلى تحديث وثيقة ما، لايتم التحديث أو التعديل على الوثيقة، وإنما تصدر وثيقة جديدة برقم جديد تلغي الوثيقة السابقة. وبالتالي فإنه من الممكن للوثيقة السابقة أن تكون قد تقادمت، وعند قراءتها سيجد القارئ اسم الوثيقة الجديدة التي تحل محلها.

- معهد المهندسين الكهربائيين والإلكترونيين IEEE

وهو مسؤول بشكل رئيسي عن إدارة وتحديث مجموعة المواصفات القياسية IEEE 802، ومن أهمها:

1. المواصفة IEEE 802.1 والتي تعنى بإدارة الشبكات
2. المواصفة IEEE 802.2 والتي تعنى بالطبقة الثانية من نموذج الـ OSI.
3. المواصفة IEEE 802.3 والتي تعرف الطبقة الجزئية من الطبقة الثانية الخاصة بالتعامل مع الوسط الفيزيائي في حالة الشبكات الخطية وهو الأساس في عمل أهم الشبكات المحلية وهي شبكة إثرنت
4. المواصفة IEEE 802.6 والتي تحدد المعيار لعمل شبكات المدن Metropolitan Area Networks (MAN)

- الاتحاد الدولي للاتصالات ITU

الاتحاد الدولي للاتصالات هو إحدى منظمات الأمم المتحدة المسؤولة عن وضع المواصفات والمعايير في مجال الاتصالات بشكل عام. وهو منظمة تضمن حكومات الدول بشكل رئيسي، ولكن معظم النشاط الذي يتم في قطاع التقييس ITU-T يقوم به ممثلو الشركات العاملة في مجال صناعة الاتصالات. وهناك العديد من المواصفات القياسية التي خرجت من الاتحاد الدولي للاتصالات تخص شبكات المعطيات. وإن كان دوره قد انحسر بعض الشيء نظراً للتركيز على شبكة الإنترنت وكون وضع المواصفات القياسية لتلك الشبكة من مسؤولية الـ IETF.
وقد خصص الاتحاد الدولي للاتصالات سلسلة المواصفات القياسية .X لشبكات المعطيات والأنظمة المفتوحة. وقد كان شريكاً في تطوير نموذج OSI وخصص له المواصفة القياسية X.200. ويمكن العثور على المواصفات القياسية الصادرة من الاتحاد الدولي للاتصالات على هذا الرابط:
http://www.itu.int/ITU-T/recommendations/index.aspx?ser=X

2.5. إدارة وتنظيم الإنترنت

الموضوع هنا أكثر تعقيداً، فالإنترنت هي شبكة معولمة بطبيعتها، ولكن لاتزال إدارتها تحت إشراف جهة تتبع بشكل أو بآخر للولايات المتحدة الأمريكية وهي الآيكان ICANN. وهي خارج نطاق بحثنا، ونكتفي بالاشارة الى دورها الكبير في قواعد الإدارة اليومية للإنترنت استنادا للمواصفات التي تضعها مجموعة عمل هندسة الإنترنت.
هناك أيضاً جهة أخرى وهي الـ IANA والتي كانت تاريخياً مسؤولة عن العديد من المهام الحساسة مثل إدارة موارد الإنترنت وتخصيصها كالعناوين والأرقام المخصصة للخدمات port numbers ومعرفات المنظومات المستقلة autonomous systems، وعن إدارة المخدمات الجذرية لأسماء النطاقات root servers. وهي مهام فائقة الأهمية والحساسية. وتقوم حالياً مؤسسة الآيكان بهذه المهام، ولكن باعتبار أن تلك المؤسسة هي حالياً في طور إعادة الهيكلة، وفصل التبعية مع حكومة الولايات المتحدة الأمريكية، فمن غير الواضح هل ستعود الـ IANA كجهة مستقلة (وتبقى مرتبطة مع حكومة الولايات المتحدة الأمريكية) أم لا.

تعرف القضايا التي تطرح في هذا الإطار بقضايا حوكمة الإنترنت Internet Governance، وهي قضايا خلافية في المقام الأول وتعتبر من القضايا التي تشغل حيزاً كبيراً من الاهتمام العام وخاصة في ضوء سيطرة الولايات المتحدة الأمريكية على شبكة الإنترنت واعتراض العديد من الدول على هذه السيطرة وآثارها السلبية .

تمارين

1. ما هي الطبقة المسؤولة عن تحويل البيانات الواردة من الطبقة الثانية إلى إشارات كهربائية
2. في أية طبقة تتم عملية التوجيه
3. ما هي الطبقة المسؤولة عن تأسيس وإدارة وإغلاق الجلسات بين التطبيقات
4. ما هي الطبقة التي تحدد مستوى الإشارة الكهربائية وسرعة الخط ومواصفات المآخذ ونقاط الوصل وتنقل البتات بين الأجهزة
5. ما هي الطبقة التي تعتمد نقل البيانات على شكل رزم
6. ما هي الطبقة التي تعتمد نقل البيانات على شكل إطارات
7. ما هي الطبقة التي تعتمد نقل البيانات على شكل بتات
8. ماهي الطبقة التي تعتمد نقل البيانات على شكل مقاطع
9. رتب وحدات البيانات التالية بحسب ترتيب احتوائها (الأول يحتوي الذي يليه، وهكذا)
   - إطار
   - رزمة
   - بت
   - مقطع
10. ماهي الطبقات من نموذج OSI التي يدمجها نموذج الإنترنت في طبقة واحدة.

الفصل الثاني
الطبقة الفيزيائية

عنوان الموضوع:

الطبقة الفيزيائية

الكلمات المفتاحية:

الكبال المزدوجة المجدولة، الكبال المحورية، كبال الألياف الضوئية، إشارة تماثلية، إشارة جيبية، إشارة رقمية، وسط ناقل، معدل نقل البتات، بنيان الشبكة، وصل أفقي، وصل عمودي.

ملخص:

يتعرف الطالب في هذا الفصل على الطبقة الفيزيائية وهي الطبقة الأولى للشبكة ومكوناتها وآليات النقل الفيزيائي للبيانات عبر تحويلها إلى إشارات وإرسالها واستقبالها عبر الناقل.

أهداف تعليمية:

يتعرف الطالب في هذا الفصل على:

- الطبقة الأولى – الطبقة الفيزيائية
- بنية الطبقة الفيزيائية وأنواع الكبال
- أنماط الإشارات
- بنيان الشبكة

المخطط:

4 فقرات عناوينها كما يلي:

- **المهام الأساسية لعمل الطبقة الأولى**
- **خصائص الإشارات**
- **الوسط الناقل**
- **بنيان الشبكات**

مقدمة

إن الدور الأساسي للطبقة الفيزيائية هو تحويل وحدة البيانات من الطبقة 2 إلى سلسلة من البتات وإرسالها عبر الوسط الناقل إلى وجهتها التالية، وبالعكس. وهناك العديد من الوسائط التي يمكن أن تستخدم مثل:

- الكبال المزدوجة المجدولة twisted pair cables
- الكبال المحورية coaxial cables
- كبال الألياف الضوئية fiber optic cables
- في حالة البث اللاسلكي، يكون الوسط الناقل هو الهواء

لن نتعرض في هذه المادة إلى التفاصيل النظرية والمعادلات الرياضية التي تقود عمل الطبقة الفيزيائية إلا بالحد الأدنى اللازم لفهم آلية العمل. كما سنشرح بشكل مبسط كيف يتم بناء الشبكات المحلية وما هي القواعد المتبعة في هذا العمل.

1. المهام الأساسية لعمل الطبقة الأولى

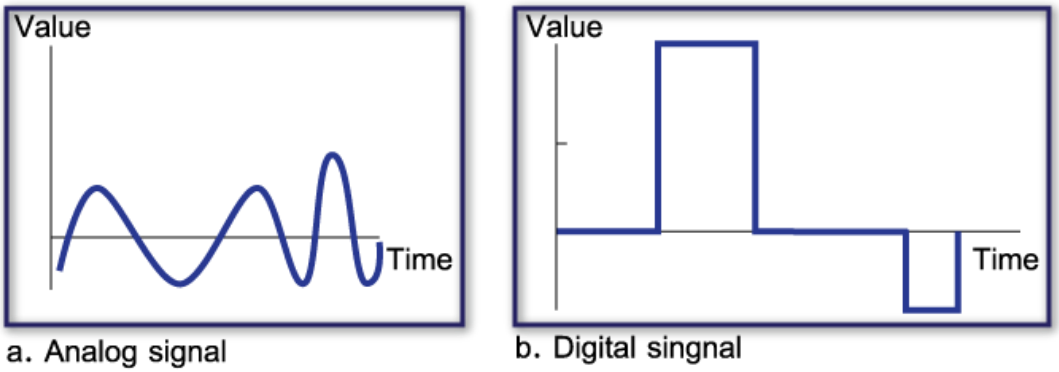
يتلخص عمل الطبقة الأولى في المهام التالية:

1. تحويل البيانات الرقمية المكونة من سلاسل من البتات {0,1} إلى إشارة كهرطيسية سترسل على الوصل الناقل، هذه الإشارة هي تابع زمني g(t)، وهذه العملية هي عملية الترميز encoding (ملاحظة هامة: إن الإشارات التي تنقل عبر الألياف الضوئية هي أيضاً شكل من أشكال الإشارات الكهرطيسية).
2. إرسال الإشارة عبر الوسط الناقل واستقبالها من قبل الجهة المستقبلة (نتفادى أن نقول أن لدينا "طرف آخر للوسط الناقل" لأن هذا ليس بالضرورة صحيحاً، إذا لا يوجد طرف آخر في البث اللاسلكي.
3. إعادة تحويل الإشارة المستقبلة إلى صيغة رقمية (فك الترميز decoding) للوصول إلى القيمة المرسلة. والتي يجب أن تتطابق مع القيمة التي تم إرسالها فعلاً في الخطوة الأولى.

2. خصائص الإشارات

نشرح هنا باقتضاب الخصائص الهامة للإشارات بشكل عام وذلك بهدف إيضاح الخطوات الثلاث التي أدرناها أعلاه. يمكن أن تكون للإشارة عدة خصائص، ويتم تصنيف الإشارات بناء على تلك الخصائص.
تمثل الإشارات عادة على شكل تابع للزمن بحيث يمثل المحور الأفقي الزمن والمحور العمودي قيمة الإشارة.
كما يظهر الشكل (1) أدناه. ونورد فيما يلي أهم الخصائص التي يمكن أن تميز الإشارة:

- يمكن أن تكون الإشارة **تماثلية** Analog، ويكون في هذه الحالة التابع الزمني المرافق لها مستمراً لا انقطاع فيه، وعند الانتقال من قيمة إلى قيمة أخرى، فإن التابع يأخذ جميع القيم التي بين تلك القيمتين. ويمكن أن تكون **رقمية** Digital، ويكون التابع الزمني المرافق متقطعاً إذ لا يمكن أن يأخذ إلا قيماً محددة (عادة ما تكون من مضاعفات الـ 1 إضافة إلى الصفر). ويظهر الشكل (1) إشارة تماثلية وأخرى رقمية، ويظهر المنحني الممثل للإشارة التماثلية وجود عدد لا منتهي من القيم الممكنة، أما في حالة الإشارة الرقمية، يظهر لدينا بوضوح أن قيمة الإشارة تنتقل على شكل قفزات بين عدد محدود من القيم المتقطعة. ومن المؤكد أن حالة الإشارة الرقمية في شكلها المثالي غير ممكنة التحقيق فعلياً إذ لا يمكن الانتقال بين قيمتين للإشارة خلال زمن صفر، ولكن التقانات المستخدمة تعمل على تقليص هذا الزمن إلى أقصى حد ممكن ليصبح مهملاً.



الشكل (1) إشارات التماثلية والإشارات الرقمية

- يمكن ان تكون الإشارة **دورية** periodic، وفي هذه الحالة يكون للإشارة شكل يتكرر باستمرار وبفاصل زمني ثابت بين القيم المكررة يعرف باسم دور الإشارة. أما الإشارة **غير الدورية** aperiodic فتتغير قيمتها بدون أن يكون لذلك التغير أي شكل محدد. وفي نقل المعطيات، تستخدم الإشارات التماثلية الدورية والإشارات الرقمية غير الدورية (نقبل ذلك بدون عرض مبررات في الوقت الراهن)

1.2. الإشارات التماثلية الدورية البسيطة

إن الشكل الأساسي للإشارات التماثلية الدورية هو الإشارة الجيبية. والتي تأخذ الشكل:

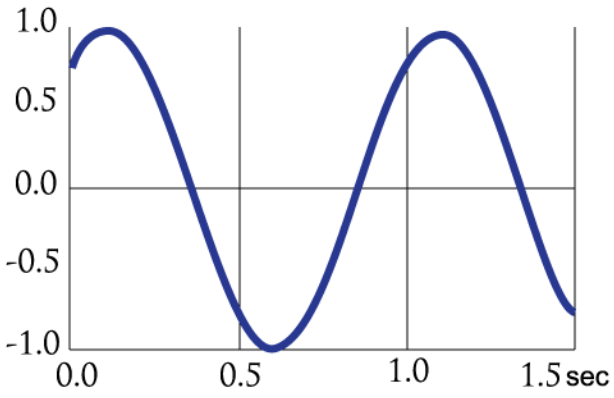
$$g(t) = A \sin(2\pi\omega t+\varphi)$$

1.1.2. المحددات الأساسية

تحدد الإشارة الجيبية بثلاثة وسائط كما تعرض المعادلة:

- المطال الأعظمي maximum amplitude: وهو القيمة المطلقة القصوى التي يمكن أن تأخذها الإشارة (في المعادلة: A)، وفي حالة الإشارة الكهربائية فإن المطال الأعظمي يقاس بالفولط.
- الدور period: وهو الزمن الذي تحتاجه الإشارة لإتمام دورة وإعادة تكرار القيم السابقة (في المعادلة: ω)، ويقاس الدور بالثانية. وترتبط بالدور قيمة أخرى هامة وهي التردد frequency وتعادل مقلوب الدور f = 1/T ويقاس بالهرتز، ويمثل التردد عدد المرات التي تكرر الإشارة نفسها في الثانية، ويعبر عن مدى سرعة تغير قيمة الإشارة، إذ يتناسب طرداً مع تلك السرعة فكلما كان تغير القيمة سريعاً كلما ازداد التردد.
- الطور phase: وهو قيمة الإشارة في اللحظة صفر، ويمثل على المنحني الانزياح الأفقي عن نقطة تقاطع المحورين (في المعادلة: φ)، ويقاس بالراديان.

ويظهر الشكل (2) إشارة جيبية بسيطة مع قيم محدداتها المختلفة.

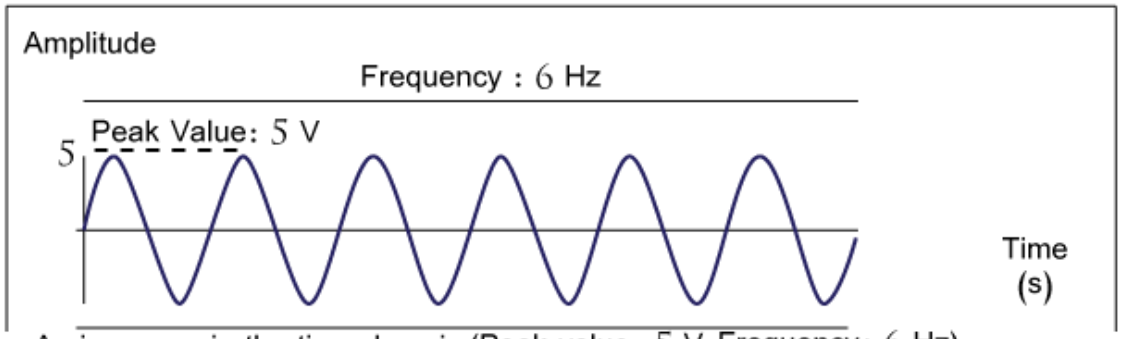


(d) $A=1, f=1, \Phi = \pi/4$

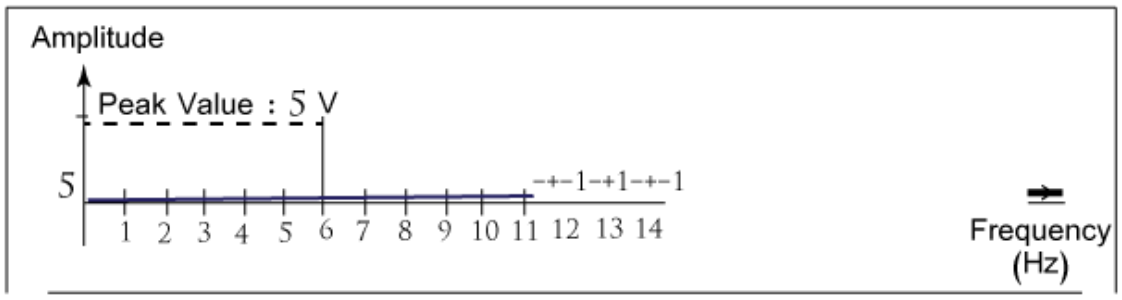
الشكل (2) مثال على إشارة جيبية مع قيم محدداتها

2.1.2. نطاقات الزمن والتردد

عندما عرضنا تمثيلاً للإشارة الجيبية، فقد عرضت على أنها تابع للزمن (تغير المطال بتغير الزمن). ويمكن أيضاً عرض الإشارة على أنها تابع للتردد، بحيث تكون قيمة التابع عند قيمة التردد هي المطال الأعظمي للإشارة. ويظهر الشكل (3) مثالاً على إشارة دورية ترددها 6 هرتز ممثلة بالطريقتين المذكورتين.



a. A sine wave in the time domain (Peak value: 5 V. Frequency: 6 Hz)



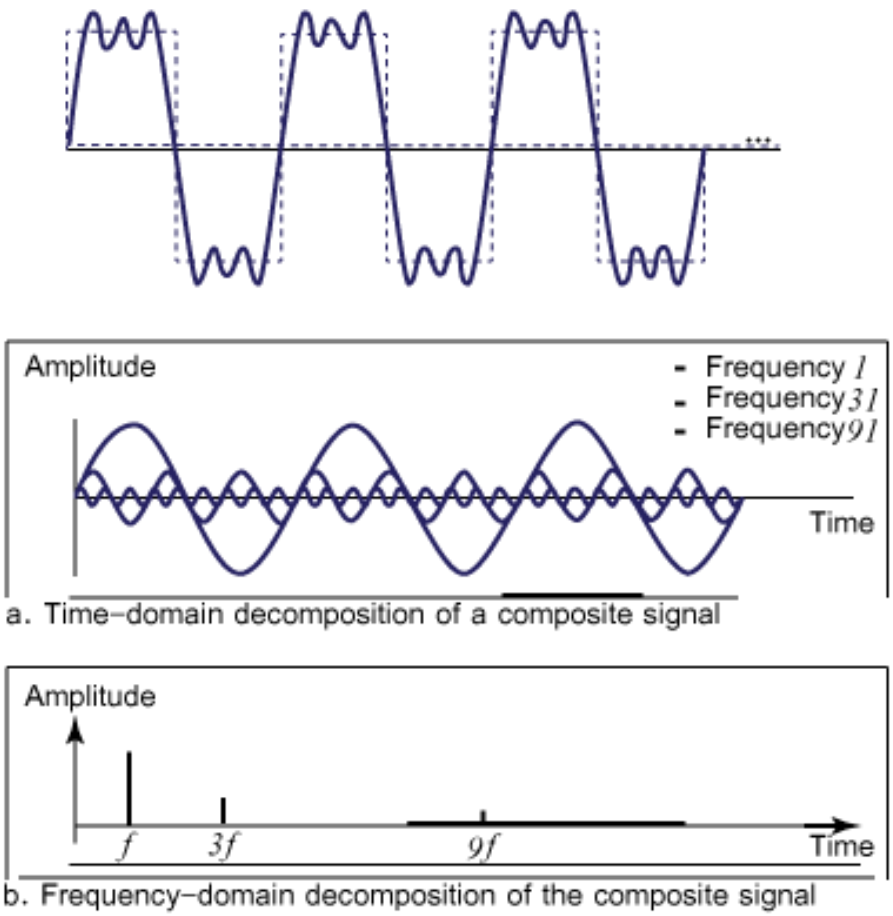
b. The same sine wave in the frequency domain(Peak value: 5 V. Frequency : 6 Hz)

2.2. الإشارات التماثلية المركبة

لا يمكن الاعتماد على الإشارات الجيبية البسيطة لنقل المعطيات، إذ يحتاج نقل المعطيات إلى إيجاد تمثل لتغير القيم، وهو أمر غير ممكن باستخدام الإشارة الجيبية البسيطة. فلو حاولنا إرسال إشارة جيبية على الخط الهاتفي، فكل ما سنسمعه هو صوت أزيز. وبالتالي نحتاج لنقل المعطيات إلى الاعتماد على إشارة مركبة من مجموعة إشارات جيبية.

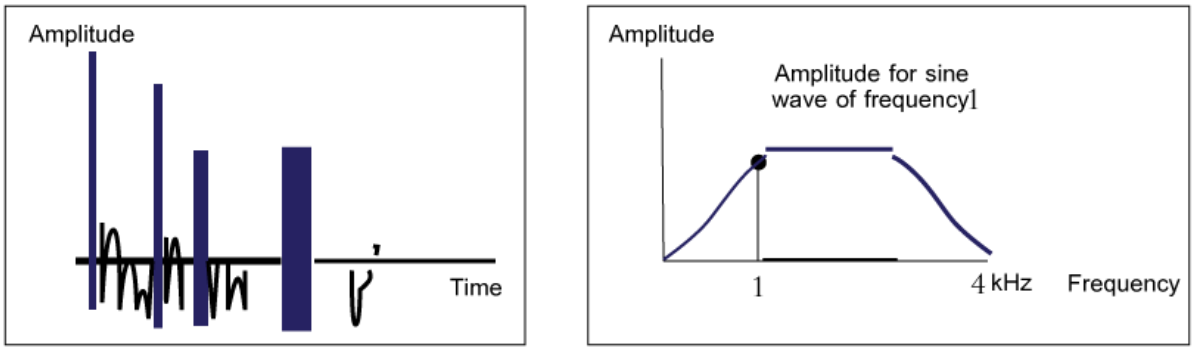
وبناء على نظرية رياضية تعرف باسم تحويل فورييه، فإنه بإمكاننا تحليل أية إشارة إلى عدد من الإشارات الجيبية البسيطة، ويكون لكل منها المطال الأعظمي والتردد والصفحة الخاصة بها. ولا يهمنا في هذه المادة كيف يتم هذا التحليل وإنما تهمنا معرفة أنه ممكن وما هي النتيجة التي سنحصل عليها.

يظهر الشكل (4) إشارة تماثلية دورية مركبة، وكيف تحلل هذه الإشارة نفسها إلى إشارات جيبية تعرض بطريقتين: على شكل تابع للزمن، وعلى شكل تابع للترددات. ونرى بوضوح أن عرض التحليل على شكل تابع للترددات يعبر عن نتيجة التحليل بسهولة أكبر ويتيح استخلاص النتيجة بسرعة.



نلاحظ أن الإشارة الأولى تم تحليلها إلى ثلاثة إشارات، تردد الأولى f والثانية 3f والثالثة 9f. ونلاحظ أن مطال الإشارة التي ترددها f هو تقريباً نفسه مطال الإشارة المركبة، وأن مطال الإشارة التي ترددها 3f هو ثلث مطال الإشارة الأولى، ومطال الإشارة التي ترددها 9f هو تسع مطال الإشارة الأولى. يسمى تردد الإشارة الأولى بالتردد الأساسي أو التوافقي الأول first harmonic. أما الإشارة التي ترددها 3f فتسمى بالتوافقي الثالث، والتي ترددها 9f تسمى بالتوافقي التاسع. وتكون الترددات التوافقية دوماً من **المضاعفات الصحيحة** للتردد الأساسي.

نقبل أيضاً وبدون برهان أن الإشارات التماثلية المركبة غير الدورية يمكن تحليلها إلى عدد لا منته من الإشارات التماثلية الجيبية البسيطة. ويظهر الشكل (5) عملية تحليل إشارة تماثلية غير دورية.



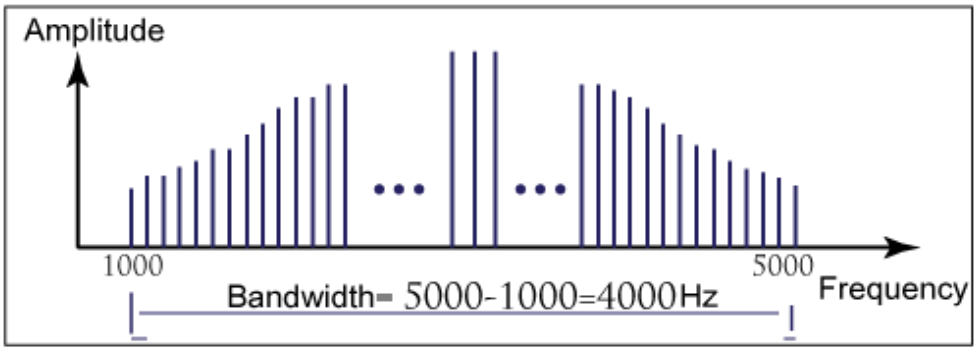
a. Time domain

b. Frequency domain

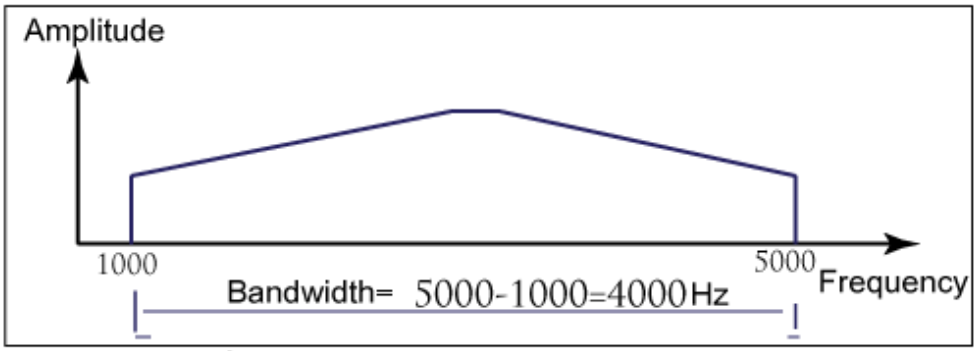
بفرض أن هذه الإشارة تمثل إشارة صوتية بشرية، فإنه من المنطقي ألا تكون دورية لأن ذلك يعني أن الكلام يتكرر باستمرار. ويظهر تحليل الإشارة إلى إشارات بسيطة في الشكل 5-b أن المنحني هو تابع مستمر، وهذا يتوافق مع كون الإشارات الجيبية لا منتهية. ولكن نلاحظ أيضاً أن الترددات محصورة بين قيمتين باعتبار أن الصوت البشري يمكن أن يطلق ترددات تتراوح بين 0 و 4 كيلو هرتز.

ويسمى عرض مجال الترددات الذي تشغله الإشارة **بعرض الحزمة** bandwidth الخاص بالإشارة. أي أنه لو كان لدينا إشارة مركبة ترددتها التوافقية هي بين الـ 1000 والـ 5000 هرتز فإن عرض الحزمة الخاص بالإشارة هو 4000 هرتز.

ويعرض الشكل 6 خلاصة ما سبق،



a. Bandwidth of a periodic signal



b. Bandwidth of a nonperiodic signal

إذ نرى نتيجة تحليل إشارتين تماثليتين مركبتين، الأولى دورية والثانية غير دورية. إن عرض الحزمة المستخدم للإشارتين هو نفسه (بين 1000 و 5000)، والفرق هو في أن الإشارة الدورية تستخدم الترددات الصحيحة من هذا المجال (1000, 1001, 1002,...)، بينما تستخدم الإشارة غير الدورية جميع الترددات.

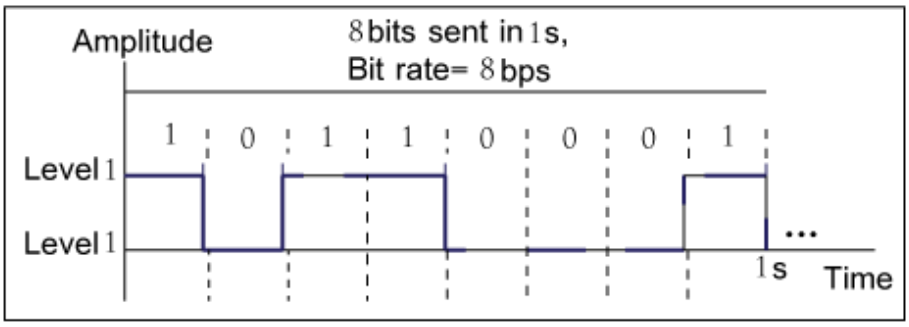
مثال هام على الإشارة المركبة غير الدورية هو الإشارة المستخدمة في البث التلفزيوني التماثلي الأبيض والأسود. إذ تتكون شاشة التلفاز من عدد من النقاط (تعرف أيضاً باسم عنصر pixel) كل منها قيمته بيضاء أو سوداء. ويتم مسح الشاشة 30 مرة في الثانية (يتم المسح 60 مرة في الثانية ولكن بالتناوب بين الأسطر ذات الأرقام المفردة والمزدوجة). إذا افترضنا أن دقة الشاشة هي 525*700 فسيكون لدينا 367500 نقطة في الشاشة، ومع الضرب بمعدل المسح يصبح لدينا 11025000 نقطة في الثانية. وأسوأ الحالات هي تلك التي يتم فيها تبديل اللون بين الأبيض والأسواد مع كل نقطة. في تلك الحالة سيتم تمثيل اللون الأول بالمطال الأدنى واللون الثاني بالمطال الأعظمي. بإمكاننا إرسال نقطتين في كل دورة، أي أننا نحتاج إلى 5512500 دورة في الثانية، وبالتالي فإن عرض الحزمة الذي سنحتاجه هو 5.5124 ميغا هرتز. إن احتمال الحالة الأسوأ شبه معدوم، وتقدر الحاجة الفعلية بـ 70% من هذه القيمة، أي 3.85 ميغا هرتز. وبعد إضافة الإشارات اللازمة لإرسال الصوت وللمزامنة، يصبح عرض الحزمة اللازم لبث محطة تلفزيونية بالأبيض والأسود 4 ميغا هرتز.

تمرين: احسب عرض الحزمة اللازم لبث محطة تلفزيونية تماثلية بالألوان (الجواب هو 6 ميغا هرتز).

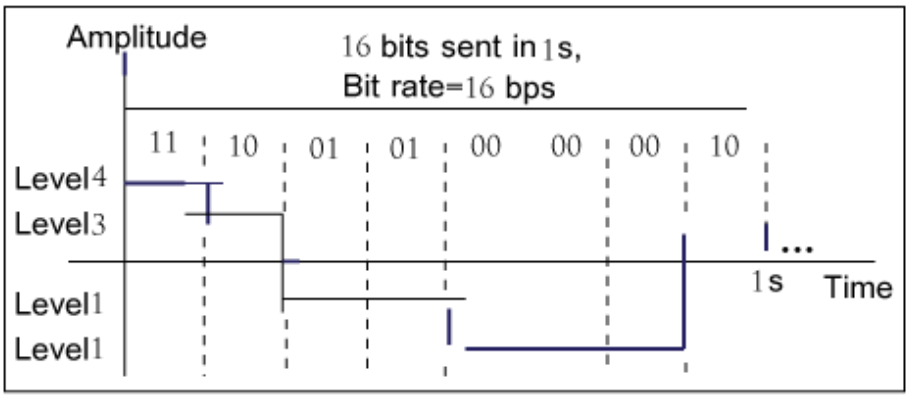
3.2. الإشارات الرقمية

تمثل البيانات الحاسوبية عادة على شكل قيم رقمية هي 0 و 1. ويقابل ذلك ما يعرف باسم الإشارة الرقمية التي لا يكون تابعها مستمراً وإنما متقطعاً. ويمكن على سبيل المثال أن تعتبر قيمة الصفر الرقمي تكافي صفر فولت، وأن قيمة 1 رقمي هي قيمة موجبة ما بالفولط. إن أبسط الحالات هي الإشارة الرقمية من قيمتين، ولكن بالإمكان أن تأخذ الإشارة الرقمية عدة قيم (أو مستويات)، وفي هذه الحالة سيكون بإمكاننا إرسال أكثر من بت مع كل مستوى. ويظهر الشكل 7 إشارتين، إحداهما من مستويين والثانية من أربعة مستويات.

ستحتاج الإشارة الأولى إلى إرسال بت واحدة لكل مستوى، أما الثانية فستحتاج إلى إرسال 2 بت.



a. A digital signal with two levels



b. A digital signal with four levels

1.3.2. معدل البتات

إن أغلب الإشارات الرقمية هي غير دورية، وبالتالي فإنه من غير الممكن أن يكون لها دور أو تردد كما هو الحال في الإشارات الدورية. ويعبر عن سرعة تغير الإشارات الرقمية بمعدل البتات Bit rate، وهو عدد البتات المرسلة في الثانية، وهذه القيمة معروضة في الشكل 7 للإشارتين.

مثال(1): نريد تحميل ملف نصي بمعدل 100 صفحة في الدقيقة، ما هو معدل البتات المطلوب لتحقيق ذلك باعتبار أن الصفحة تتضمن 24 سطراً و 80 عموداً؟

الجواب: إذا افترضنا أن الحرف الواحد يتضمن 8 بت، فإن عد البتات هو:

24*80*8*60/100 = 25600 بت/ثا (أو 25.6 كيلوبت/ثا).

مثال(2): تشغل الإشارة الصوتية البشرية عرض حزمة هو 4 كيلو هرتز كما سبق وعرضنا. ونريد تحويلها إلى إشارة رقمية عن طريق أخذ عينة بتردد هو ضعف أعلى تردد للإشارة (أي عينتين من كل هرتز)، ونفترض أن قيمة كل عينة تحتاج إلى 8 بت، فإن معدل البتات المطلوب هو:

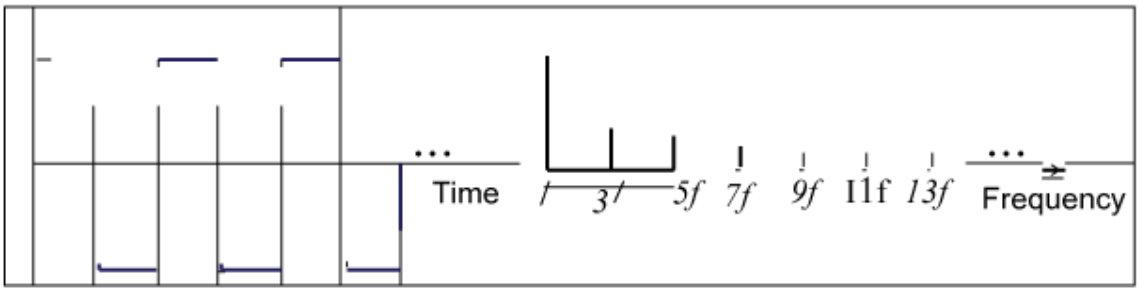
8*400*2 = 64000 بت/ثا أو 64 كيلوبت/ثا.

(ملاحظة هامة: هذه السعة هي المستخدمة عادة في الشبكات الهاتفية التقليدية، إذ تحجز قناة سعتها 64 كيلو بت/ثا لكل مكالمة هاتفية).

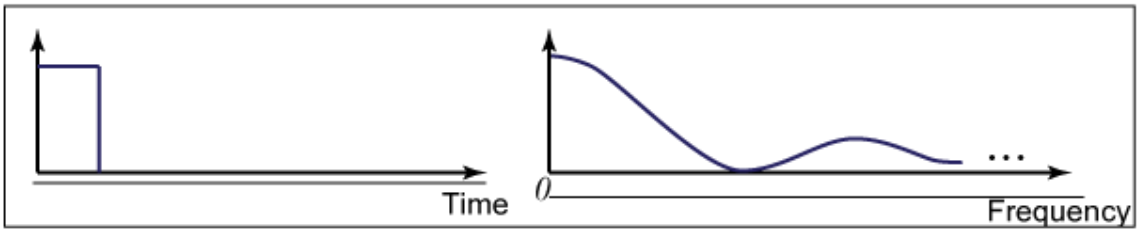
تمرين: احسب معدل البتات المطلوب لنقل إشارة تلفزيونية ملونة بدقة عالية مع العلم بأن: دقة الشاشة هي 1920*1080 وأن كل نقطة ملونة تمثل بـ 24 بت، وأن الشاشة يتم مسحها 30 مرة في الثانية.

2.3.2. الإشارة الرقمية كإشارة تماثلية مركبة

بإمكاننا معاملة الإشارة الرقمية على أنها إشارة تماثلية مركبة استناداً إلى تحويل فورييه. ونقبل أن عرض الحزمة في هذه الحالة سيكون لا منتهياً (السبب الرئيسي هو وجود تغيرات سريعة جداً في القيم). وباعتبار أن أغلب الإشارات الرقمية غير دورية، فسيكون منحني تمثيل الإشارة في نطاق الترددات مستمراً.



a. Time and frequency domains of periodic digital signal



b.Time and frequency domains of nonperiodic digital signal

ويعرض الشكل 8 مثالاً عن إشارات رقمية وتحليلها، ونرى أن منحني الإشارة كتابع للطيف يكون متقطعاً في حالة الإشارة الدورية ومستمراً في حالة الإشارة غير الدورية، وأن مجال الترددات المستخدم هو غير محدود (وبالتالي لا منتهي) في الحالتين.

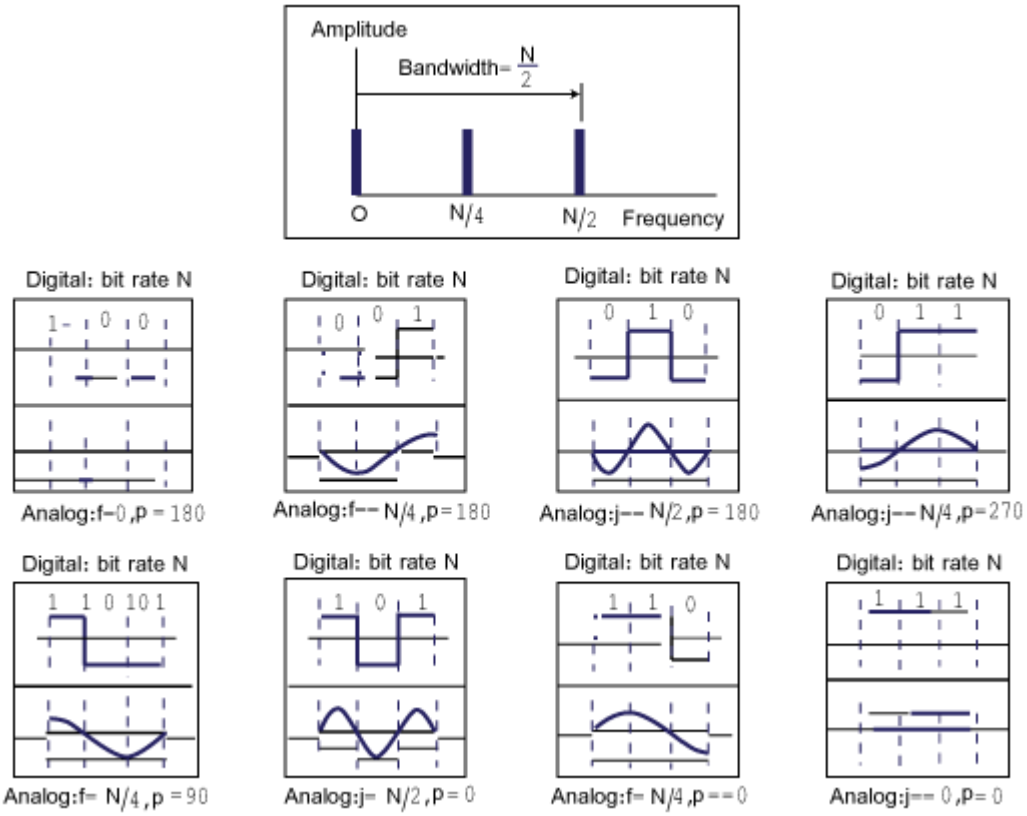
3.3.2. نقل الإشارة الرقمية

بعد أن استخلصنا من النقاش السابق أن الإشارة الرقمية هي عبارة عن إشارة تماثلية مركبة من ترددات تتراوح قيمها بين الصفر واللانهاية، سنركز على حالة الإشارة الرقمية غير الدورية وهي الحالة التي تصادفنا في نقل البيانات. وسنقتصر في دراستنا على الحالة يكون الوسط الناقل بأكمله متاحاً لنقل الإشارة (مثال: في حالة شبكة من النوع النجمي فإن الكبل الواصل بين الجهاز الحاسوبي والمجمع أو المبدلة هو دوماً متاح) والتي تعرف باسم طريقة النقل باستخدام الحزمة القاعدية baseband.

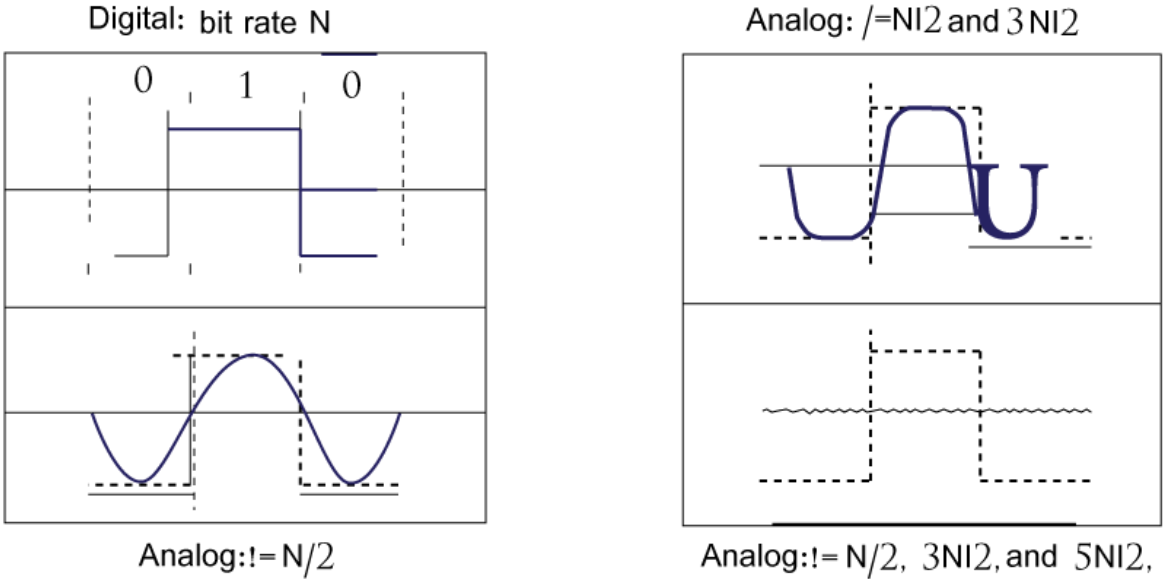
في الحالة المثالية فإن جميع الإشارات الجيبية المكونة للإشارة الرقمية بإمكانها عبور الوسط الناقل، ولكن هذه الحالة غير موجودة على أرض الواقع. فهناك إشارات جيبية لن تتمكن من العبور بسبب التخامد الذي تتعرض له من الوسط الناقل، والذي يتزايد مع ارتفاع تردد الإشارة. وبالتالي فإن الوسط الناقل هنا سيتصرف وكأنه مرشح (فلتر) يسمح بمرور الترددات المنخفضة التي هي أقل من تردد ما (low pass filter).

وبالتالي فإن الإشارة التي ستنقل هي إشارة تقريبية مشابهة إلى حد ما للإشارة الأساسية، والمطلوب هو أن تكون مشابهة بما يكفي ليعاد بناء إشارة رقمية مطابقة عند الاستقبال.

نفترض ان لدينا إشارة رقمية بمعدل بتات هو N. إن أكثر الإشارات تغيراً هي تلك التي تتكون من سلسلة من البتات المتناوبة (0101010101010101)، ونحتاج لتمثيلها إلى إشارة تماثلية ترددها f. وإذا افترضنا أننا نريد إرسال 2 بت مع كل دور للإشارة، فإن تردد الإشارة الجيبية هو نصف معدل البتات، أو N/2. ولكن هذا لا يكفي لتمثيل جميع الحالات.



يعرض الشكل 9 عملية محاكاة إشارة رقمية من 3 بتات باستخدام الإشارات التماثلية، حيث تتم محاكاة القيمتين 000 و 111 عن طريق إشارة ترددها 0 ولها طور 180 درجة للقيمة 000 وطورها 000 للقيمة 111. أما أسوأ حالتين (010 و 101) فتمثلان عن طريق إشارة ترددها N/2 وطورها 180 درجة و 0 درجة على التوالي. وتتم محاكات الحالات الأربعة الأخرى عن طريق إشارة تماثلية ترددها N/4 والأطوار 180, 270، 90، 0 درجة على التوالي. وبالتالي نحتاج إلى وسط ناقل بإمكانه إرسال الترددات 0، N/4 و N/2.



يعرض الشكل 10 أثر إضافة المزيد من الإشارات الجيبية ذات الترددات التوافقية إلى الإشارة التي تمثل أسوأ الحالات 010، وكيف أنه بإمكاننا عن طريق ذلك أن نرفع من عرض الحزمة إذا استخدمانا الترددات 3N/2, 5N/2. 7N/2.

ويعرض الجدول التالي عرض الحزمة اللازم لإرسال البيانات بمعدل بتات أعلى (أي بسرعة أكبر) والذي يزداد مع عدد الترددات التوافقية المستخدم

معدل البتات	الترددات التوافقية = 1	الترددات التوافقية = 1 و 3	الترددات التوافقية = 1 و 3 و 5
1 كيلوبت/ثا	500 هرتز	1.5 كيلو هرتز	2.5 كيلو هرتز
10 كيلوبت/ثا	5 كيلو هرتز	15 كيلو هرتز	25 كيلو هرتز
100 كيلوبت/ثا	50 كيلو هرتز	150 كيلو هرتز	250 كيلو هرتز

تمرين: إذا كانت لدينا قناه اتصال تتيح عرض حزمة هو 100 كيلو هرتز، فما هو معدل البتات الأقصى الذي يمكن نقله عبر هذه القناة؟

4.2. مشكلات نقل البيانات

تتعرض البيانات (أو الإشارات) أثناء نقلها إلى ثلاث مشكلات رئيسية:

1. التخامد attenuation، وهو ناتج عن فقدان الإشارة لجزء من الطاقة المرتبطة بها نتيجة تعرضها لمقاومة الوسط الناقل أثناء العبور، وتتعرض الإشارات ذات التردد الأعلى لتخامد أكبر. ويتم حل هذه المشكلة عادة عن طريق استخدام مضخمات amplifiers بعد مسافة معينة.
2. التشوه distortion، ينتج التشوه عن تغير الإشارات الجيبية بين الإرسال والاستقبال. إذ تنتقل هذه الإشارات بسرعة مختلفة عبر الوسط الناقل، وبالتالي لاتصل بنفس الوقت إلى الوجهة، وينتج عن ذلك فرق في الصفحة بين الإشارات لدى الوصول. وبالتالي ستختلف الإشارة التي يعاد تركيبها عن الإشارة الأصلية المرسلة.
3. الضجيج noise، وهو من أهم المشكلات التي تعاني منها الإشارات اثناء الإرسال. وله مصادر متعددة، منها الضجيج الكهرطيسي الناتج عن وجود تيار كهربائي قريب، ومنه الضجيج الناتج عن التجهيزات الكهربائية المختلفة التي يمكن أنن تتحول إلى هوائيات تبث إشارات (مثال: أفران المايكروويف، يمكن أن تبث إشارات تتعارض مع عمل الشبكات اللاسلكية wifi)، ومنه الضجيج الناتج عن تشويش الأسلاك على بعضها البعض crosstalk إذ يقوم السلك بدور الهوائي ويرسل إشارة تشكل ضجيجاً على الأسلاك المجاورة.

3. الوسط الناقل

يخضع اختيار الوسط الناقل إلى العديد من العوامل: عرض الحزمة، الكلفة، قابلية التنقل، سهولة التركيب والصيانة.

تقسم الأوساط الناقلة إلى نوعين، الأوساط المقادة guided والأوساط غير المقادة unguided.

ومن أهم أمثال الأوساط المقادة:

- الكبال النحاسية المزدوجة المجدولة: وهي ذات تكلفة منخفضة وبإمكانها أن تصل إلى سرعات عالية من مرتبة غيغابت/ثا. مشكلتها الأساسية في ضعف حمايتها من الضجيج وتعرضها للتخامد السريع، وبالتالي هي لا تعمل إلا على مسافات قصيرة.
- الكبال النحاسية المحورية: وهي تسمح بسرعات عالية من مرتبة 1–2 غيغابت/ثا، وتتمتع بحماية جيدة ضد الضجيج، وهي مستخدمة لدى شبكات نقل التلفزيون بالكابل وفي بناء شبكات المدن.
- كبال الألياف الضوئية: وهي تتيح سعات هائلة وبإمكانها أن تمتد لمسافات بعيدة، وهي منيعة ضد التداخل والضجيج الكهرطيسي.

أما الأوساط غير المقادة unguided فهي بشكل رئيسي أوساط البث اللاسلكي حيث لا يمكن التحكم بمسار الإشارة.

ويظهر الجدول التالي المحددات الأساسية لعدد من الكبال المستخدمة:

	الأسلاك النحاسية المجدولة	الكبال المحورية	الألياف الضوئية
الكلفة	منخفضة للكبال غير المصفحة، ومرتفعة للكبال المصفحة	متوسطة	مرتفعة
الطول الأعظمي للكبل	100 متر	150 متر	عدة كيلومترات
العزل عن الحقول الكهرطيسية	منخفض في الكبال غير المصفحة، ومرتفع للكبال المصفحة	متوسط	مرتفع جداً
الوثوقية	جيدة	جيدة	ممتازة
سرعة نقل البيانات	10 غيغابت/ثا	10 ميغابت/ثا	40 غيغابت/ثا

نلاحظ أن الأسلاك النحاسية المجدولة تتمتع بكلفة منخفضة وهذا أحد أهم أسباب استخدامها في بناء الشبكات المحلية بكثافة. ولكن تبقى مشكلة تعرضها للضجيج الناتج عن الحقول الكهرطيسية وأثر ذلك على البيانات. وباعتبار أن تصفيح تلك الكبال تنتج عنه تكاليف مرتفعة، هناك حاجة لإيجاد حل آخر لتلك المشكلة. وتم اعتماد الحل التالي:

إذا افترضنا أننا نستخدم سلكاً واحداً لنقل البيانات بين مرسل ومستقبل ونرسل إشارة قيمتها x، وتتعرض هذه الإشارة لضجيج مقداره Dx. أي أن الإشارة التي ستصل هي x+Dx.

إذا استخدمنا سلكاً آخر، مع السلك الأول، وأرسلنا الإشارة العكسية x−، فستصلنا إشارة هي x+Dx−. افترضنا أن الضجيج نفسه وسنبرر ذلك لاحقاً.

يمكن إذا إلغاء الضجيج عن طريق طرح القيمة الثانية من القيمة الأولى وتقسيم الناتج على 2، وسنحصل على x.

الخلاصة: يمكن استخدام كبال نحاسية غير مصفحة لنقل البيانات بوثوقية مع معالجة جيدة للتشوهات الناتجة عن الضجيج في حال:

- استخدام عدد مضاعف من الأسلاك ضمن الكبل (أي لنقل البيانات بالاتجاهين نحتاج إلى أربعة أسلاك من أصل ثمانية متاحة ضمن الكبل).
- ضمان ثبات الضجيج، ولهذا السبب يتم جدل الأسلاك بحيث تكون متلاصقة ببعضها البعض، وبالتالي يكون تأثير الضجيج على السلك الأول مطابقاً لتأثيره على السلك الثاني. وكلما ازداد معدل الجدل كلما كانت هذه القاعدة صحيحة أكثر وكان من الممكن إرسال بيانات بسرعة أعلى.

4. بنيان الشبكات

سنركز في هذا المقطع على كيفية بناء الشبكات المحلية والوصلات المرتبطة بها.

1.4. مبادئ الوصل الشبكي

يجب على أية منهجية لتصميم ووصل الشبكات أن تحقق المتطلبات التالية:

- توفر الأداء الأمثل ونوعية الخدمة الأفضل
- أن تكون كلف التركيب والتشغيل والصيانة مناسبة
- التوافق مع المواصفات القياسية الدولية
- سهولة الاستثمار والتشغيل
- اعتماد طوبولوجيا تسهل توسع الشبكة
- احترام القواعد المتعلقة بحدود التقانة المستخدمة (عدم تجاوز أطوال الكبال مثلاً)

أخذت هذه المتطلبات بعين الاعتبار عند تصميم منهجية التسليك الهيكلي structured wiring، وهي المنهجية المتبعة عادة في تصميم ووصل الشبكات ضمن الأبنية. تتوافق هذه المنهجية مع المواصفة القياسية ISO11801 والتي تعتمد على البنيان الهرمي النجمي، حيث يتم تمديد الأسلاك ضمن الأبنية على مستويين: أفقي وعمودي.

2.4. مستوى الوصل الأفقي

يتم في هذا المستوى وصل مكونات الشبكة الخاصة بطابق واحد (نسميها أيضاً بالشبكة الطابقية)، وتشمل هذه العملية تركيب مآخذ الوصل في المكاتب، ولوحات التوزيع الفرعية والعناصر الفعالة في الخزانة المخصصة لهذا الغرض، والأسلاك الواصلة بين مآخذ الوصل والعناصر الفعالة المتوضعة في الخزانة.

وتقسم المكونات الشبكية التي يتم تركيبها في هذا المستوى إلى قسمين:

- مكونات فعالة: وهي التجهيزات التي تتوضع في قلب الشبكة النجمية الطابقية. ويتم تبادل البيانات بين بوابات هذه التجهيزات وبوابات الأجهزة الحاسوبية المتصلة بالشبكة عن طريق المآخذ الجدارية. وتتوضع هذه التجهيزات (مجمعات أو مبدلات) ضمن خزانة أو عدة خزن خاصة في كل طابق، ويجب أن يراعي توضع الخزائن المسافة الحدية المسموحة بين مآخذ الوصل وتجهيزات المكونات الفعالة.
- مكونات غير فعالة: ويقصد بها عادة المكونات التي لا تحتاج إلى تغذية كهربائية. وهي تشمل العناصر التالية:

1. المآخذ الجدارية: وهي العناصر التي تتوضع في نهاية الأسلاك القادمة من المجمعات وتتصل بها التجهيزات الحاسوبية. وتعتبر المآخذ من النوع RJ45 الأكثر شيوعاً في هذا النوع من الشبكات، وذلك نظراً لتوافقها مع الأسلاك النحاسية المجدولة وسهولة تركيبها.

2. كبال الوصل: وهي الكبال التي تصل بين المآخذ الجدارية المجمعات من جهة، وبين المآخذ الجدارية من جهة أخرى. وتستخدم عادة في الشبكات المحلية الكبال ذات الأسلاك النحاسية المجدولة غير المصفحة، وهي تسمح بتمرير البيانات بسرعة عالية تحقق متطلبات المستخدمين. وتفضل الكبال النحاسية على الألياف الضوئية في هذه المرحلة من الوصل بسبب المرونة العالية التي تتمتع بها الكبال النحاسية وقدرتها على الانحناء والثني بدون أن يؤثر ذلك على خصائصها، إذ لا يمكن أن يثنى كبل يحتوى على ألياف ضوئية بزاوية 90 درجة، وهو أمر يتطلبه تمديد الكبال.

ولزيادة مرونة الوصل، وتمكين الجهة المشغلة من تبديل وصل المآخذ الجدارية بسهولة (في حال تعطل البوابة مثلاً) توضع لوحة توزيع patch panel بجانب كل مجمع. ويتم الوصل على ثلاث خطوات بالشكل التالي:

- وصلة أولى بين الجهاز والمأخذ الجداري، ويستخدم عادة لهذا الغرض كبل بطول قياسي هو 3 أو 5 أمتار.
- الوصلة التالية هي بين المأخذ الجداري ولوحة التوزيع، وتتصل المآخذ الجدارية مع الطرف الأول للوحة التوزيع عن طريق كبال مارة ضمن مجاري بلاستيكية جدارية أو محمولة على سكك معدنية.
- الوصلة الأخيرة هي بين لوحة التوزيع والمجمع. حيث يتم وصل بوابة المجمع مع الطرف الثاني للوحة التوزيع مباشرة، وهي عملية بسيطة نظراً لكونهما متوضعان في نفس المكان. وتستخدم لهذا الغرض كبال قياسية تسمى كابلات التوزيع patch cords وبطول 1 متر.

تكون الكبال المستخدمة في هذا الوصل عادة من نوع الكبال المزدوجة المجدولة غير المصفحة، ويراعي في كل عملية الوصل أن لا يتجاوز الطول الكلي للكبل بين بوابة المجمع وجهاز المستخدم الطول الأقصى المقبول للكبل (وهو 100 متر في حالة هذا النوع من الكبال).

3.4. مستوى الوصل العمودي

يهدف الوصل العمودي إلى تأمين الوصل بين الشبكات الأفقية المختلفة.

يتصل كل مجمع بالمجمع المركزي باستخدام كبل ذي سعة عالية، ويتم الاتصال باستخدام بوابات مخصصة لهذا الغرض في المجمع. إذ توجد عادة في كل مجمع أو مبدلة بوابات (عادة اثنتان، بغرض الوصل المضاعف) مخصصة للوصل العمودي uplink، وتكون ذات سرعة أعلى من البوابات الأخرى التي تخصص لوصل التجهيزات (مثال: سرعة البوابة العادية هي 100 ميغابت في الثانية، أما سرعة بوابة الوصل العمودي فيه 1 غيغابت في الثانية).

الفصل الثالث
الابتدال

عنوان الموضوع:

الابتدال SWITCHING

الكلمات المفتاحية:

العنونة الفيزيائية، التصادم، شبكة إثرنت، MAC، LLC، مجمع، جسر، بدال، الشبكات المحلية الافتراضية.

ملخص:

يتعرف الطالب في هذا الفصل على عملية الابتدال في الطبقة الثانية من نموذج OSI، ويتعرف على مهمتها الأساسية وهي تمكين المأخذ الشبكي للجهاز من تبادل البيانات مع المأخذ الشبكي لجهاز آخر من نفس الشبكة الفيزيائية.

أهداف تعليمية:

يتعرف الطالب في هذا الفصل على:

- طبقة الابتدال وطبقاتها الجزئية
- آليات إدارة النفاذ إلى الوسط الناقل للشبكة
- العنونة الفيزيائية
- الجسور والبدالات.
- الشبكات المحلية الافتراضية.

المخطط:

3 فقرات عناوينها كما يلي:

- **مقدمة عن عمل الطبقة الثانية**
- **التطور التاريخي للطبقة الثانية وتجهيزاتها**
- **وظائف الجسور والبدالات**

مقدمة

تتم عملية الابتدال في الطبقة الثانية من نموذج OSI، ومهمتها الأساسية كما أسلفنا في الفصل الأول هي تمكين المأخذ الشبكي للجهاز من تبادل البيانات مع المأخذ الشبكي لجهاز آخر من نفس الشبكة الفيزيائية.

1. الخدمات والطبقات الجزئية في الطبقة الثانية :

1.1. خدمات الطبقة الثانية : تقدم الطبقة الثانية الخدمات الرئيسية التالية:

1. إدارة وحدات البيانات
2. العنونة الفيزيائية
3. إدارة عملية نقل البيانات
4. إدارة النفاذ إلى الوسط الناقل للشبكة
5. معالجة أخطاء النقل

وتختلف الشبكات عن بعضها البعض بالخوارزميات والبروتوكولات التي تطبقها للقيام بالعمليات المذكورة أعلاه، ومن أشهر الشبكات المستخدمة في الطبقة الثانية شبكات FDDI و Token Ring و Ethernet.1

1.1.1. إدارة وحدات البيانات

تقوم الطبقة الثانية بإضافة الترويسة الخاصة بها إلى الوحدات الواردة من شبكة الشبكة وإرسالها إلى الطبقة الفيزيائية. كما تستقبل سلاسل البتات "الخام" الواردة إليها من الطبقة الفيزيائية، وتقوم بتقطيعها إلى وحدات وإرسالها إلى الطبقة الأعلى. ويظهر الشكل1 مثالاً عن وحدات البيانات المستخدمة في شبكة إثرنت والتي تعرف باسم الإطار Frame.

ومن أهم القضايا المطروحة في موضوع تقطيع البيانات طريقة تحديد حجم الوحدات الناتجة.

الشكل (1) وحدة البيانات المستخدمة في شبكة إثرنت

[1]استحوذ هذا النوع من الشبكات خلال العقد الأخير على معظم الحصة السوقية للشبكات المحلية حتى بات من الصعب العثور على أنواع أخرى من الشبكات، وسيستخدم كوسيلة إيضاح في معظم أجزاء هذا الفصل.

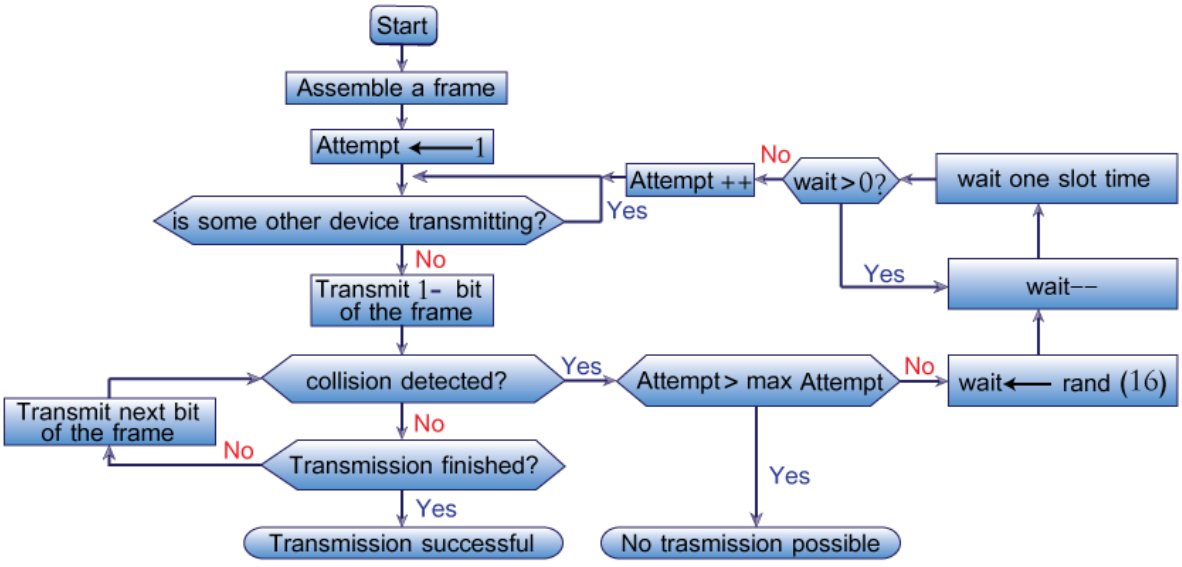
2.1.1. إدارة النفاذ إلى الوسط الناقل للشبكة

في كثير من الأحيان يكون الوسط الناقل مشتركاً بين عدة أجهزة، وبالتالي يمكن أن يحدث هناك تصادم عند إرسال البيانات. ولمعالجة هذه المشكلة هناك طريقتان للحل:

- عدم السماح بحصول تصادمات عن طريق إدارة الوسط الناقل المشترك، كما في خوارزمية إدارة النرد التي تستخدمها شبكة Token Ring.
- ترك التصادمات تحدث مع محاولة اكتشافها وتلافيها، ومن أهم الأمثلة عن هذه الطريقة خوارزمية CSMA التي تستخدمها شبكة إيثرنت، وسنورد في المثال الاتي شرحاً توضيحيا لهذه الخوارزمية

تستخدم هذه الخوارزمية بشكل رئيسي في الشبكات المحلية من نوع إيثرنت. وهي مبنية على استخدام آلية للتحسس بماينقل على الوسط الناقل (كبل محوري أو كبل نحاسي مجدول من نوع UTP) بهدف السماح للجهاز المرسل باكتشاف وجود إشارات أخرى على الوسط الناقل في الوقت الذي تقوم به بإرسال البيانات الخاصة بها، وفي حال اكتشاف تصادم تقوم بإيقاف إرسال البيانات، وإرسال إشارة إعاقة، ومن ثم الانتظار لمدة عشوائية قبل محاولة إعادة الكرة.

ويعرض الشكل (2) مخطط لآلية عمل هذه الخوارزمية:



ويمكن تلخيص خطوات هذه الخوارزمية على الشكل التالي:

1. هل الإطار جاهز للإرسال ؟ في حال الإيجاب يجب الانتقال للخطوة التالية
2. هل الناقل (كبل الشبكة) خامل لا يعمل ؟ في حال النفي يجب الانتظار حتى يصبح جاهزاً
3. يبدأ المرسل في نقل البيانات ومراقبة حصول تصادم للبيانات المرسلة مع تلك التي يمكن أن يرسلها جهاز آخر على نفس الناقل.
4. في حال حصول تصادم ناتج عن محاولة جهاز آخر إرسال بيانات في الوقت نفسه، يجب تطبيق إجرائية معالجة التصادم.
5. الانتهاء من الإرسال بنجاح.

وتعمل إجرائية معالجة التصادم التي تطبق عند اكتشاف حصول تصادم كما يلي:

1. متابعة الإرسال ولكن مع إرسال إشارة إعاقة jam signal عوضاً عن محتوى الإطار الأساسي، وذلك حتى انقضاء الوقت الكافي للتأكد من أن جميع المستقبلين قد اكتشفوا التصادم
2. إضافة 1 إلى عداد المحاولات (القيمة الابتدائية 1)
3. في حال وصول قيمة العداد إلى الحد الأقصى للمحاولات، يتم التوقف عن المحاولة وإلغاء عملية الإرسال
4. الانتظار لفترة عشوائية محسوبة بناء على عدد التصادمات، وتكون الفترة من مرتبة الميلي ثانية.
5. العودة إلى بداية إجرائية الإرسال.

أما اكتشاف التصادم فهو عادة يتعلق بنوع الكبل المستخدم، ولكن في حالة الكبل المحوري وشبكة 10Base2 فإن اكتشاف التصادم يتم عن طريق مقارنة الإشارة التي تتم قراءتها على الكبل مع القيمة التي تم إرسالها، أو عن طريق ملاحظة إشارة قيمتها أعلى من القيم الطبيعية على الكبل

3.1.1. العنونة الفيزيائية

باعتبار أن هناك عمليات إرسال واستقبال ستتم وأن هناك طرف مرسل وطرف مستقبل، فإن هناك حاجة لوجود عنوان يسمح بالتمييز بين الأجهزة المختلفة، ويعطى العنوان عادة لبطاقة الشبكة الموجودة على الجهاز، أي أنه في حال وجود عدة بطاقات ستكون لدينا عدة عناوين مختلفة. ويرتبط العنوان ارتباطاً وثيقاً بطبيعة الشبكة المستخدمة ولذلك يعرف باسم العنوان الفيزيائي Physical Address، ويعرف أيضاً باسم MAC address، نسبة للطبقة الجزئية التي تستخدمه.

إن عنوان Ethernet مرمز على ستة بايتات أو ثمانيات Bytes، وينقسم هذا العنوان إلى قسمين:

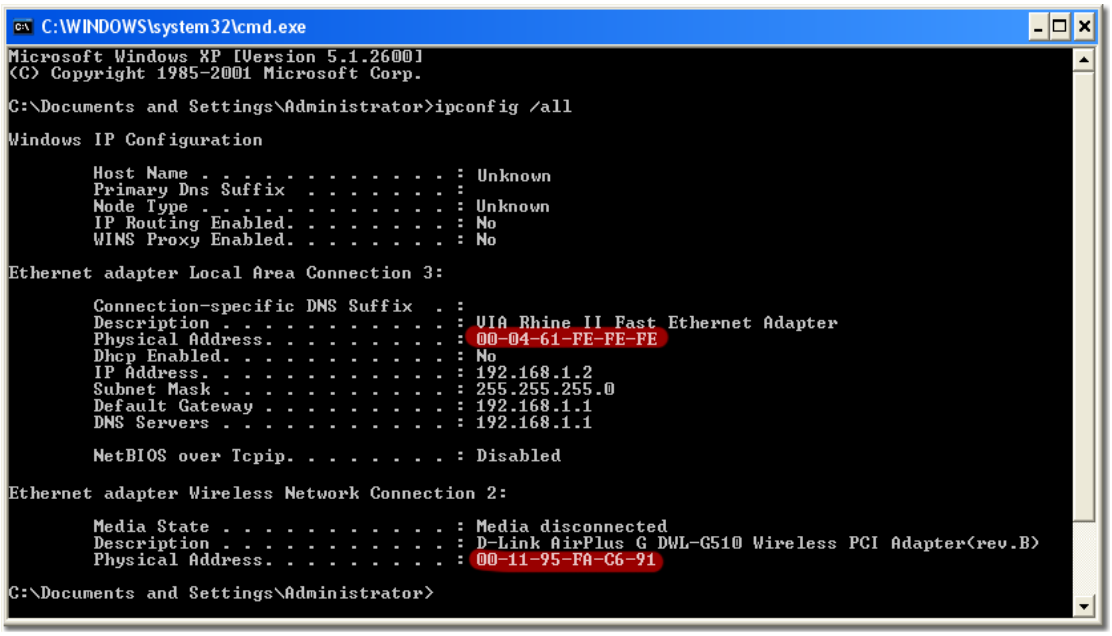
1. البايتات الثلاث الأولى (من اليسار) هي عبارة عن رمز خاص بمصنع البطاقة، وهو رقم يتم تخصيصه من قبل هيئة IANA. ويمكن الاطلاع على قائمة الرموز والمصنعين على الرابط التالي:

http://www.iana.org/assignements/ethernet-numbers

مثال: خصص لشركة IBM العديد من الرموز، ومنها: 00:02:55، 00:04:AC، 00:06:29، 00:09:6B، 00:0D:60، 00:10:D9، والعديد غيرها.

2. البايتات الثلاث اللاحقة هي رقم تسلسلي وحيد يقوم المصنع بإسناده إلى البطاقة.

لرؤية عنوان الشبكة الفيزيائي الخاص بالجهاز هناك عدة طرق، أسهلها هو فتح نافذة الأوامر النصية CMD، وطلب الأمر التالي: ipconfig /all، وسوف يعرض جميع بطاقات الشبكة الموجودة على الجهاز مع كافة المعلومات الخاصة بها ومنها العنوان الفيزيائي، كما يظهر الشكل 3 أدناه:



الشكل 3 طريقة إظهار العناوين الفيزيائية لبطاقات الشبكات على جهاز حاسوبي يعمل بنظام windows

إن الهدف من هذه الطريقة في تصميم العنوان هو ضمان استحالة حدوث تضارب في العناوين بين أي بطاقتين شبكيتين على نفس الشبكة. إذ يبلغ عدد الرموز المتاحة للمصنعين أكثر من 16 مليوناً، وبإمكان كل مصنع أن ينتج 16 مليون بطاقة، كما أن بإمكان الشركات المصنعة الكبيرة أن تحجز عدة رموز لها. ويسمح هذا التصميم بضمان عدم وجود أي تضارب بين أي بطاقتين شبكيتين مستخدمتين مهما كان مصدرهما. ومع ذلك فهناك عدة تجاوزات لتلك القاعدة كما هو مبين في الامثلة الاتية :

1. قامت إحدى الشركات بإعطاء نفس الرقم التسلسلي لبطاقات مختلفة تستخدم تقانات مختلفة للربط الفيزيائي انطلاقاً من مبدأ تجانس الشبكات وأنه من غير المتوقع أن يكون هناك جهازان يحملان هذه البطاقة يعملان على نفس الشبكة باعتبار أن الاتصال الفيزيائي لكل منهما مختلف عن الآخر. ولكن حصلت بالفعل حالات أدت إلى حصول تضارب في العناوين، وخاصة في الشبكات التي كانت تمر بمرحلة انتقال تكنولوجي وتتعايش فيها عدة أنواع من الاتصال الفيزيائي، وهو أمر كان شائعاً في نهاية التسعينيات وبداية القرن الحالي. ولم يكن هذا مفهوماً لدى مدير النظام الذي حاول حل المشكلة لأنه لم يكن أصلاً متوقعاً.
2. تتيح العديد من البطاقات الشبكية للمستخدمين العبث بالعنوان الفيزيائي وإعادة برمجته، وخاصة بطاقات الشبكة اللاسلكية.
3. قامت إحدى الشركات البريطانية بجمع معلومات العناوين الفيزيائية للأجهزة الموجودة في أماكن محددة من مدينة لندن في عام 2014 (لمزيد من المعلومات انظر الرابط: http://www.bbc.com/news/technology-23665490). وقد أثار ذلك حفيظة العديد من الجمعيات المهتمة بأمور الخصوصية والتي اعتبرته شكلاً من أشكال التتبع غير المقبول. وقد أعلنت شركة آبل أن نظام IOS 8.0 سيستخدم عنواناً مولداً بشكل عشوائي عند قيامه بالبحث عن الشبكات اللاسلكية المحيطة تفادياً لهذا النوع من جمع المعلومات وحماية لخصوصية مستخدميه.

4.1.1. إدارة عملية نقل البيانات

يقصد بذلك إدارة عملية نقل البيانات بين المرسل والمستقبل، وهي عملية تختلف جذرياً بحسب نوع الشبكة وبحسب التجهيزات المستخدمة.

تعتمد شبكة إثرنت الخطية على مبدأ البث broadcast، إذ أن بإمكان جميع الأجهزة المتصلة مع الوسط الناقل المشترك أن ترى البيانات المرسلة، وذلك بسبب الطبيعة الفيزيائية للشبكة التي تستخدم كبلاً محورياً.

يقوم المرسل بتحديد عنوان المستقبل في المكان المخصص له ضمن الإطار كما يظهر الشكل (1)، ويمكن أن يكون الإرسال لجميع الأجهزة المتصلة على الشبكة إذا كان عنوان المستقبل هو القيمة الخاصة التالية:

FF:FF:FF: FF:FF: FF

تقوم جميع الأجهزة المتصلة على الشبكة بمراقبة وحدات البيانات المنقولة على الكبل باستمرار، فإذا وجد الجهاز أن عنوان المستقبل مطابق لعنوانه اعتبر أن الإطار موجه له وقام باستقباله وتطبيق المعالجات اللازمة عليه.

ونلاحظ أنه بإمكان الجهاز قراءة الإطار حتى لو لم يكن موجهاً له ودون أن يشعر أحد بذلك باعتبار أن الوسط الناقل مشترك بين جميع الأجهزة وأن عملية القراءة لا تترافق بإرسال أية بيانات.

5.1.1. معالجة أخطاء النقل

تتعرض البيانات لكثير من الأخطاء أثناء نقلها، ترتبط أغلبها بالتشويش الذي يمكن أن يتعرض له الوسط الناقل، أو بعدم مطابقة الوسط الناقل للمواصفات المطلوبة، وبالتالي يمكن أن يكون هناك فارق بين البيانات المرسلة والبيانات المستقبلة.

تعتمد معالجة أخطاء النقل عادة على صيغ رياضية تسمح باكتشاف وتصحيح الأخطاء بحسب درجة تعقيدها، وينتج عن تلك المعالجة زيادة في حجم البيانات تتناسب مع مدى تطور المعالجة المطلوبة. ومع تطور الشبكات وازدياد وثوقية الشبكة الفيزيائية إلى حد كبير قلت الأخطاء، وخاصة في الشبكات المحلية حيث أصبحت نادرة. وبالتالي لم يعد من المجدي فرض زيادة ملموسة في حجم البيانات بغرض تصحيح الأخطاء، لأن هذه الزيادة ستستهلك من عرض الحزمة المتاح دون أن تكون لها فائدة فعلية كبيرة.

التوجه الحالي هو نحو الاكتفاء باكتشاف الأخطاء، إذ تتضمن أغلب وحدات البيانات من الطبقة الثانية حقلاً

يعرف باسم Cyclic Redundancy Check CRC، ويستخدم في اكتشاف الأخطاء بالطريقة البسيطة التالية:

1. يقوم المرسل قبل إرسال وحدة البيانات بحساب محتوى الحقل CRC بناء على محتوى الوحدة، ويضع القيمة بناء على ذلك. ويتم حساب الحقل بناء على صيغ رياضية معقدة مبنية على جبر المجموعات وكثيرات الحدود، ولسنا في وارد شرحها هنا لأننا لن نقوم بتطبيقها. وفي كثير من الأحيان يتم حساب هذه القيمة عن طريق دارات المعالجة الموجودة في بطاقة الشبكة وليس عن طريق وحدة المعالجة المركزية في الجهاز الحاسوبي وذلك بهدف تخفيف الضغط وتحسين الأداء. مثال: تسمح صيغة كثير الحدود المستخدمة في شبكة إثرنت باكتشاف ثلاث أخطاء مستقلة في قيم البتات، وذلك عندما يكون الحجم الأقصى للوحدة هو 1500 بايت.
2. عند الاستقبال، يقوم المستقبل بإعادة حساب قيمة الحقل بناء على محتوى الوحدة المستلم، ثم يقارن القيمة المحسوبة بالقيمة المخزنة في الوحدة، فإن تطابقتا يعتبر أن النقل تم بنجاح، وإلا فإن هناك خطأ في نقل البيانات.

ترسل أغلب الشبكات وحدات البيانات بدون طلب إشعار من المستقبل لتعرف إن تم النقل بنجاح أم لا، إذ تترك هذه المهمة للطبقات الأعلى منها. وهذا ناتج بشكل رئيسي عن التركيز بشكل أساسي على السرعة في تصميم الطبقة الثانية، والاعتماد على الوثوقية العالية التي تقدمها الطبقة الأولى. إذ أن معالجة الإشعارات وظيفة معقدة بعض الشيء كما سنرى لاحقاً، وسينتج عن تنفيذها تعقيد في برمجيات الطبقة الثانية والتي ستطبق هذه العملية بشكل تلقائي عند كل عملية إرسال واستقبال علماً بأنه لا حاجة فعلية لها نظراً لندرة الأخطاء.

في حالة شبكة إثرنت، فإن حقل CRC موجود في نهاية الإطار ومخصص له 4 بايتات كما يظهر الشكل (1).

2.1. الطبقات الجزئية للطبقة الثانية

من أهم خصائص الطبقة الثانية أنها تنقسم بدورها إلى طبقتين جزئيتين sub-layers، والهدف من ذلك هو توزيع المهام التي تقوم بها الطبقة بالشكل الأمثل.

طبقة MAC

وهي الطبقة الجزئية الدنيا. وهي مسؤولة عن إدارة وتنظيم سماحيات الإرسال على الوسط الناقل، مثل خوارزمية CSMA التي تستخدمها شبكة إيثرنت، وخوارزمية إدارة النرد التي تستخدمها شبكة Token Ring.

طبقة LLC

وهي الطبقة الجزئية العليا. وهي المسؤولة عن تقطيع سلاسل البيانات إلى وحدات، وإدارة الإرسال والاستقبال، والعنونة.

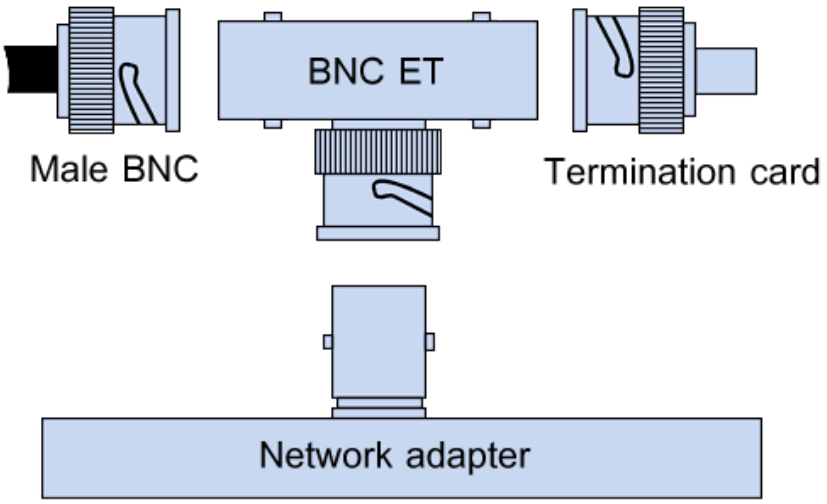
2. التطور التاريخي للطبقة الثانية وتجهيزاتها

من مساوئ التطور التقاني السريع أننا في كثير من الأحيان نتعامل مع التقانات حولنا على أنها "أحدث وأفضل ما وصل إليه العلم"، دون أن ندرك بالضرورة لماذا هي فعلاً كذلك.

إن إعطاء لمحة تاريخية عن التطور التقاني للتجهيزات لايهدف إلى إعطاء معلومات عن تجهيزات لم تعد تستخدم ولا يتوقع أن يراها الطالب أثناء حياته المهنية، وإنما يهدف إلى توضيح مسار التطور التقاني لهذه التجهيزات وكيف مر بمراحل عدة كانت كل منها تمثل تجاوزاً لعقبة محددة، حتى وصلنا إلى الحالة الراهنة التي نقول عنها أنها الأحدث والأفضل.

1.2. شبكة إثرنت الخطية

كانت شبكة إثرنت خلال منتصف ونهاية الثمانينيات هي الشبكة السائدة في بناء الشبكات المحلية، وكان النوع الأكثر استخداماً هو شبكات 10Base2 التي تعمل بسرعة 10 ميغابت/ثا، والتي كانت تستخدم كبلاً محورياً رفيعاً طوله الأقصى هـ 185 متراً والعدد الأقصى من الأجهزة التي يمكن وصلها على الشبكة هو 30.
كانت الأجهزة تتصل مع الشبكة باستخدام وصلة من نوع T كما يظهر الشكل (4)، وكانت أغلب الأجهزة المتصلة هي من الطرفيات أو الأجهزة الحاسوبية الشخصية من الطرازات الأولى التي كانت في معظم الأحيان تستخدم للاتصال بالحواسيب الكبيرة للوصول إلى خدماتها.



الشكل -٤- وصلة T المستخدمة لوصل التجهيزات مع الكبل المحوري الرفيع

هذه الشبكة ذات طوبولوجيا خطية، أي أن كبل الشبكة يعمل كناقل مشترك بين جميع الأجهزة المتصلة، ولا يتضمن تصميم الشبكة وجود أية عملية تحكيم بين الأجهزة المختلفة للاستحواذ على الناقل خلال عملية الإرسال. وبالتالي فإن البيانات المرسلة معرضة للتصادم باعتبار أنه لايوجد أي جهة مسؤولة عن التنسيق بين الأجهزة المختلفة. وفي سبيل تفادي هذا التصادم تلجأ الأجهزة إلى اتباع خوارزمية CSMA التي سبق وشرحناها.
انتشرت الشبكات المحلية بشكل كثيف في نهاية الثمانينيات وبداية التسعينيات مع ظهور شبكة نوفل Novell التي نشرت نموذج شبكات المخدم/الزبون بنجاح كبير. وازدادت الحاجة إلى الشبكات وانتشرت شبكات إيثرنت على نطاق واسع. ومع تزايد الطلب على تلك الشبكات، ظهرت أهمية المساعي الرامية إلى تخفيض كلفتها وتحسين أدائها والتقليل من مشكلاتها.

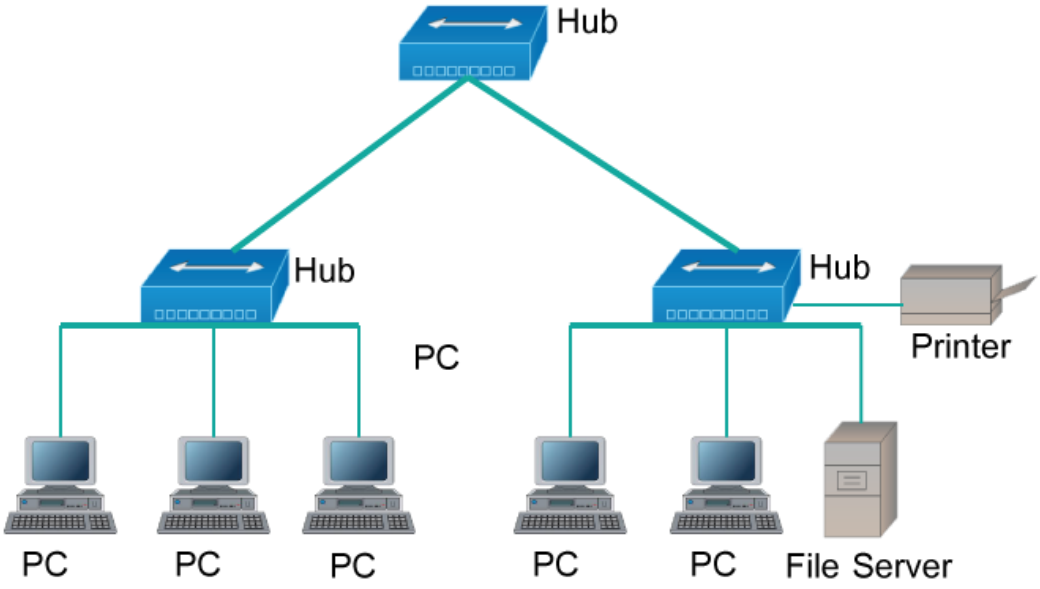
ويمكن تلخيص المشكلات التي تعاني منها شبكات إيثرنت الخطية في النقاط التالية:

1. قلة المرونة: تحتاج إضافة جهاز جديد إلى قص الكبل المحوري الرئيسي وإدخال طرفي الكبل في طرفي وصلة T، وينتج عن ذلك وضوحاً توقف الشبكة عن العمل خلال فترة الإضافة. مما يعني أنه من غير الممكن فعلياً إضافة أجهزة جديدة إلى الشبكة دون أن يكون ذلك مبرمجاً مسبقاً مع أخذ الاحتياطات اللازمة لئلا يؤدي إيقاف الشبكة وفصلها فيزيائياً إلى ضياع في البيانات أو تذمر من المستخدمين الذين يستخدمون الشبكة والذين سيتعرض عملهم إلى التوقف جراء ذلك الانقطاع. كما أن طبيعة الشبكة الفيزيائية تفرض أن تكون وصلة الـ T متصلة مباشرة بالجهاز وليس عن طريق سلك إضافي. أي أن الكابل الرئيسي للشبكة سيتعرض دوماً إلى نقل وتغيير وشد وجذب بهدف موائمة مواقع التجهيزات. ويضاف إلى ذلك وجود حد أقصى من الأجهزة المسموح وصلها على كبل واحد، وفي حال الحاجة إلى وصل أجهزة إضافية لتخديم عدد أكبر من المستخدمين يصبح من الضروري أن
2. انخفاض الوثوقية: إن طبيعة وصلات T تجعل منها نقطة ضعف كبيرة في الوصل الشبكي. إذ من الممكن ألا تعمل الوصلة بشكل جيد أو تفقد ناقليتها لسبب أو لآخر (قيام المستخدم بفك الوصلة عن جهازه بطريقة عنيفة، أو شد الكبل بسبب التعثر به أو بسبب جهل عامل التنظيفات). ويؤدي هذا إلى انقسام الشبكة إلى جزئيين عند نقطة الانقطاع كلاهما بدون نقطة انتهاء، وبالتالي تفقد الشبكة استقرارها وتفقد الأجهزة اتصالها ببعضها البعض.
3. ضعف الأداء: تعمل الشبكة بشكل تشاركي بين الأجهزة المتصلة كما رأينا، أي أن عرض الحزمة الكلي المتاح على كابل الشبكة (10 ميغابت/ثا) هو ليس إلا سرعة قصوى اسمية لا يمكن لأي جهاز الوصول إليها إلا في حالات استثنائية كأن يكون يعمل لوحده على الشبكة بدون التشارك مع أحد، ومع ازدياد عدد الأجهزة الناشطة على الشبكة تزداد احتمالات التصادم وينخفض الأداء بسرعة.
4. المشكلات الأمنية: تصل البيانات المرسلة من أي مرسل إلى جميع الأجهزة الموجودة في الشبكة، وهو أمر ناتج عن طبيعة عمل الشبكة وكون الناقل مشتركاً بين جميع الأجهزة، وبالتالي لا توجد طريقة لمنع تلك البيانات من الوصول. ويمكن أن ينتج عن ذلك العديد من المشكلات الأمنية، فبرمجيات استراق السمع متاحة، وهي تسمح بنسخ جميع البيانات المنقولة على الشبكة وتحليلها. بما فيها عمليات الدخول والتحقق من الهوية التي تحتاج إلى إدخال كلمات سر تمكن سرقتها بسهولة. كما أن تعرض جهاز ما لخلل ناتج عن تلوثه بدودة worm، قد يكون له منعكسات فائقة السلبية على باقي الأجهزة، فبإمكانه أن يحاول مهاجمتها في أي لحظة أو أن يرسل كماً كبيراً من الرسائل بهدف إشغال الشبكة فقط. ويمكن لهذا الإشغال أن يحصل نتيجة خطأ برمجي غير مقصود في أحد التطبيقات التي تعمل على الجهاز الحاسوبي.

تنامى الأثر السلبي لتلك المشكلات مع الحاجة إلى بناء شبكات محلية أكثر اتساعاً وأفضل أداءً، قادرة على نقل الكميات المتزايدة من البيانات بين الأجهزة المختلفة على الشبكة ولعدد أكبر من المستخدمين. وأصبح الأثر السلبي أكثر أهمية من الميزة الأساسية الإيجابية لتلك الشبكة وهي انخفاض تكليفيتها نظراً لعدم حاجتها إلى أية تجهيزات خاصة أو أعمال معقدة لبنائها. فالمتطلب الوحيد لبناء الشبكة هو تمديد الكبل المحوري والذي يسهل شراؤه بين الغرف المراد وصلها، ومن ثم وضع وصلات الـ T في كل نقطة يراد وصل جهاز لها.

2.2. المجمعات

تم الانتقال إلى شبكة ذات طوبولوجيا نجمية تعتمل بشكل أساسي على تجهيزات المجمع hub، وأصبح الاتصال بالتالي بين الجهاز وبين المجمع مباشرة دون المرور عبر أي جهاز آخر. وفي حال الرغبة في التوسع وعدم كفاية بوابات المجمع، كان من الكافي أن يتم وصل مجمع جديد إلى إحدى بوابات المجمع الأول. ويظهر الشكل (5) البنيان العام لشبكة تستخدم المجمعات.



الشكل (5) البنيان العام لشبكة تستخدم المجمعات

حل استخدام المجمعات مشكلة الوثوقية التي كانت تعاني منها الشبكات الخطية، ففي حال انقطاع كبل شبكي لا يتأثر به إلا الجهاز المتصل. كما حل إلى حد ما مشكلة المرونة إذ لا يحتاج وصل جهاز إلى الشبكة إلا إلى إدخال طرف الكبل في المجمع والطرف الآخر في بطاقة الشبكة الخاصة بالجهاز، وتبقى هناك حاجة إلى تمديد الكبل بين مكان توضع المجمع ومكان تواجد الجهاز. وقد ظهرت لهذا الغرض منهجيات وطرق خاصة بتمديد الشبكات تعرف باسم التمديد البنيوي اللاسلكي وتخضع للعديد من المعايير الدولية وهي مشروحة في الفصل الخاص بالطبقة الفيزيائية.

يعمل المجمع كمكرر إشارة متعدد البوابات، ويخطئ من يعتقد أنه جهاز من الطبقة الثانية، فهو غير قادر على قراءة وحدة البيانات أو استخلاص أي مكون من مكوناتها. والمجمع فعلياً "عديم الذكاء"، إذ ليس بإمكانه إلا أن يعيد إرسال البتات الواردة على إحدى بواباته على جميع البوابات الأخرى. وبإمكانه اكتشاف الوحدات الفيزيائية دون فهم محتواها عن طريق التعرف على علامة البداية التي تحدد بداية الوحدة، إضافة إلى حالة الكبل الخامل الذي لا ينقل بيانات. يمكن للمجمع ايضاً أن يكتشف التصادمات وأن يرسل إشارة الإعاقة عند اكتشافها.

هناك ضوابط وحدود لعدد المجمعات المستخدمة في بناء الشبكات، إذا لا يجوز أن يتجاوز عدد المجمعات الفاصلة بين جهاز وآخر حداً معيناً.

وبالتالي فقد بقيت مشكلة الأداء والمشكلة الأمنية قائمة، فجهاز المجمع يستخدم نفس طريقة عمل شبكة إثرنت الخطية في إرسال واستقبال البيانات، وظلت وحدات البيانات ترسل إلى جميع الأجهزة حتى لو لم يكن المرسل قد حدد عنوان البث.

عانت الشبكات خلال فترة الثمانينيات والتسعينيات من ذلك البطء، وخاصة مع تنامي الاعتماد على الشبكات وخدماتها والانتقال السريع نحو استخدام الحواسيب الشخصية كمحطات عمل. وأصبحت شبكات المؤسسات كبيرة إلى حد كبير وبطيئة جداً في الوقت نفسه. وظهر مصطلح عواصف البث broadcast storm ليصف المشكلة الأساسية التي كانت تعاني منها تلك الشبكات.

تفاقمت المشكلة مع ظهور أنواع جديدة من البرمجيات الخبيثة وهي الديدان worms في نهاية التسعينيات، وكانت تهدف بشكل رئيسي إلى مهاجمة الشبكة وإغراقها بالبيانات ومحاولة الانتشار عن طريق مهاجمة الحواسب المجاورة على الشبكة والتي يسهل التواصل معها مباشرة.

3.2. الجسور والبدالات

ظهرت الجسور bridges في مرحلة مبكرة من عمر الشبكات، وهي حتى تسبق المجمعات. فقد كانت الجسور تستخدم أساساً لربط الشبكات المحلية مع بعضها البعض، وذلك منذ بداية الثمانينيات.

والجسر هو جهاز متعدد البوابات، تتصل به التجهيزات في بنية نجمية. والمهمة الأساسية للجسر هي القيام بعملية الأساسية للابتدال switching، وهي من أهم العمليات التي تقوم عليها الشبكات، ويمكن إعطاء تعريف عام للابتدال على الشكل التالي:

الابتدال هو عملية تحديد الوجهة التي سيتم إرسال البيانات إليها بناء على تحليل لمعلومات متضمنة ضمن تلك البيانات.

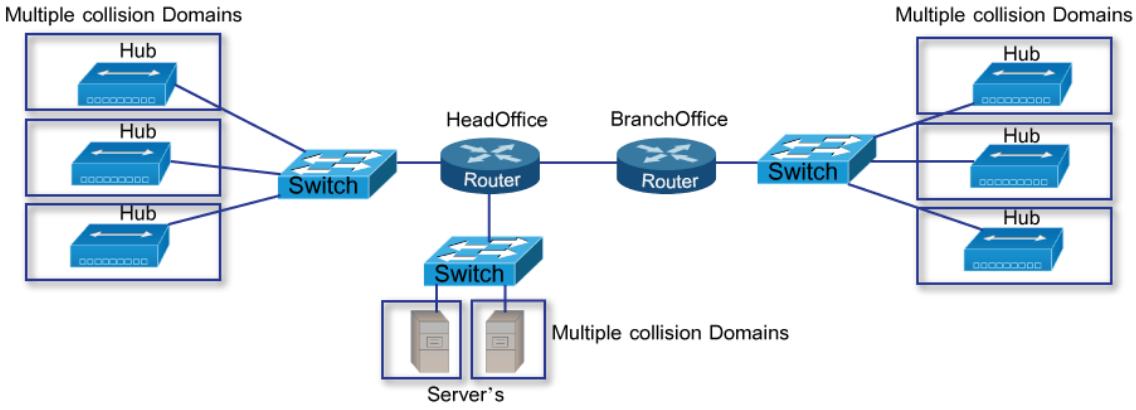
وإذا أردنا أن نخصص حالة الشبكات من الطبقة الثانية واستخدام الجسور في شبكة إثرنت، فإن الجسر يقوم بقراءة الإطار الوارد على إحدى بواباته واستخلاص عنوان الوجهة، وإرسال الإطار إلى البوابة التي تسمح بالوصول إلى عنوان الوجهة (ملاحظة هامة: هذا التوصيف هو للعملية بشكل عام، وسنشرح آلية التنفيذ لاحقاً في هذا الفصل).

إن قيام الجسر باستخدام بوابة واحدة لإعادة الإرسال عوضاً عن استخدام جميع البوابات الذي كان يقوم به المجمع يؤدي إلى الحد بشكل كبير من التصادمات التي كان من الممكن أن تحصل. وبالتالي استخدمت الجسور

مع المجمعات بحيث يقوم الجسر بربط الشبكات المبنية على المجمعات مع بعضها البعض. وكان الهدف الرئيسي من ذلك هو الحد إبقاء التصادمات ضمن شبكات المجمعات وعدم نشرها. ويستخدم مصطلح المقطع الشبكي Network Segment للدلالة على شبكة تعمل بمبدأ التشارك (مبنية على مجمع أو شبكة خطية). ومن هذا المنظور، فإن دور الجسر (والبدالة لاحقاً) هو ربط المقاطع الشبكية ببعضها البعض.

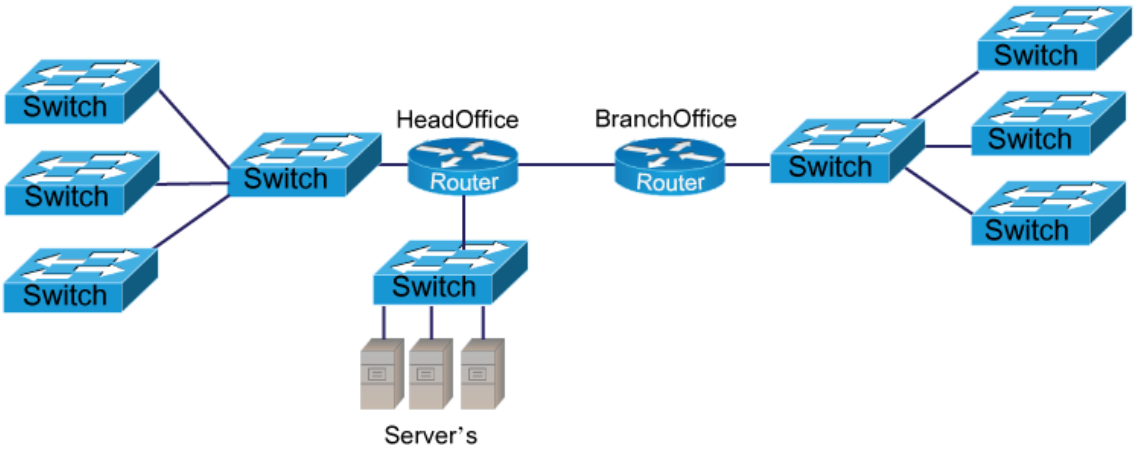
ونعرف نطاق التصادم collision domain بأنه مجموعة الأجهزة التي يمكن أن يحصل بينها تصادم عند إرسال البيانات، وبناء على التعريف أعلاه، فإن نطاق التصادم هو المقطع الشبكي. وقد سمحت الجسور بتجزئة نطاقات التصادم، أي أن الأثر السلبي للتصادم قل إلى حد لا بأس به، ولكن فاعلية الجسور وقدرتها على النهوض بأداء الشبكات المحلية بقيت ضعيفة بسبب محدودية عدد بواباتها.

ظهرت البدالات في نهاية التسعينيات كتجهيزات متفوقة تهدف إلى تجاوز جميع المشكلات السابقة مع الاستفادة من النتائج المشجعة التي حققتها الجسور على صعيد الحد من التصادم. ويمكن وصف البدالات على أنها جسور متعددة البوابات من شأنها أن تسمح بتقليص حجم المقاطع الشبكية (وبالتالي نطاقات التصادم) حتى تصل إلى جهاز واحد في حال كان الجهاز متصلاً مباشرة ببوابة البدالة، ويعرف هذا التوجه بالتقطيع الصغري Micro Segmentation. كما كان بإمكان البدالات أن تقدم خدمات أكثر تنوعاً بكثير من تلك التي تقدمها الجسور، ولكن كانت المشكلة الأساسية تكمن في التكاليف الكبيرة جداً للبدالات، مما أعاق تخصيص بوابة من البدالة لكل جهاز. ويعرض الشكل (6) بنية الشبكات بعد إدخال البدالات :



الشكل -6- استخدام البدالات في الشبكات مع المجمعات

في هذه الشبكات كان المجمع يتصل ببوابة البدالة، وكان من شأن ذلك تحسين أداء الشبكة بشكل ملموس إذ أصبح لكل مجمع نطاق التصادم الخاص به المفصول عن نطاقات التصادم لباقي البدالات. ولكن بقيت الأجهزة الموصولة إلى المجمع نفسه تتقاسم بين بعضها البعض نطاق التصادم الخاص بالمجمع. ومع انخفاض أسعار البدالات، أزيل هذا الحاجز الأخير واستبدلت المجمعات كلياً ببدالات، بحيث أصبح كل جهاز متصلاً مع بوابة مبدل، وبالتالي كان نطاق التصادم يقتصر على جهاز واحد، أي أن التصادم عملياً قد ألغي وبات كل جهاز يحصل على السرعة الكاملة للبوابة المتصل بها دون تقاسم تلك السرعة مع أي جهاز آخر، وهذا كما يظهر الشكل (7):



الشكل –7– الاعتماد على البدالات كلياً في بناء الشبكات

3. وظائف الجسور والبدالات

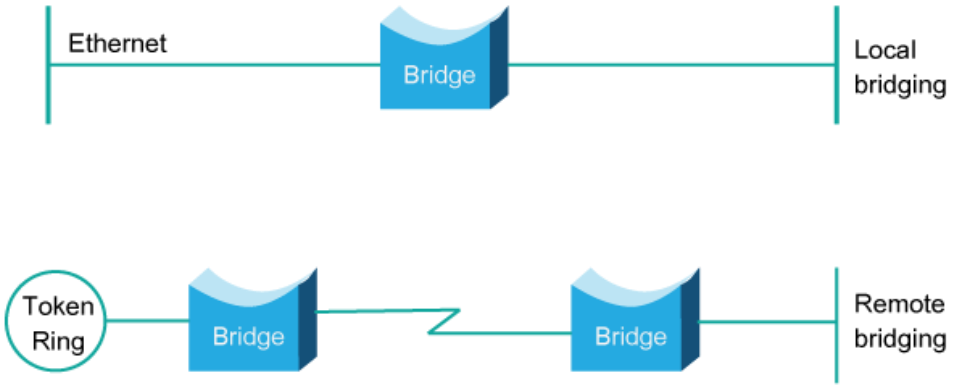
حل استخدام الجسور والبدالات مشكلة انخفاض الأداء الناتج عن التشارك في عرض الحزمة والتصادمات، وخاصة مع البدالات التي سمحت بتخصيص بوابة لكل جهاز بدون أن يكون هناك تشارك في عرض الحزمة. ولكن بقيت مشكلة آلية البث التي تتيح لأي جهاز إرسال بيانات إلى جميع الأجهزة الموصولة على الشبكة. إذ ظلت آلية البث تسبب مشكلة في الأداء وتعرض الشبكة لأخطار ظهور عواصف البث. كما حلت المشكلة الأمنية جزئياً إذ لم تعد البيانات تذهب إلى جميع الأجهزة وبالتالي ألغيت إمكانية استراق السمع، ولكن بقيت هناك مشكلة قدرة الأجهزة المتصلة على إغراق الشبكة عمداً أو نتيجة خطأ برمجي أو عتادي عن طريق إرسال كم كبير ومستمر من رسائل البث.

هناك تشابه كبير بين الجسور والبدالات، ويمكن القول بأن البدالات هي الوريث الشرعي للجسور في عملها الأساسي، ولكنها تقدم العديد من الوظائف الإضافية التي لم تكن الجسور تقدمها، كما أن لديها العديد من المزايا. ويمكن تلخيص أهم الفروقات بين الجسور والبدالات في النقاط التالية:

- سرعة أكبر: وذلك بسبب اعتماد البدالات على دارات متخصصة للقيام بعملية الابتدال، بينما كانت الجسور تعتمد على البرمجيات. مما يقلل من زمن التأخير ويتيح للبدالة القيام بعملية الابتدال في الزمن الحقيقي وبالتالي رفع أداء الشبكة بشكل عام.
- عدد أكبر من البوابات: كانت الجسور تحتوي على عدد محدود من البوابات (16 كحد أقصى)، بينما يمكن للبدالات أن تحتوي على مئات البوابات.

1.3. أنواع الجسور

تصنف الجسور عادة بحسب توضعها الجغرافي، إذ تنقسم الجسور إلى نوعين أساسيين كما يبين الشكل (8):



الشكل -8- أنواع الجسور

1. الجسور المحلية Local bridges: وتستخدم في ربط الشبكات المحلية المتواجدة في نفس المنطقة الجغرافية، وهو الاستخدام التقليدي المشروح سابقاً.
2. الجسور البعيدة Remote bridges: وتستخدم في ربط الشبكات المحلية المتواجدة في مناطق مختلفة، وذلك بغرض دمجها في شبكة واحدة. وهو فرق أساسي مع الربط المستخدم عن طريق الطبقة الثالثة، إذ أن ذلك الربط يتيح تبادل البيانات بين الشبكات ولكن تحافظ كل شبكة على كيانها.

مساوىء الجسور البعيدة

تعتمد الجسور البعيدة في عملية الوصل على دارات الاتصالات، وهي أقل سرعة بكثير من الشبكات المحلية، وباعتبار أن الأجهزة لديها الانطباع بأنها جزء من نفس الشبكة، فمن الممكن أن تحصل مشكلات لدى تنفيذ تطبيقات مصممة للشبكة المحلية ولديها حساسية للزمن.

الحد من مساوىء الجسور البعيدة

يتم الحد من الأثر السلبي لذلك الفرق عن طريق استخدام خزانات buffers ضمن الجسور، تقوم بتخزين البيانات المتراكمة إلى حين ترحيلها عبر دارات الاتصالات. ولا يمكن للخزانات حل المشكلة إلا في حالة رشقات بيانات قصيرة وغير مستمرة، وذلك نظراً لسعتها المحدودة.

مثال على استخدام الجسور البعيدة، شبكة البنى التحتية للمعطيات في سورية:

تعتمد هذه الشبكة في تقديمها لخدمات الحزمة العريض على تجهيز نقاط نفاذ قادرة على وصل المستخدمين بالشبكة الأساسية، التي بدورها تقوم بإيصال البيانات إلى مزودي الخدمة. أي أن نقاط النفاذ هي مورد مشترك بين جميع مزودي الخدمة بحيث لا يحتاج المزود إلى بناء بنية تحتية في المكان الذي يريد فيه أن يقدم خدماته.

- يتصل المشترك بنقطة النفاذ عن طريق مودم DSL، وينتهي الاتصال من طرف نقطة النفاذ في بوابة هي جزء من جهاز يعرف باسم مدير نفاذ DSL (DSLAM).

- يحتاج جهاز النفاذ إلى عدة أجهزة أخرى للقيام بعمله، و يحتاج بشكل رئيسي إلى موجه يصل نقطة النفاذ بالشبكة.
- إن كلفة جهاز النفاذ تتناسب مع عدد البوابات، أما كلفة الموجه فهي ثابتة، وهي بشكل عام مرتفعة بالمقارنة مع كلفة جهاز النفاذ.
- ظهرت المشكلة في سنة 2008 عندما الرغبة في توسيع رقعة التخديم لإتاحة خدمة النفاذ بالحزمة العريضة إلى الإنترنت لأكبر شريحة ممكنة من المستخدمين. إذ أن المسافة بين المودم وجهاز النفاذ لا يجب أن تتعدى 4 كم للحصول على سرعات جيدة.
- من غير المجدي اقتصادياً بناء نقطة نفاذ في كل مقسم هاتفي بسبب وجود عدد كبير من المقاسم الصغيرة التي لا يتجاوز عدد مشتركيها 4–5 آلاف مشترك، وبالتالي فإن عدد مشتركي الحزمة العريضة في حينه لم يكن لتجاوز بضعة مئات.
- تم اللجوء إلى الجسور البعيدة كحل فعال واقتصادي في آن واحد، إذ تم تركيب أجهزة نفاذ في المقاسم الصغيرة المراد تخديمها، ووصلت هذه المقاسم بجسور بعيدة مع أقرب نقطة نفاذ. وتم حساب الدارات المستخدمة في ربط الجسور البعيدة بحيث تتناسب السعة المستخدمة مع عدد البوابات في جهاز النفاذ.
- سمح هذا الحل بالوصول إلى عدد كبير من المواقع التي لم تكن مخدمة سابقاً إذ كانت الخدمة محصورة في المدن.

2.3. أنواع البدالات

يمكن تصنيف البدالات بعدة طرق:

- يعتمد التصنيف الأول على منهجية الابتدال المستخدمة، ويقصد بذلك كيف تتعامل البدالة مع البيانات الواردة إليها.
- يعتمد التصنيف الثاني على الاختلاف في القيام بوظائف الطبقة الثانية، أي في أنواع الشبكات. إذ يفرض كل نوع من أنواع الشبكات آلية عمل خاصة بالبدالات المرتبطة به.

1.2.3. تصنيف البدالات بحسب منهجية الابتدال

هناك منهجيتان أو طريقتان أساسيتان للابتدال، نعرضهما كما يلي:

طريقة خزن وأعد الإرسال Store and forward

في هذه الطريقة تقوم البدالة بتخزين كامل وحدة البيانات ضمن الذاكرة الخاصة بها قبل إعادة إرسالها. وهذا يعني أن التأخير الحاصل ضمن البدالة يتناسب مع طول وحدة البيانات. يتم فحص وحدة البيانات للتحقق من عدم وجود أخطاء قبل إعادة إرسالها، وفي حالة شبكة إثرنت، فإن الإطار يعتبر غير سليم إذا لم تتطابق قيمة حقل التحقق من الخطأ CRC مع القيمة المحسوبة، أو إذا كان أقصر من الحد الأدنى (أقل من 64 بايت متضمناً حقل التحقق من الخطأ)، أو إذا كان أطول من الحد الأقصى (1518 بايت متضمناً حقل التحقق من الخطأ).

طريقة الاختراق Cut–through

في هذه الطريقة تسعى البدالة إلى اختصار التأخير الحاصل والناتج عن قراءة وتخزين كامل وحدة البيانات، وتستند في ذلك على كون المعلومة اللازمة للقيام بعملية الابتدال موجودة عادة في ترويسة وحدة البيانات (العنوان الفيزيائي على الأغلب). وبالتالي تقوم البدالة بتحديد بوابة إعادة الإرسال وتوجيه البيانات الواردة على بوابة الدخل إليها مباشرة دون تخزين أية بيانات ضمن ذاكرة البدالة، أي أن عملية الابتدال تتم بالزمن الحقيقي ودون تأخير. ورغم الحصول على سرعة عالية في الابتدال، ولكن هذه الطريقة تفقد إمكانية اختبار وحدات البيانات والتحقق من سلامتها قبل إعادة إرسالها. وهي إحدى الميزات الهامة التي تتفوق بها البدالات على المجمعات.

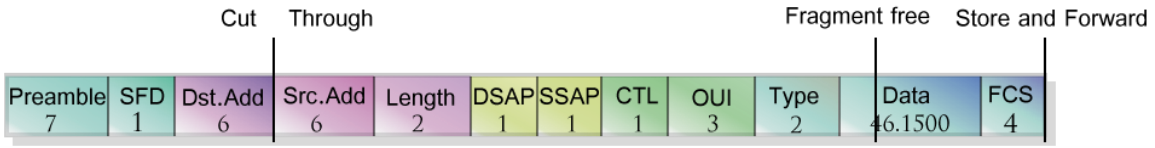
هناك العديد من الطرق الخاصة المبنية على طريقة الاختراق وهي تهدف إلى المحافظة على عملية الابتدال بالزمن الحقيقي مع التقليل من احتمال تمرير الوحدات التي تحتوي على خطأ.

طريقة Fragment Free

هذه طريقة متبعة في العديد من بدالات شبكة إثرنت، ويمكن تصنيفها على أنها طريقة معدلة عن طريقة الاختراق. تستند هذه الطريقة إلى فكرة إحصائية عن الأخطاء التي يمكن أن تحصل أثناء النقل، إذ تحصل معظم الأخطاء ضمن البايتات الـ 64 الأولى. وبالتالي تقوم البدالة التي تعمل بمبدأ الاختراق بالتريث في إعادة الإرسال إلى حين قراءة تلك البايتات والتحقق منها، ومن ثم متابعة عملها. وينتج عن ذلك تحسن كبير في اختبار الأخطاء، مع عدم وجود تأخير إضافي فعلياً نظراً لصغر حجم النافذة المذكورة.

الشكل 9

ويظهر الشكل رقم (9) النقاط التي تقوم البدالة فيها باتخاذ قرار إعادة الإرسال في الطرق الثلاث المختلفة، وذلك من أجل شبكة إثرنت.



الشكل (9) طرق الإبتدال المختلفة في شبكة إثرنت

ملاحظة: لا تدعم الجسور إلا طريقة الابتدال خزن وأعد الإرسال، وهذا أحد الأسباب الإضافية لانخفاض أدائها بالمقارنة مع البدالات بشكل عام.

2.2.3. تصنيف البدالات بحسب نوع الشبكات

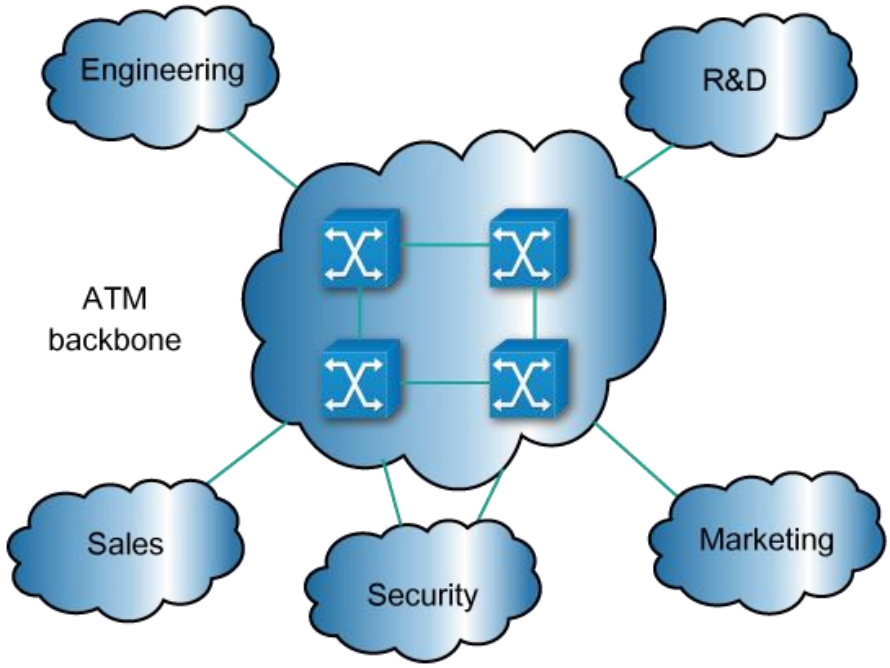
يمكن أن ترتبط أنواع البدالات مع نوع الشبكة التي تخدمها، ومن أهم الأنواع: بدالات ATM، وبدالات الشبكات المحلية LAN switch، وبدالات الشبكات الواسعة WAN switch.

بدالات ATM

ظهرت شبكات ATM في بداية التسعينيات، واستمرت في العمل لمدة 15 سنة تقريباً قبل أن تحل محلها تقانات أكثر كفاءة. وتتضمن شبكات ATM في تصميمها العديد من الأفكار الجديرة بالاهتمام:

- شبكة موحدة لنقل الصوت والبيانات: إذ كانت شبكات الصوت وشبكات البيانات شبكات منفصلة. وكانت شبكة ATM أول شبكة تطرح فكرة نقل الصوت والفيديو والبيانات على شبكة واحدة، وهو توجه عرف لاحقاً باسم الشبكات المتقاربة Converged Networks. وبني هذا التوجه على تقطيع الصوت إلى وحدات كما هي البيانات تماماً، وذلك بهدف رفع كفاءة استخدام الشبكة الذي كانت تعاني منه شبكات الهاتف التقليدية. إذ كانت تلك الشبكات مبنية على مبدأ الابتدال بالدارات، أي أن الاتصال الصوتي يقوم بحجز دارة سعتها 64 كيلو بت في الثانية بين طرفي الاتصال. وكانت هذه السعة تبقى محجوزة لصالح الاتصال بغض النظر عن كونها مستخدمة فعلياً أم لا.
- دعم جودة الخدمة، إذا كانت الشبكة تتضمن آليات تسمح بالتمييز بين البيانات التي يتم ابتدالها وإعطاؤها أولويات مختلفة عن طريق تخصيص مستوى معين من جودة الخدمة. وكان من شأن ذلك أن يسمح بإعطاء بيانات الصوت التي تحتاج إلى الابتدال بالزمن الحقيقي سرعة أكبر بكثير من البيانات العادية الناتجة عن نقل الملفات والتي يمكنها الإنتظار.

- شبكة موحدة على كافة المستويات: كانت شبكة ATM تهدف إلى تقديم تجهيزات موجودة في جميع مستويات الشبكة كما يعرض الشكل (10) (الشبكة المحلية على مستوى مجموعة العمل، الشبكة المحلية الأثر اتساعاً على مستوى المؤسسة، والشبكة الواسعة). وكان أحد الأهداف من ذلك هو تقديم جودة الخدمة للاتصالات بحسب حاجتها، بحيث يكون استخدام الموارد وخاصة عرض الحزمة المكلف (جداً !!) أمثلياً.

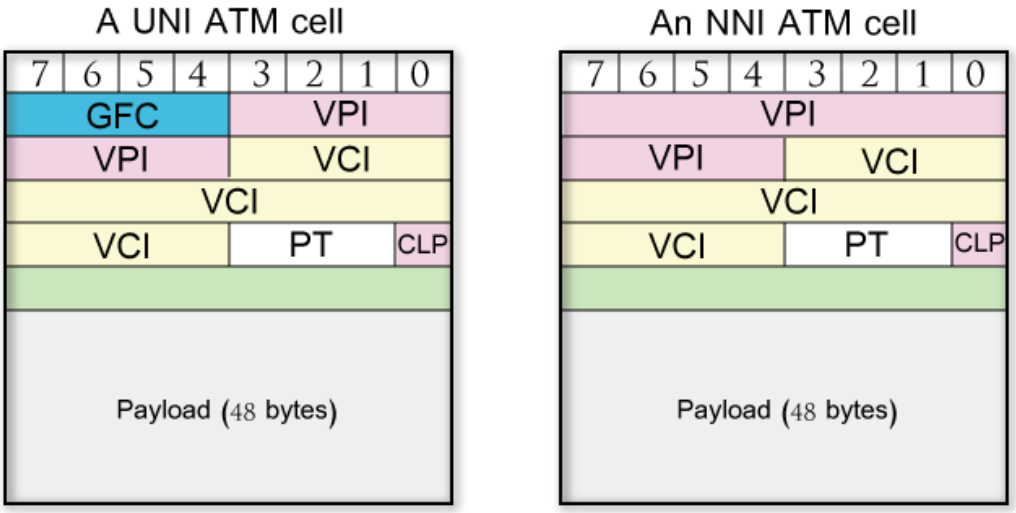


الشكل –10– شبكة مؤسسة مكونة من مجموعة شبكات محلية تربطها شبكة ربط من نوع ATM

اعتمدت شبكة ATM على تقطيع البيانات إلى وحدات ثابتة الحجم تعرف باسم الخلايا cells. وكان الهدف من ثبات الحجم هو تسريع عملية الابتدال. إذ تحتاج البدالة عادة إلى قراءة طول الوحدة في حالة الوحدات ذات الحجم المتغير كما في شبكة إثرنت. أما هنا فالبدالة تعرف مسبقاً عدد البايتات التي تحتاج إلى قراءتها فور اكتشافها لبداية الوحدة.

السؤال الهام الذي كان مطروحاً في حينه هو "ما هي قيمة هذا الحجم الثابت" ؟

القيمة التي وقع الاختيار عليها كانت 53 بايت (48 بايت للمحتوى + 5 للترويسة كما يظهر الشكل 11)، وهي قيمة توافقية بين الخيار الأنسب لشبكات الصوت (32 بايت) وبين خيار يراعي شبكات المعطيات (64 بايت أو أكثر).



الشكل -11- صيغة الخلية في شبكات ATM

من الطبيعي أن تكون الخلايا صغيرة بما يناسب طبيعة الصوت الذي يجب أن ينقل بالزمن الحقيقي. إذ لا يمكن الانتظار لفترة زمنية طويلة بهدف ملئ الخلية ثم ترحيلها، وإلا وصل الصوت مشوهاً. وبالتالي فإن أية قيمة لحجم الخلية فوق حد معين لن تستخدم وتتحول إلى عرض حزمة مهدور. ولذلك كان الحجم المثالي بالنسبة لشبكات الصوت هو 32 بايت.

أما في رأي مصممي شبكات المعطيات فمن المفضل أن يكون حجم الخلية كبيراً، وذلك لأن جزءاً من محتوى الخلية يحتوي على معلومات ترويسة، وهي بالتالي غير مستخدمة لنقل البيانات. وفي حال كون حجم الخلية كبيراً، فإن نسبة الفاقد (حجم الترويسة/ حجم الخلية) ستكون صغيرة.

إن نسبة الفاقد التي فرضها خيار حجم الخلية تتجاوز 10%، وهي قيمة لا يمكن التحايل عليها في أي حال من الأحوال لأن جميع بدالات ATM في العالم تعمل بهذا الحجم الثابت. ومع تنامي استخدام شبكات المعطيات بسرعة هائلة ودخول شبكة الإنترنت إلى جميع المجالات، أصبحت نسبة الفاقد عالية بالمقارنة مع ما تقدمه أنواع أخرى من الشبكات، وخاصة في النقل على الشبكات البعيدة التي عادة ما تكون كلفها مرتفعة. وأدى هذا في النهاية إلى انحسار استخدام شبكات ATM رغم المزايا الفنية العديدة التي تقدمها.

وهو النوع الأكثر شهرة والأكثر شيوعاً من البدالات، وخاصة مع ارتباطه بشبكات إثرنت إلى حد التماهي. بحيث بات استخدام كلمة بدالة يعني ضمنياً "بدالة شبكة محلية من نوع إثرنت" إلا إذا ذكر غير ذلك بوضوح. وتظهر الأشكال 6 و 7 استخدام تلك البدالات في بناء الشبكات المحلية.

3.3. الابتدال الشفاف

ظهر مصطلح الابتدال الشفاف transparent في بداية 1980 بناء على أبحاث قامت بها شركة Digital Equipment Corporation وقامت هيئة IEEE بتحويله إلى مواصفة قياسية ضمن السلسلة 802.1. وهذه التقانة شائعة جداً في شبكات إثرنت. طبقت هذه التقانة في البداية في تجهيزات الجسور، ثم انتقلت إلى البدالات عندما ظهرت تلك الأخيرة وأخذت محل الجسور كالجهاز الأساسي في بناء شبكات الطبقة الثانية.
سميت هذه التقانة بذلك لأنها تسمح للجهاز المتصل بالشبكة بإرسال البيانات إلى الوجهة دون أن يكون لديه أية معرفة بطوبولوجيا الشبكة وبالطريق الذي ستسلكه البيانات حتى تصل إلى وجهتها. إذ لا يحتاج المرسل إلى معرفة أية معلومة إضافية غير عنوان المستقبل، وتكون معرفة الطريق وإدارة عملية توجيه البيانات عبر الشبكة هي من مسؤولية التجهيزات الشبكية.

تعتمد تقانة الابتدال الشفاف على وجود جدول للعناوين ضمن كل جسر أو بدالة، ويتضمن هذا الجدول عمودين أساسيين كما يظهر الشكل 12:

- عنوان الجهاز
- رقم البوابة

وعلى سبيل المثال، يعني الشكل التالي أن الجهاز ذي العنوان 12 يمكن الوصول إليه عن طريق البوابة 2.
ملاحظة هامة: نجد في الجدول تكراراً لرقم البوابة. وهذا يعني أن هذه البوابة لا تتصل بحاسوب وإنما بجهاز شبكي (مجمع أو جسر أو بدالة). طبعاً من غير الوارد تكرار عنوان الجهاز في الحالة الطبيعية لأن العنوان هو بالتعريف عنوان فريد للبطاقة الشبكية.

Host address	Network number
15	1
17	1
12	2
13	2
18	1
9	1
14	3
.	.
.	.
.	.

الشكل -12- جدول العناوين الفيزيائية

هناك ثلاث أجزاء للمعالجة في الابتدال الشفاف:

1. كيف يستخدم الجدول في عملية الابتدال الشفاف
2. كيف يتم بناء الجدول وملؤه بالبيانات
3. ماهي المشكلات المرتبطة بالابتدال الشفاف وكيف تعالج

1.3.3. استخدام جدول العناوين في الابتدال الشفاف

لنفرض أن وحدة بيانات مراد إرسالها إلى العنوان AddrX وصلت إلى البدالة بهدف إعادة توجيهها. تستخدم البدالة الجدول بالطريقة التالية:

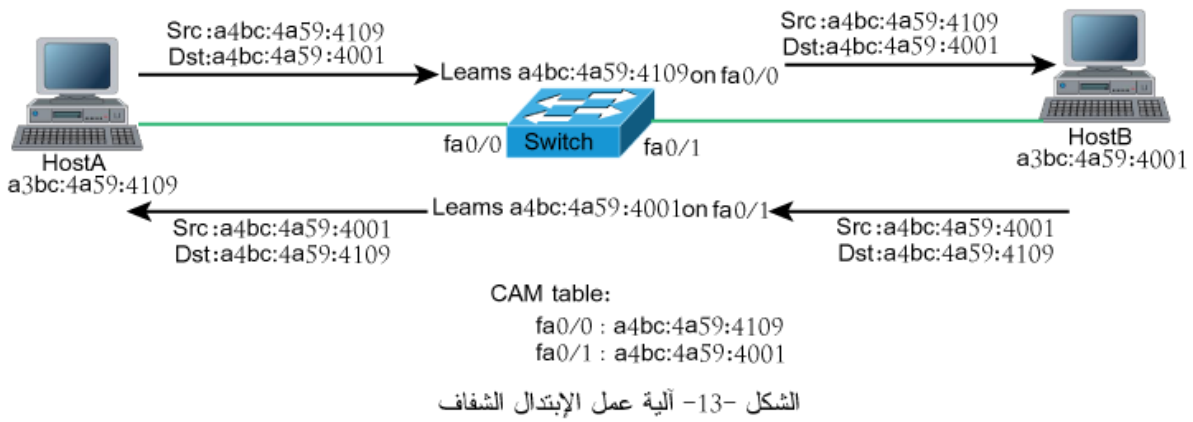
1. في حال وجود العنوان AddrX ضمن أحد أسطر الجدول، تقوم مباشرة بإعادة توجيه وحدة البيانات الواردة إلى البوابة المذكورة في ذلك السطر.
2. في حال عدم العثور على العنوان، فهذا يعني أن البدالة لا تعرف كيفية الوصول إلى جهاز الوجهة. وبالتالي لا يبقى بإمكانها إلا أن تحاول في جميع الاتجاهات الممكنة، إذ تقوم بإرسال الوحدة إلى جميع بوابات البدالة، باستثناء البوابة التي وردت منها. تسمى هذه العملية بالطوفان flooding (وهي تشبه البث باستثناء أن البث يكون على جميع البوابات بدون استثناء).

2.3.3. بناء جدول العناوين

عندما تقلع البدالة من الصفر يكون الجدول خالياً لأن البدالة ليست لديها أية معلومة عن موقع أي جهاز على الشبكة. وتقوم البدالة بتعلم العناوين من الوحدات التي يتم استقبالها وتتذكر عن طريق ذلك ما هي البوابات المتصلة بها.

ولنأخذ المثال التالي كما يظهره الشكل (13):

1. تقلع البدالة مع جدول عناوين فارغ
2. يرسل الجهاز HostA وعنوانه الفيزيائي a3bc.4a59.4109 وحدة بيانات إلى الجهاز HostB وعنوانه a3bc.4a59.4001
3. تصل وحدة البيانات إلى البوابة fa0/1 من البدالة التي ستضيف سطراً إلى الحدول يتضمن عنوان الجهاز hostA مع رقم البوابة fa0/1.
4. يتم تطويف الوحدة باعتبار أن الجدول لا يحتوي على عنوان الجهاز HostB.
5. تصل البيانات إلى الجهاز HostB الذي يتوقع أن يجيب الجهاز HostA.
6. يصل الجواب إلى البوابة fa0/2 من البدالة التي ستضيف سطراً إلى الجدول يتضمن عنوان الجهاز hostB مع رقم البوابة fa0/2.
7. ترسل البيانات إلى البوابة fa0/1 باعتبار أن عنوان الجهاز hostA موجود في الجدول ومرتبط بهذه البوابة.



الشكل -13- آلية عمل الإبتدال الشفاف

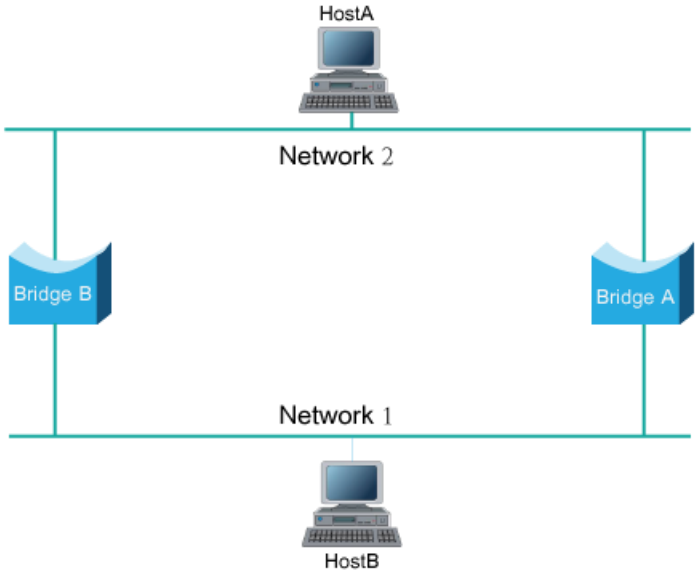
يوضح هذا المثال بوضوح الفرق بين البدالات والجسور من جهة والمجمعات من جهة أخرى، لأن المجمعات غير قادرة على تذكر العناوين المرتبطة بالبوابات وستقوم دوماً بإعادة إرسال الحركة على جميع البوابات.

3.3.3. مشكلة تشكل الحلقات

المشكلة الأساسية في الابتدال الشفاف ناتجة عن تضارب عمله مع الوصل المضاعف المستخدم عادة في الشبكات لرفع الوثوقية.

رأينا في الفصل الأول كيف يمكن أن يلجأ مصممو الشبكات إلى استخدام الوصل المضاعف كطريقة قليلة التكاليف لرفع وثوقية الشبكة ومقاومة الأعطال التي يمكن أن تحصل. ولكن يمكن أن تنتج عن الوصل المضاعف حلقات من شأنها أن تؤدي إلى ضرر كبير وانخفاض هائل في أداء الشبكة. ولحل هذه المشكلة يجب أن يكون هناك طريقة للتواصل بين الجسور والبدالات المختلفة في الشبكة بهدف تلافي تشكل تلك الحلقات.

ونستعرض فيما يلي مثالاً عن تكون الحلقات في الشبكة:



الشكل -14- الوصل المضاعف

نفترض أن الجهاز A أرسل وحدة بيانات إلى الجهاز B، بسبب الوصل المضاعف ستصل الوحدة إلى الجسرين Bridge A و Bridge B، وسيتعلم كل منهما عنوان الجهاز المرسل ويدخل في جدول العناوين أن الجهاز A موصول على الشبكة 2.

باعتبار أن عنوان الجهاز B غير موجود في جدول العناوين، فسيتم تطويف الوحدة لتصل إلى الشبكة 1.

ستصل إلى الجهاز B نسختان من نفس الوحدة، وستصل هذه النسخة أيضاً إلى مداخل الجسرين الموصولة إلى الشبكة 1، وسيتعلم كل جسر من الجسرين أن الجهاز A هو موجود على الشبكة 1.

سيعيد كل جسر من الجسرين إرسال الوحدة إلى الشبكة 2 عن طريق التطويف، لأنه لا يعرف عنوان الجهاز B حتى الآن. وبالتالي نعود إلى نقطة البداية وتتشكل لدينا حلقة.

ستستمر الحلقة ويستمر دوران البيانات في الشبكة طالما لم يرسل B أية إجابة تسمح بمعرفة الشبكة التي يتصل بها.

لو طبقنا نفس القواعد ولكن مع رسالة من نوع البث مرسلة إلى جميع الأجهزة وليس إلى جهاز واحد، فإن هذه الرسالة ستدور في الشبكة إلى ما لانهاية. لأن خروجها من بوابة الجسر يعني دخولها من جديد إلى الجسر الآخر، وهكذا دواليك.

يرسل الجهاز B إجابته إلى الجهاز A، وتصل الإجابة إلى مداخل الجسرين. سيرى كل جسر أن الجهاز B والجهاز B موجودان على نفس الشبكة 1، وبالتالي لا يقوم بإعادة التوجيه. أي أن الإجابة ستضيع.

يمكننا إذا تلخيص مشكلة الجمع بين الربط المضاعف والابتدال الشفاف في النقاط الأربع التالية:

1. تشكل الحلقات الذي ينتج عنه تكرار في إرسال البيانات واستهلاك كبير لعرض الحزمة. ويمكن لهذا التكرار أن يكون لا منتهياً في حالة البث. إذ ستدور البيانات في الشبكة إلى ما لانهاية.
2. وصول نسخ مكررة من البيانات إلى الوجهة، ولا تتضمن وظائف الطبقة 2 عملية إلغاء التكرار. أي أن هذه البيانات ستستلم وتعالج وتلغى في مراحل لاحقة ولكن بعد أن تكون استهلكت جزءاً من طاقة المعالج في الجهاز.
3. عدم استقرار جدول العناوين وتعرضه الدائم للتغير وتضمن معلومات غير صحيحة، وبالتالي اتخاذ قرارات خاطئة في عملية الابتدال وإعادة إرسال البيانات.
4. يمكن أن تظهر حلقات متعددة، أو حلقات ضمن الحلقات. وبالتالي تتحول عمليات البث إلى ما يعرف باسم عواصف البث broadcast storms ويصبح الأثر على أداء الشبكة كبيراً إلى درجة تمنعها من القيام بعملها.

4.3.3. خوارزمية شجرة التغطية

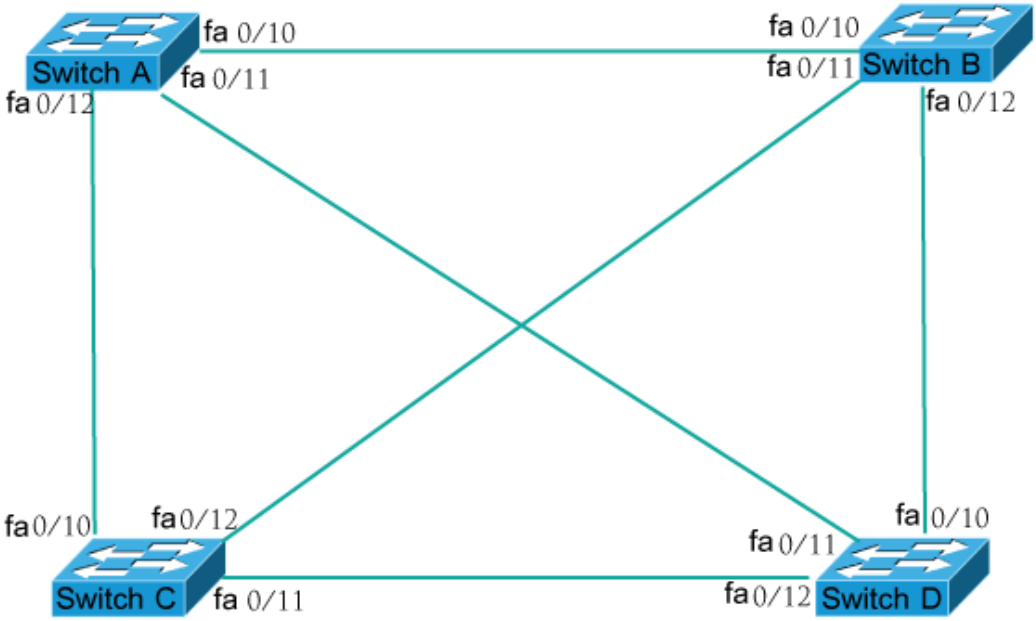
طورت خوارزمية شجرة التغطية من قبل شركة ديجيتال، وهي نفس الشركة التي أطلقت الابتدال الشفاف، وذلك بهدف المحافظة على مزايات الوصل المضاعف مع التخلص من المشكلات المرتبطة بها.

تمت مراجعة الخوارزمية الأساسية من قبل لجنة IEEE 802 ونشرت تحت اسم المواصفة 802.1d، وهي غير متوافقة مع الخوارزمية الأصلية.

تهدف الخوارزمية بشكل أساسي إلى تحديد شبكة جزئية من الشبكة الأصلية قادرة على تحقيق الاتصال بين جميع نقاط الشبكة ولكن بدون أن تكون هناك حلقات. وتستند في إلى الى إحدى نتائج نظرية البيان Graph theory، والتي تقول أنه مهما كان البيان المكون من مجموعة نقاط ووصلات تربط النقاط مع بعضها البعض، هناك شجرة تغطية من الوصلات بإمكانها الحفاظ على الاتصال بين النقاط دون أن تتضمن حلقات.

يتم تحقيق شجرة التغطية عن طريق تحديد البوابات التي من شأنها تشكيل الحلقات في حال كونها تعمل، ويتم إيقاف عمل هذه البوابات ووضعها في حالة العمل الاحتياطي standby. ويمكن إعادة تفعيل عمل البوابات التي تم توقيفها عند حصول عطل في الوصلة الأساسية، وذلك بهدف إيجاد مسار جديد ضمن الشبكة يكون بديلاً عن المسار المتعطل.

يعرض الشكل 15 شبكة من النوع المتصل كلياً full mesh، والمقصود بذلك أن جميع البدالات متصلة بجميع البدالات الأخرى.



الشكل -15- شبكة من النوع المتصل كلياً full mesh

ويعتبر هذا النوع من الشبكات الأكثر مقاومة للأعطال على الإطلاق لأن هناك وصلتين احتياطيتين لكل وصلة في حال تعطلها، ولكن هذه الشبكة معرضة إلى ظهور عواصف البث في حال تشغيل جميع الوصلات، إذ سينتج عن إرسال رسالة بث واحدة إعادة إرسال بدون توقف للبث. وهو بالضبط ما تهدف خوارزمية شجرة التغطية إلى تلافيه. ولشرح الخوارزمية سنقوم تعريف المفردات التالية:

- هوية البدالة: هذا رقم فريد لكل بدالة في الشبكة، ويتم تركيبه من أولوية معطاة إلى البدالة + العنوان الفيزيائي لإحدى بوابات البدالة. وتلعب الأولوية دوراً هاماً في عمل خوارزمية شجرة التغطية.
- البدالة الجذرية: تنتخب البدالات في الشبكة إحداها، وهي صاحبة أصغر قيمة للهوية، لتكون جذراً للشجرة، وتسمى بالبدالة الجذرية (أو الجسر الجذري Root Bridge). وبالتالي فإن كل القرارات بخصوص إيقاف أو تشغيل بوابة خاصة بوصلة مكررة يتم اتخاذها بحسب وجهة نظر بدالة الجذر.
- وحدة بيانات بروتوكول الجسر: والمقصود بها وحدة البيانات المستخدمة في البروتوكول Bridge Protocol Data Unit، وهي تستخدم في تبادل المعلومات بين البدالات لاختيار البدالة الجذرية إضافة إلى تبادل أوامر تشكيل الشبكة بعد ذلك. تتخذ البدالة قرار تعليق عمل بوابة ما بعد فحصها لوحدات البيانات الواردة من البدالات المجاورة. وترسل البدالة هذه الوحدات إلى جيرانها عادة دورياً كل ثانيتين.

- البوابة الجذرية: تحتاج كل بدالة إلى طريق يتيح لها الوصول إلى البدالة الجذرية إن لم تكن مرتبطة بها مباشرة، وتعرف البوابة التي تؤدي إلى البدالة الجذرية باسم البوابة الجذرية root port. وهي عادة البوابة المتصلة مباشرة أو أقرب طريق إلى البدالة الجذرية من بدالة غير جذرية.
- كلفة البوابة: لكل بوابة كلفة تحسب بناء على سرعة الوصلة، وتحدد كلفة البوابة ما هي الوصلة التي سيتم الحفاظ عليها بين الوصلات المكررة، فكلما انخفضت الكلفة كلما ارتفعت أولوية الوصلة. وتحدد أولوية الوصلة أيضاً البوابة التي ستكون البوابة الجذرية في حال وجود عدة طرقات تتيح الوصول إلى البدالة الجذرية. ويظهر الجدول أدناه قيم الكلفة للسعات الافتراضية.

Link Speed	STP cost
4 Mbps	250
10 Mbps	100
16 Mbps	62
100 Mbps	19
1 Gbps	4
10 Gbps	2

- البوابة المختارة: عندما يكون هناك عدة بوابات لبدالات متصلة بنفس المقطع الشبكي، تتفق مجموعة البدالات على البدالة التي لها أقل تكلفة للوصول إلى البدالة الجذرية. وتكون البوابة التي تصل هذه البدالة بالمقطع الشبكي هي البوابة المختارة Designated Port، وتكون باقي البوابات غير مختارة.
- حالة البوابة: يمكن أن تأخذ حالة البوابة إحدى القيم التالية:

1. Blocked: لا ترسل البوابة أو تستقبل أية بيانات، باستثناء استقبالها لوحدات بيانات بروتوكول الجسر، والتي تستخدم لتحديد طوبولوجيا الشبكة.
2. Listening: تستقبل البدالة إطارات البيانات الواردة على هذه البوابة، ولكنها لا تعالجها ولا تعيد إرسالها ولا تتعلم العناوين منها.
3. Learning: تستقبل البدالة إطارات البيانات الواردة على هذه البوابة وتتعلم العناوين منها، كما تقوم البدالة بإرسال رسائل BPDU الخاصة بها.
4. Forwarding: تعلمت البدالة العناوين الفيزيائية والبوابات المقابلة لها، وبإمكانها الآن أن تقوم بإعادة توجيه الإطارات بالشكل الطبيعي.
5. Disabled: في هذه الحالة تستقبل البوابة حصراً رسائل BPDU دون تحويلها إلى المعالج المركزي للبدالة. ولا تقوم بإعادة إرسال أية إطارات سواءً كانت واردة إلى هذه البوابة أو محولة من قبل البوابات الأخرى.

تتنقل البوابة بين الحالات مع أخذ الوقت اللازم لاستقبال ومعالجات وحدات بيانات بروتوكول الجسر الواردة من البدالات الأخرى. وتكون الدورة التقليدية لحالات البوابة على الشكل التالي:

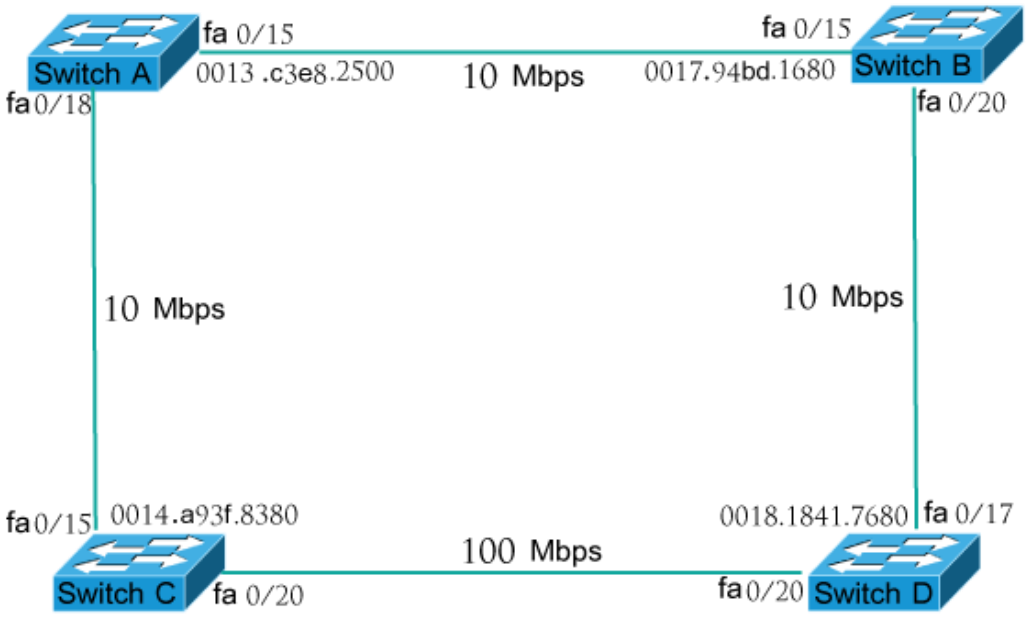
1. يتم التأسيس في حالة blocking
2. يتم الانتقال إلى حالة listening بعد 20 ثا
3. يتم الانتقال إلى حالة learning بعد 15 ثا
4. يتم الانتقال إلى حالة forwarding بعد 15 ثا
5. يتم الانتقال إلى حالة disabled في حال وجود عطل.

وتبدأ جميع البوابات في حالة blocked، وبعد الانتهاء من عمل الخوارزمية تصبح بعض البوابات في حالة forwarding، بينما تبقى باقي البوابات في حالة blocked. ونجد بالتالي أن الزمن اللازم لتقارب الخوارزمية والوصول إلى الشكل المستقر للعمل والذي يلغي الحلقات هو 50 ثانية.

وتنتهي الخوارزمية من عملها بعد أن تنهي المراحل الثلاث التالية:

- انتخاب البدالة الجذرية
- انتخاب البوابات الجذرية
- انتخاب البوابات المختارة

لن نطرح عمل الخوارزمية بالتفصيل ولا صيغة الرسائل المتبادلة لأنه يعتبر خارج هذه المادة. وسنكتفي بشرح مراحل التنفيذ وحالات البوابات عبر المثال الذي عرضناه في الشكل (15).



الشكل -16- إنتخاب البدالة الجذرية

1. انتخاب البدالة الجذرية

يتم انتخاب البدالة الجذرية بناء على العنوان الفيزيائي لأول بوابة، ولتبسيط الأمور نفترض أن الأولوية قد تركت بقيمتها الافتراضية لجميع البدالات، وبالتالي تكون البدالة الجذرية هي switchA.

تفترض عملية الانتخاب اتفاق الجميع على النتيجة، ويحتاج ذلك إلى وجود معلومات العناوين لدى جميع البدالات، وهذا ما يتم خلال المرحلة الأولى، إذ قبل انتخاب البدالة الجذرية يتم تبادل معلومات عناوين البدالات عن طريق رسائل BPDU.

2. تحديد البوابة الجذرية

سيكون لكل بدالة بوابة جذرية واحدة، وهي البوابة ذات الكلفة الأدنى وصولاً إلى البدالة الجذرية، وستكون حالة البوابة الجذرية forwarding.

في المثال أعلاه، في حالة البدالة B والبدالة C، فهي متصلة مباشرة بالبدالة A عن طريق البوابة رقم 15، وبالتالي تكون هي البوابة الجذرية. أما بالنسبة للبدالة D فهناك خيارات: البوابة 17 والبوابة 20، وفيما يلي حساب الكلفة لكل منهما بالاستفادة من الجدول:

- البوابة 17: 2*100 = 200
- البوابة 20: 100 + 19 = 119

ستكون إذاً البوابة 20 هي البوابة الجذرية، وتبقى البوابة 17 في حالة Blocked.

3. انتخاب البوابات المختارة

عندما تحتوي البدالة على بوابات وصل مضاعف تصل بينها وبين مقطع شبكي (مجمع أو بدالة أخرى)، فسيتم اختيار البوابة ذات الكلفة الأدنى على أنها البوابة المختارة. وتكون البوابة المختارة في هذه الحالة هي الطريق الوحيد الذي تسلكه البيانات بين المقطع الشبكي وباقي الشبكة والبدالة الجذرية.

في مثالنا هذا، ستكون البوابة 20 في البدالة C هي البوابة المختارة.

4.3. الشبكات المحلية الافتراضية:

1.4.3. الحاجة إلى الشبكات المحلية الافتراضية

نعود إلى الوراء بعض الشيء لنتذكر المشكلات التي كانت تعاني منها الشبكات قبل ظهور الجسور البدالات والناتجة عن كون الشبكة "مسطحة" flat إذا لا توجد أية حدود للتواصل بين أي جهازين موصولين على الشبكة. ويمكن تلخيص تلك المشكلات كما يلي:

مشكلة أداء، مرتبطة بالتشارك في عرض الحزمة لأن المجمعات غير قادرة على التمييز بين الأجهزة المختلفة ولا تقرأ العناوين ضمن الإطارات المرسلة، وهي تعيد إرسال البيانات على جميع البوابات مهما كانت الوجهة. وقد حلت هذه المشكلة إلى حد كبير مع الاستعمال الكثيف للبدالات إذ لم يعد هناك تشارك في عرض الحزمة. ولكن بقيت مشكلة البث قائمة لأن البدالات ستقوم بتمرير البث تلقائياً، وبالتالي فإن التوسع في حجم الشبكات الناتج عن تحسن الأداء سيتأثر كثيراً بعمليات البث، بما سينعكس سلباً على الأداء وهو عكس المتوقع تماماً. وسيكون الأثر أكبر وأكثر أذىً مع توجه الشبكات نحو التوسع والنمو، وخاصة مع تزايد التطبيقات التي تعتمد بكثافة على استخدام البث.

مشكلة أمنية، مرتبطة بقدرة أي جهاز في الشبكة على قراءة البيانات المرسلة عبر الشبكة ، إضافة على إمكانية التواصل مع أي جهاز آخر بشكل مباشر بمجرد معرفته لعنوانه الفيزيائي, وإغراق الشبكة برسائل البث كأحد أشكال الهجوم. وهو أمر يمكن أن يحصل بسهولة في حالة شبكة مسطحة، فلو تصورنا أن لدينا شبكة جامعة فيها مئات الحواسيب المتصلة على الشبكة، مع وجود صالة حواسيب مخصصة لعمل الطلاب. من الواضح أن هذه الحواسيب معرضة إلى حد كبير للاختراقات وانتشار البرمجيات الخبيثة، والتي من شأنها مهاجمة باقي الحواسيب في الجامعة بشكل مباشر.

ونضيف إلى ذلك **المشكلة التنظيمية**، مرتبطة بتوضع الأشخاص وإمكانية ربطهم على الشبكة. لنتصور أن لدينا مؤسسة من 5 أقسام: مبيعات، دعم فني، مالية، تسويق، شؤون إدارية، وأن كل قسم موجود في طابق ضمن البناء ومخصص له بدالة خاصة به. وأن البدالات لا تتصل مع بعضها البعض مباشرة وإنما تعتبر شبكة كل قسمة مستقلة عن القسم الآخر، وبالتالي فإن الوصل يتم عن طريق الطبقة 3 (باستخدام موجه). هناك موظف جديد يأتي إلى قسم التسويق، ولكن لا يوجد مكان في الطابق الخاص بقسم التسويق، فيعطى مكاناً في قسم المبيعات حيث تتوافر الأمكنة. من غير الممكن أن يتصل هذا المستخدم بشبكة قسم التسويق مع أنه يعمل ضمن قسم التسويق بسبب عدم إمكانية وصله على بدالة قسم المبيعات لبعد المسافة. وبالتالي سيجد نفسه متصلاً مع شبكة قسم المبيعات، ولديه إمكانية الوصول (كاتصال شبكي على الأقل) إلى الأجهزة التي تحفظ بيانات قسم المبيعات، وليس تلك التي تحفظ بيانات قسم التسويق حيث يعمل.

الشبكات المحلية الافتراضية VLAN: Virtual Local Area Network هي حل لكل تلك المشكلات.

2.4.3. تعريف الشبكات المحلية الافتراضية

تعرف الشبكة المحلية الافتراضية على أنها مجموعة جزئية من بوابات البدالة تشكل نطاقاً للبث broadcast domain، إذ يقتصر إيصال البث المرسل من أية بوابة ضمن المجموعة على أعضاء المجموعة. ولا يمكن لبوابة تنتمي إلى شبكة محلية افتراضية التواصل مع بوابة أخرى من بوابات البدالة لا تنتمي إلى نفس الشبكة بأي شكل من الأشكال (إرسال أو استقبال).

يمكن القول بأن تعريف الشبكات المحلية الافتراضية ضمن شبكة هو بمثابة تجزئة الشبكة الفيزيائية الواحدة إلى عدة شبكات منطقية مفصولة كلياً عن بعضها البعض. واذا أراد جهاز متصل مع شبكة محلية افتراضية التواصل مع جهاز متصل مع شبكة محلية افتراضية أخرى، فإن الطريقة الوحيدة هي عن طريق اتصال من الطبقة الثالثة لأنهما فعلياً متصلان مع شبكتين مختلفتين. وبالتالي فإننا لتحقيق هذا الوصل نحتاج إلى موجه router كما سنرى في الفصل القادم.

ومن الواضح أن الشبكات المحلية الافتراضية تقدم علاجاً فعالاً للمشكلات المطروحة أعلاه:

- فيما يخص الأداء، تم حصر نطاق البث بمجموعة البوابات المعنية فعلياً عوضاً عن ترك البث ينتشر في جميع أرجاء الشبكة مع المنعكسات السلبية لذلك على الأداء.
- فيما يخص الأمن، فقد تم عزل الأجهزة عن بعضها البعض، وصار بالإمكان وضع الحواسيب المعرضة للاختراق في شبكة محلية افتراضية خاصة بها بحيث لا تتخاطب مع الحواسيب الأخرى. كما يمكن وضع الحواسيب التي تحتوى على بيانات هامة في شبكة محلية افتراضية منفصلة.
- تعطي مرونة كبيرة، إذ لم تعد المشكلة التنظيمية التي عرضناها سابقاً مطروحة باعتبار أنه من الممكن تعريف البوابة كجزء من شبكة محلية افتراضية بغض النظر عن موضعها الفيزيائي ضمن الشبكة. وبالتالي فإن الوصل الشبكي صار مرتبطاً بالعمل والوظيفة وليس بالمكان الذي تتوضع فيه التجهيزات التي نريد وصلها.

3.4.3. تحديد بوابات الشبكة المحلية الافتراضية

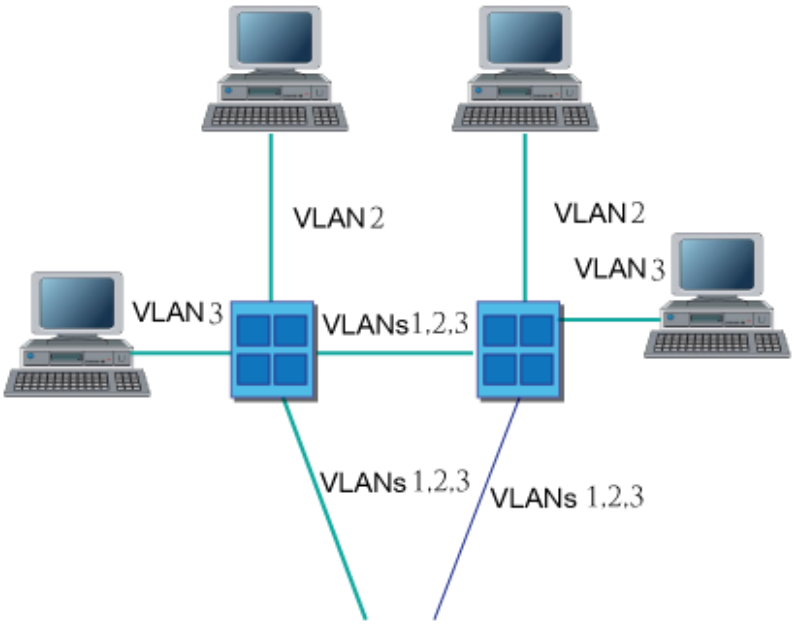
يقوم مدير الشبكة عادة بتعريف الشبكات المحلية الافتراضية على البدالات وتحديد البوابات التي تنتمي إلى كل منها. وهناك طريقتان لتحديد بوابات الشبكة:

- طريقة ساكنة static، وهي الطريقة الأبسط والأكثر أمناً. إذ يقوم المدير يدوياً بتحديد البوابات واحدة تلو الأخرى. وتناسب هذه الطريقة الحالة التي تكون فيها الشبكة مضبوطة ولا يسمح للمستخدمين بالكثير من الحرية في تغيير وصلاتهم.
- طريقة ديناميكية: تحدد فيها الشبكة التي تنتمي إليها البوابة تلقائياً. وتسمح برامج الإدارة المتطورة بتحديد عدد من القواعد التي تسمح بذلك. فعلى سبيل المثال يمكن أن يتم إدخال عدد من العناوين الفيزيائية في برنامج إدارة الشبكات المحلية الافتراضية والذي تتخاطب معه البدالة. عندما يتم وصل جهاز إلى بوابة ما، يقوم برنامج الإدارة بفحص قاعدة بيانات إدارة الشبكات والبحث عن الشبكة التي ترتبط بالعنوان الفيزيائي للجهاز الموصول. وتتم إضافة هذه البوابة إلى تلك الشبكة. وهذا يعني أنه بإمكان المستخدم التنقل من مكان لآخر (مستخدماً حاسبه المحمول مثلاً) في الشبكة دون أن تكون لديه مشكلة إذ سيتم ضمه دوماً إلى الشبكة الافتراضية المحددة لدى برنامج الإدارة.

ويفرض استخدام الشبكات المحلية الافتراضية تعديلاً على عمل البدالات التقليدي. فلننظر إلى الشبكة المعروضة في الشكل (17) حيث تحوي البدالتان الأولى والثانية بوابات من الشبكة VLAN2 و VLAN3.

لنفرض أن البوابة من الشبكة VLAN2 في البدالة الأولى أرسلت رسالة بث، يجب أن تصل هذه الرسالة إلى جميع البوابات التي تنتمي إلى الشبكة VLAN2 فقط. ولا توجد مشكلة لدى البدالة الأولى لأنها قادرة على معرفة الشبكة المستهدفة لأنها هي نفسها الشبكة التي تنتمي إليها البوابة التي أرسلت البث. ولكن إذا أردنا ان يتجاوز نطاق الشبكة المحلية الافتراضية البدالة الواحدة بحيث تمتد على عدة بدالات، فلدينا مشكلة تستوجب الحل: كيف ستعرف أي بدالة غير البدالة المرسلة للبث الشبكة المستهدفة ؟ إذ ليست لديها أية معلومات بهذا الخصوص.

لهذا الغرض تم تعريف نمط معين من عمل بوابات البدالة يعرف باسم نمط عمل الربط البيني Trunk mode. بوابات خاصة تعرف باسم بوابات الربط البيني Trunk ports. وتستخدم البوابات التي تعمل بهذا النمط فقط لربط البدالات ببعضها البعض. أما البوابات التي تستخدم لربط الأجهزة المختلفة (وهي أغلب البوابات) فهي تعمل بنمط النفاذ access mode.



الشكل –17– الشبكات المحلية الإفتراضية وأنماط عمل البوابات

عند إرسال أي إطار عن طريق بوابة تعمل بنمط الربط البيني (أي أن الإطار ذاهب باتجاه بدالة أخرى)، يتم إضافة سمة tag إلى الإطار بهدف إعلام البدالة الأخرى عن هوية الشبكة الافتراضية، ويتم إزالة السمة عند وصول الإطار إلى البدالة المستقبلة.

هناك عدة أشكال للسمة المستخدمة، وأهمها تلك المعرفة ضمن المواصفة القياسية IEEE802.1Q. وبإمكان البدالات التي تطبق هذا المعيار أن تتبادل معلومات هوية الشبكة بغض النظر عن الشركة المصنعة. هناك أيضاً بروتوكول ISL الخاص ببدالات شركة سيسكو والذي لا يتوافق مع بدالات المصنعين الآخرين.

من الواضح أن هناك فائدة كبيرة من استخدام بوابات الربط البيني، فلولاها لكنا مضطرين إلى استخدام عدة بوابات للوصل بين المبدلتين وتكون زوج من البوابات (بدالة أولى–بدالة ثانية) مخصصاً لشبكة افتراضية. وبالتالي سسيستهلك عدد كبير من البوابات لهذا الغرض.

تمارين:

1. استخدم التعليمة ipconfig لمعرفة إعدادات بطاقة الشبكة الخاصة بجهازك، واستخلص منها العنوان الفيزيائي. بإمكانك الاستعانة بالمعلومات الموجودة على هذا الرابط: https://code.wireshark.org/review/gitweb?p=wireshark.git;a=blob_plain;f=manuf لتحديد الشركة مصنعة البطاقة. طابق بين المعلومة التي حصلت عليها والاسم المسجل على البطاقة.

الفصل الرابع
التوجيه

الكلمات المفتاحية:

توجيه، موجه، العنونة IP، المسار، رزمة البروتوكول IP، العنوان الشبكي.

ملخص:

يتعرف الطالب في هذا الفصل على عملية التوجيه في الطبقة الثالثة من نموذج OSI، وعلى مهمتها الأساسية التي تتلخص في تمكين المأخذ الشبكي للجهاز من تبادل البيانات مع المأخذ الشبكي لجهاز آخر من شبكة أخرى.

أهداف تعليمية:

يتعرف الطالب في هذا الفصل على:

- عملية التوجيه
- تحديد المسارات الشبكية

المخطط:

3 فقرات عناوينها كما يلي:

- **مقدمة عن عملية التوجيه وألياتها**
- **وظائف التوجيه**
- **الوظائف المتممة لعملية التوجيه**

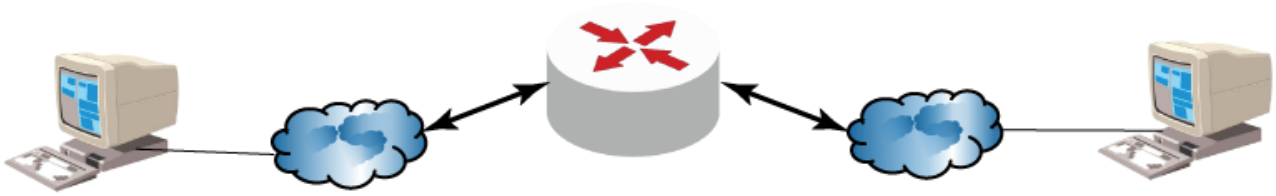
مقدمة:

تتم عملية التوجيه في الطبقة الثالثة من نموذج OSI، ومهمتها الأساسية كما أسلفنا في الفصل الأول هي تمكين المأخذ الشبكي للجهاز من تبادل البيانات مع المأخذ الشبكي لجهاز آخر من شبكة أخرى.

1. تعريف عملية التوجيه

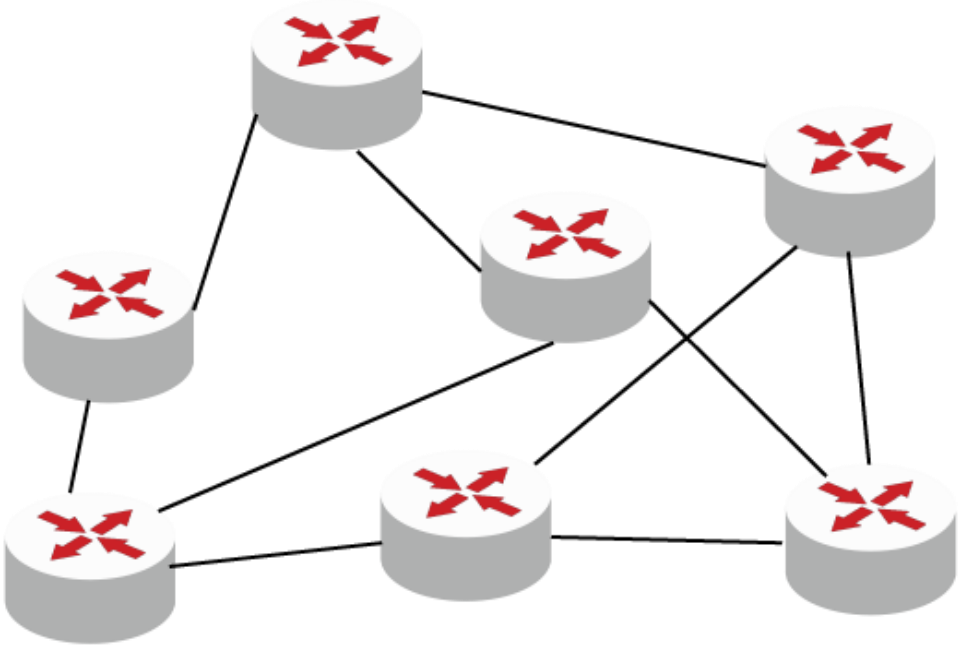
التوجيه هو عبارة عن إرسال البيانات من جهاز إلى جهاز آخر متصل على شبكة أخرى. وتنتقل البيانات بين المصدر والوجهة عبر شبكة من الشبكات Internetwork.

الحالة الأبسط هي الحالة التي يعرضها الشكل رقم (1) حيث يكون الجهاز الأول موجودا على شبكة A والجهاز الثاني موجودا على الشبكة B، وهناك جهاز يصل بين الشبكتين يعرف باسم الموجه router.



الشكل –1– الحالة الأبسط للتوجيه (موجه يصل بين شبكتين)

يعرض الشكل رقم (2) حالة أكثر تعقيداً، إذا هناك العديد من الشبكات البينية التي ستعبرها البيانات بين المصدر



الشكل -2- التوجيه في شبكة متعددة المسارات

والوجهة، إضافة إلى وجود عدة مسارات متاحة.

إذا أردنا المقارنة بين عملية التبديل وعملية التوجيه، فسنجد الكثير من الشبه، فكلاهما يتضمن إرسال وحدات من البيانات من مصدر إلى وجهة. ولكن الفرق الأساسي هنا هو أن في حالة التبديل فإن المرسل والمستقبل متصلان على نفس الشبكة، أما في حالة التوجيه، فإن المرسل والمستقبل ينتميان إلى شبكتين مختلفتين.

بناء على ذلك، فإن وصل شبكتين عن طريق مبدلة من شأنه دمج الشبكتين لتصبحان شبكة واحدة، وينتج عن ذلك أن أية عملية بث يتم إرسالها ستصل إلى بوابات الشبكتين. أما إذا تم الوصل عن طريق موجه، فإنهما تبقيان شبكتين منفصلتين، وأية عملية بث يتم إرسالها لن تعبر الموجه وستبقى ضمن الشبكة التي ينتمي إليها المرسل فقط.

تعرف وحدة البيانات المستخدمة في الطبقة الثالثة باسم رزمة packet، وسنستخدم هذا المصطلح في كافة أجزاء هذا الفصل.

2. وظائف التوجيه

تقدم الطبقة الثالثة ثلاثة وظائف أساسية فيما يخص التوجيه:

- العنونة
- تحديد المسار الذي ستسلكه البيانات من المصدر إلى الوجهة
- إيصال البيانات من المصدر إلى الوجهة

1.2. العنونة

سبق ورأينا في الفصل السابق أن هناك عناوين مستخدمة في الطبقة 2 تعرف باسم العناوين الفيزيائية Physical addresses، وعرضنا في المثال عن عناوين شبكة إيثرنت الشكل الأساسي لتلك العناوين.

تحتاج طبقة الشبكات إلى استخدام عناوين تفيد عملية التوجيه، وتسمح للموجهات بتحديد وجهة الرزم بحسب موقع الجهاز الذي يتوقع أن يستنتج من العنوان. ومن هذا المنطلق، فإن العناوين الفيزيائية غير مناسبة بالمرة، وذلك للأسباب التالية:

- لا يتضمن العنوان الفيزيائي أية معلومة مفيدة بالنسبة لطبقة الشبكات، وكل ما يعطيه من معلومات هو اسم الشركة المصنعة والرقم التسلسلي للبطاقة، وهي معلومات لا تفيد في عملية التوجيه.
- إن العناوين الفيزيائية ثابتة وهي لا تتغير بتغير الموقع الجغرافي للجهاز، وبالتالي لا يمكن الاعتماد عليها في تحديد موقع الجهاز.

وبالتالي هناك حاجة إلى عناوين من شكل مختلف، وسندرس في هذا الفصل عناوين الشبكات وبالتحديد عناوين شبكة الإنترنت باعتبارها الأكثرها شيوعاً.

العناوين المستخدمة في شبكة الإنترنت

تستخدم شبكة الإنترنت في إصدارها الرابع، وهو الإصدار السائد حالياً، عناوين مكونة من رقم ذي ترميز ثنائي بطول 32 بت، وتوصف الوثيقة RFC 791 شكل وصيغة عناوين الإنترنت.

يجب أن تكون العناوين فريدة ضمن الشبكة الواحدة، وباعتبار أن شبكة الإنترنت هي شبكة عالمية، فإن جميع عناوين الإنترنت الموزعة على الأجهزة المتصلة مباشرة بالشبكة هي عناوين فريدة.

يمكن للعنوان أن يستخدم لتمثيل جهاز وحيد على الإنترنت، ويسمى في هذه الحالة عنواناً وحيد الإسناد unicast، وهي الحالة الأكثر شيوعاً. ويمكن أن يستخدم العنوان لتمثل مجموعة أجهزة مستقبلة، ويسمى في هذه الحالة عنواناً متعدد الإسناد multicast.

يتكون عنوان الإنترنت من سلسلة من 32 خانة تحتوي كل منها على القيمة 0 أو 1.

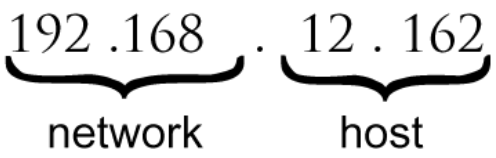
أما التمثيل المقروء المعتمد، فهو تمثيل عشري يكتب فيه العنوان على شكل أربعة أرقام عشرية مفصولة بنقاط قيمة كل منها بين الـ 0 والـ 255.

مثال: العنوان 01100100110010001101001011011100

يكافئه التمثيل العشري: 100.200.210.220

عدد العناوين المتاحة نظرياً هو من مرتبة 4 مليار عنوان، ولكن طريقة إدارة العناوين وتوزيعها تاريخياً اقترنت بهدر كبير في الاستخدام, وبالتالي فإن العناوين المستخدمة فعلياً هي أقل بكثير من ذلك.

ويقسم العنوان إلى قسمين: معرف الشبكة network ID ومعرف المضيف host ID كما يظهر الشكل التالي:



ويستخلص معرف الشبكة من العنوان بتطبيق عملية بسيطة هي عملية "و" منطقية لكل خانة مع رقم من 32 خانة تكون فيه قيمة الخانات الموافقة لمعرف الشبكة هي 1 و قيمة الخانات الموافقة لمعرف المضيف 0. ويعرف هذا الرقم باسم "قناع الشبكة" Network Mask، وهو جزء من إعدادات الشبكة لكل بوابة شبكية.

مثال: العنوان 100.200.210.220

مع قناع الشبكة 255.0.0.0

يعطي عنوان الشبكة 100.0.0.0

ويكتسب قسم معرف الشبكة أهمية خاصة، إذ يجب أن يتطابق معرف الشبكة لجميع الأجهزة الموجودة ضمن الشبكة الفيزيائية الواحدة.

مثال:

بفرض أن لدينا العناوين التالية:

200.200.200.10

200.200.199.10

200.200.200.11

ما هي العناوين التي تنتمي لنفس الشبكة، علماً بأن قناع الشبكة هو 255.255.255.0

الجواب:

بتطبيق قناع الشبكة على العناوين الثلاث، نجد ما يلي:

200.200.200.10 & 255.255.255.0 = 200.200.200.0

200.200.199.10 & 255.255.255.0 = 200.200.199.0

200.200.200.11 & 255.255.255.0 = 200.200.200.0

وبالتالي فإن العنوان الأول والثالث هما من نفس الشبكة، ولا ينطبق ذلك على العنوان الثاني.

إن موضوع تحديد القناع وما يرتبط به من آليات توزيع للعناوين هو موضوع معقد بعض الشيء وهو خارج عن إطار هذا المقرر، وسيناقش في مقررات لاحقة.

2.2. تحديد المسار

يعرض الشكل (2) الحالة المثالية للتوجيه، إذ توجد عدة مسارات ممكنة تسلكها الرزم بين شبكة المصدر وشبكة الوجهة، وبالتالي هناك حاجة لتحديد المسار الذي ستسلكه الرزمة حتى تصل إلى وجهتها.

نذكر في الفصل الخاص بالتبديل أن تعدد المسارات كان غير مناسباً ولا يتوافق مع التبديل الشفاف، وأننا كنا محتاجين إلى خوارزمية شجرة التغطية لإلغاء الوصلات المضاعفة بحيث لا يكون هناك إلا مسار واحد بين أي نقطتين في الشبكة.

هذا الأمر غير مطروح هنا، لأن الوصلات المستخدمة هي ليست مجرد كابلات وصل ممددة بين طابقين في بناء (أو بين بنائين متجاورين) بتكاليف نسبياً زهيدة، وإنما هي دارات تمتد على مسافات بعيدة ولها أجور باهظة، وبالتالي من غير الوارد أبداً عدم استخدامها وعدم الاستفادة منها. إضافة إلى أن خوارزمية شجرة التغطية تضع الشبكة في حالة عدم استقرار مؤقتة، وهو أمر مقبول طالما أن الفترة قصيرة وطالما أن التغيرات في بيئة الشبكة المحلية تبقى طفيفة، وهذا لا ينطبق على شبكة واسعة تحتاج فيها البيانات إلى زمن طويل حتى تصل، كما أنه ليس من الضروري أن يكون لهذه الموجهات إدارة موحدة (والعكس هو القاعدة السائدة).

نتيجة لما سبق، يجب المحافظة على تعدد المسارات، وإيجاد طريقة لاختيار المسار المناسب.

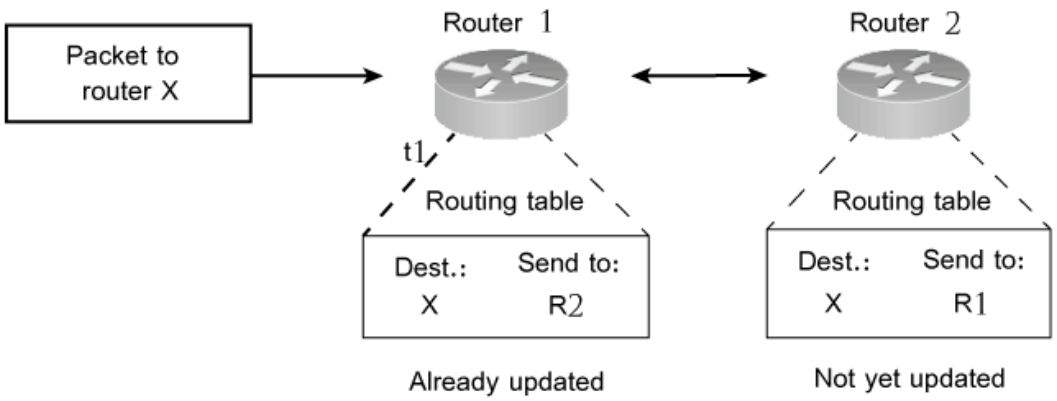
ويمكن تلخيص قضية تعدد المسارات والحل المطلوب في النقاط التالية:

- يمكن أن يتصل الموجه بعدة شبكات مباشرة، كما يمكن أن يتصل الموجه بموجهات أخرى.
- تصل رزمة إلى الموجه تحمل عنواناً لوجهة معينة.
- المطلوب من الموجه اتخاذ قرار، إلى أي من الموجهات التالية سيرسل الرزمة (طبعاً بافتراض أنه ليس متصلا مباشرة مع الشبكة التي تحتوى على الوجهة).

تشبه هذه القضية عملية إعادة التوجيه التي تقوم بها المبدلات. ويعتمد الموجه في عمله على آلية شبيه بعض الشيء بعمل المبدلات الشفافة، إذ يعتمد على وجود جدول يعرف باسم جدول التوجيه routing table، وهو عنوان شبكة الوجهة مع عنوان الموجه التالي.

عندما تصل الرزمة إلى الموجه فإنه يبحث عن السطر الذي يتضمن عنوان شبكة الوجهة وفي حال العثور على السطر يتم إرسال الرزمة إلى الموجه المذكور (يعرف هذا الموجه باسم المحطة التالية Next hop). ويظهر الشكل (3) الآلية المتبعة بهذا الخصوص.

من الواضح أنه من الممكن أن تكون هناك عدة إجابات ممكنة، وبالتالي على الموجه اختيار إحداها. لذلك الغرض هناك حقل ثالث في الجدول يعرف باسم القياس المعياري metric، وهو يعبر عن جودة المسار من وجهة نظر معينة (سنتطرق إلى هذا لاحقاً). لقياس المعياري هو تابع متناقص، وبالتالي فعند وجود عدة نتائج، يتم اختيار النتيجة ذات القيمة الأدنى.



الشكل -3- آلية التوجيه

هناك نقطتان أساسيتان بحاجة إلى توضيح:

- كيف يتم بناء جدول التوجيه
- كيف يتم احتساب القياس المعياري

للإجابة على هذا السؤال بإمكاننا التعامل مع الموجه على أنه جهاز قريب من الجهاز الحاسوبي وأن هناك برنامجاً يدير عملية التوجيه. وينفذ هذا البرنامج خوارزمية معينة تعرف باسم خوارزمية التوجيه routing algorithm. يتم بناء جداول التوجيه عن طريق تبادل رسائل بين الموجهات، يعلم فيها كل واحد الباقين عن الشبكات التي يتصل بها وتكلفة الوصول إلى كل منها. ويقوم البرنامج الذي يعمل على كل موجه بإرسال واستقبال هذه الرسائل وتحديث محتوى جدول التوجيه لديه بناء على الرسائل التي ترده.

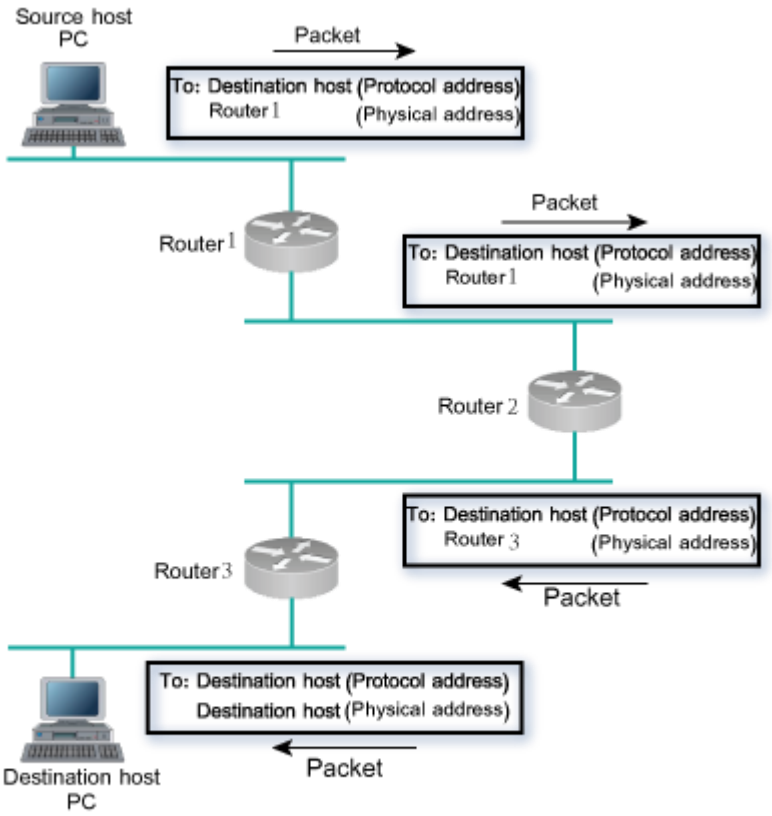
تختلف خوارزميات التوجيه إلى حد كبير بين بعضها البعض في طريقة بناء جدول التوجيه وحساب القياس المعياري ومحتوى الرسائل المتبادلة وطريقة إرسالها.

نلاحظ أيضاً أنه من المحتمل أن تتشكل لدينا حلقات، فالموجه router1 يرسل الرزمة باتجاه router2 والموجه الثاني يعيد إرسالها إلى الموجه الأول. والسبب هو أن المعلومات الموجودة لدى الموجه الثاني بحاجة إلى تحديث. وهذه المشكلة هي إحدى أهم القضايا التي تعالجها الخوارزميات المختلفة، فهناك خوارزميات تتفوق على الأخريات في ما يخص مقاومة تشكل الحلقات. ولكن هذه الخوارزميات بدورها لديها نقاط ضعف أخرى.

هناك مقرر مخصص لمناقشة خوارزميات التوجيه والطريقة التي تعتمدها لبناء الجدول وحساب القياس المعياري وآليات تفادي الحلقات.

3.2. إيصال الرزم

بفرض أن الطريق معروف، يبقى موضوع إيصال الرزم إلى الوجهة، وهو ليس بالأمر الفائق التعقيد.
يظهر الشكل (4) طريقة تبديل الرزم حتى وصولها إلى الوجهة النهائية:



الشكل (4) طريقة تبديل الرزم

عملية تبديل الرزم بسيطة نسبياً، وهي نفسها في معظم خوارزميات التوجيه:
يريد الجهاز إرسال رزمة إلى جهاز آخر من شبكة مختلفة، ويعرف أنه يحتاج أن يرسل ذلك عن طريق الموجه الخاص بشبكته (router 1).
المعضلة هنا هي في طريقة إرسال الرزمة، لأنه لا يمكن أن يضع الوجهة على أنها الموجه router1، لأن هذا يعني أن الموجه أصبح الوجهة النهائية للرزمة وسيستقبلها ولن يعيد إرسالها لأن معلومة عنوان الوجهة النهائية قد اختفت.
يقوم الجهاز المرسل بالتحايل على هذه المعضلة، لأنه يعرف أنه يرسل الرزمة إلى موجه، إذ يحافظ على عنوان الوجهة الأساسي في الرزمة، وعندما يقوم بتقطيعها إلى أطر لإرسالها عن طريق الشبكة المحلية (نذكر ان المرسل والموجه هما على نفس الشبكة) يستخدم العنوان الفيزيائي للموجه عند الإرسال. وبالتالي تصل الإطارات إلى الموجه، الذي سيقوم بتجميعها وإعادتها إلى شكل الرزمة التي يعرف أنه سيقوم بإرسالها.

يكرر الموجه نفس العملية، ولكن مع استخدام العنوان الفيزيائي للموجه router2، لتصل الرزمة إلى الموجه التالي، وهكذا دواليك حتى تصل الرزمة إلى الموجه الأخير المتصل مع الشبكة التي ينتمي إليها حاسب الوجهة فيقوم بتسليمها.

القاعدة التي يتم اتباعها خلال كل مسار الرزمة هي التالية:

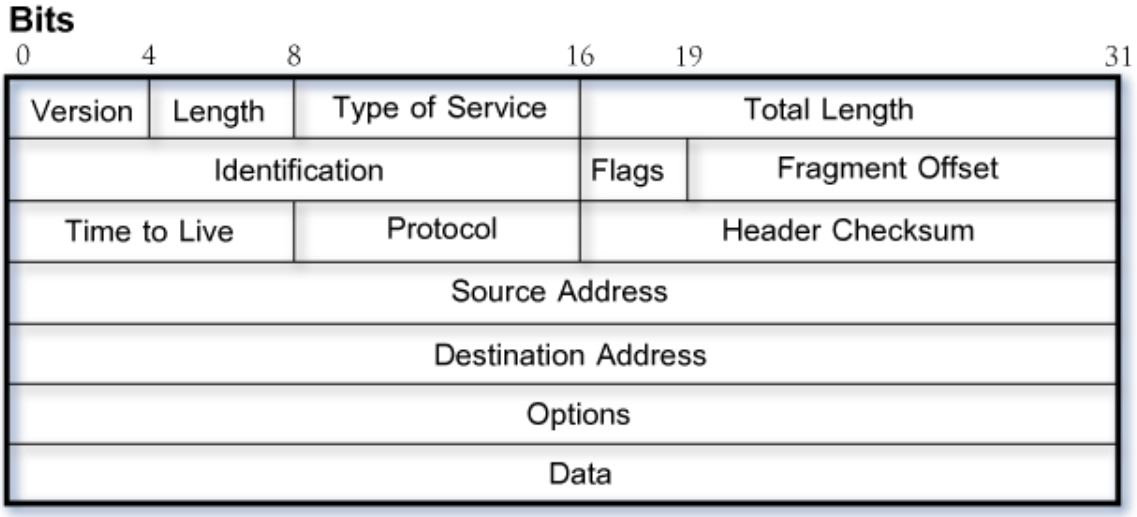
المحافظة على عنوان الشبكة للجهاز المستقبل، وتغيير العنوان الفيزيائي عند كل موجه.

3. وظائف متممة :

بعد أن تعرضنا للوظائف الأساسية التي تقدمها الطبقة الثالثة وشرحنا مبدأ عملها، تبقى بعض النقاط التي تستحق التوضيح والتي نتعرض لها هنا، وهي جميعها خاصة بشبكة الإنترنت وبروتوكولاتها:

1.3. صيغة رزمة البروتوكول IP

هناك إصداران حاليان من البروتوكول IP، الإصدار الرابع وهو الذي لا يزال مستخدماً حتى الآن على شبكة الإنترنت، والإصدار السادس IPv6 الذي ظهر ليحل عدداً من مشكلات الإصدار الرابع ولكنه لايزال حتى الآن غير مستخدم بكثافة كافية تسمح بالقول بأنه فعلياً مستخدم على شبكة الإنترنت. وبالتالي سنركز في حديثنا على البروتوكول IPv4. وفيما يلي توصيف لأهم الحقول في ترويسة الرزمة من هذا البروتوكول:



الشكل -5- رزمة بروتوكول الإنترنت

الإصدار version

يتضمن الحقل الأول رقم الإصدار مرمزاً على أربع بتات، وفي حالة الإصدار الرابع القيمة هي 4 (مفاجأة !!).

طول الترويسة Internet Header Length (IHL)

يتضمن الحقل الثانية وطوله اربع بتات عدد الكلمات التي طولها 32 بت في الترويسة. والسبب هو أن الترويسة ممكن أن تحتوي على عدد متغير من الخيارات. القيمة الدنيا هي 5 (أي 20 بايت) والعظمى هي 15 (أي 60 بايت).

الطول الإجمالي Total Length

طول الحقل 16 بت ويتضمن الطول الإجمالي للرزمة (عدد البايتات) بما فيها الترويسة والبيانات. والقيمة الدنيا هي 20 بايت (لأن الطول الأدنى للترويسة هو 5 بايت + 0 بايت للبيانات). والقيمة القصوى هي 65.535 (القيمة القصوى لعدد ممثل على 16 بت).

بروتوكول protocol

رقم البروتوكول المستخدم، ويتضمن الجدول التالي مثالاً عن أرقام البروتوكولات المستخدمة. وهي معرفة في الوثيقة RFC 790.

عنوان المصدر وعنوان الوجهة: وطول كل منها 4 بايت ويحددها المصدر.

2.3. حماية الشبكة من الحلقات

رأينا في المقطع السابق أنه هناك احتمال واضح لتشكل حلقات، ويمكن أن تكون لذلك أسباب متعددة منها خطأ في البرمجة. ومع أن الخوارزميات والبروتوكولات قادرة بشكل عام على تلافي الحلقات، ولكن يبقى احتمال ظهورها ولو بشكل مؤقت قائماً. وبالتالي فإن تصميم بروتوكول الإنترنت يأخذ بعين الاعتبار الحماية من تلك الحلقات.

تتضمن رزمة الـ IP حقلاً يعرف باسم TTL: Time To Live, وقيمته القصوى 255 باعتبار أنه مرمز باستخدام بايت واحد. يحدد المرسل القيمة الابتدائية للحقل عند إرساله للرزمة (ولتكن 255)، وعندما تعبر أي رزمة موجهاً ما، يقوم الموجه بإنقاص قيمة الحقل بمقدار 1، وعندما تصبح القيمة صفراً يرفض الموجه متابعة الإرسال ويرسل رسالة خطأ إلى المرسل مفادها "لقد تجاوزت الرزمة ا الزمن المتاح Time Exceeded".

والحقل المذكور مبين في الشكل (5) أعلاه ضمن صيغة رزم بروتوكول الإنترنت.

ترسل رسالة الخطأ التي ذكرناها في المقطع السابق باستخدام بروتوكول مخصص لهذا الغرض وهو بروتوكول رسائل التحكم الخاصة بالإنترنت ICMP Internet Control Message Protocol وجميع الأجهزة التي تدعم بروتوكولات IP تستجيب لرسائل هذا البروتوكول.

ومن أهم أنواع الرسائل التي يمكن ان يرسلها البروتوكول ICMP:

- echo-request echo-reply وهي مستخدمة بكثافة في التحقق من كون جهاز ما يعمل أو لا، إذ أن أداة ping المعروفة تعتمد على هذا البروتوكول.
- Destination Unreachable: لا يمكن الوصول إلى الوجهة المطلوبة، وهناك ترميز مرفق في الرسالة يوضح ما هو السبب التفصيلي (مثال: تجاوز الزمن كما رأينا أعلاه).

3.3. التحويل من العنوان المنطقي إلى العنوان الفيزيائي

إذا أردنا أن نلخص آلية العمل التي يطبقها المرسل لإرسال الرزمة إلى المستقبل فهي تختصر بالخطوات التالية:

1. المرسل لديه IPsrc ويريد إرسال رزمة إلى IPdest
2. يسأل المرسل: هل المرسل والمستقبل على نفس الشبكة ؟ يعرف الإجابة عن طريق تطبيق القناع على العنوانين ومطابقة عنوان الشبكة الحاصل.
3. في حال لم يحصل تطابق ين عنواني الشبكة في الخطوة 2 يستنتج المرسل أن المستقبل متصل على شبكة أخرى، وبالتالي يرسل البيانات إلى الموجه كما سبق وعرضنا، ويحتاج المرسل إلى معرفة العنوان الفيزيائي للموجه (يفترض أنه يعرف عنوان الشبكة للموجه فهذا ضمن إعدادات الحاسوب).
4. في حال حصل تطابق، فإن المرسل والمستقبل هما من نفس الشبكة وبالتالي يجب تحويل الرزمة إلى إطارات وإرسالها مباشرة عن طريق الطبقة الثانية. ويحتاج المرسل إلى معرفة العنوان الفيزيائي للمستقبل.

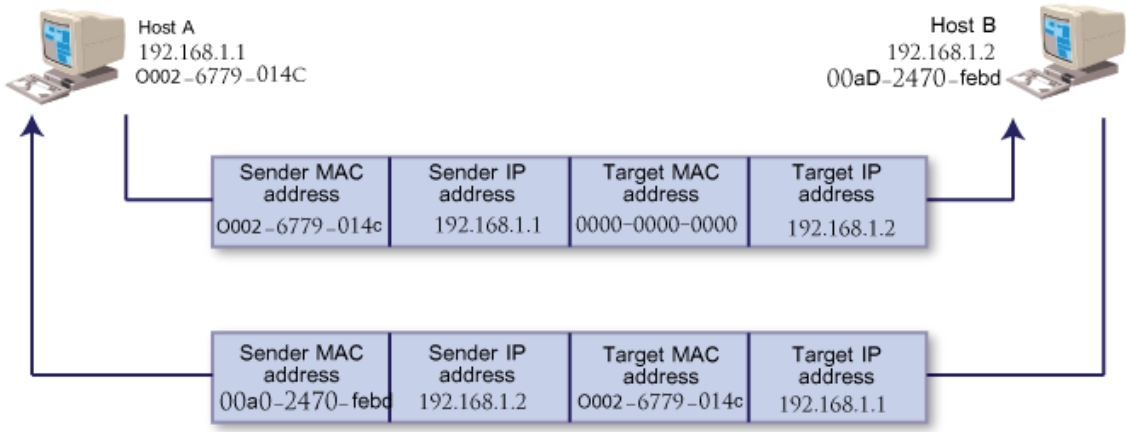
نلاحظ أنه في كلتا الحالتين 3 و4، هناك حاجة لمعرفة عنوان فيزيائي انطلاقاً من عنوان الشبكة. هذه العملية تعرف باسمِ ARP: Address Resolution Protocol. وتستفيد هذه العملية عادة من خدمة البث التي تتيحها شبكة إثرنت (نذكر أنها تطبق فقط ضمن شبكة محلية). وتتضمن الخطوات التالية:

يرسل المرسل رسالة بث مفادها "أبحث عن الجهاز الذي لديه العنوان IPdest"

تكون جميع الأجهزة المتصلة على الشبكة في حالة انتظار لهذا النوع من الطلبات، وعند وصول الطلب، يقارن كل جهاز العنوان المطلوب مع عنوانه الشخصي، فإذا تطابقا يجيب المرسل "أنا صاحب العنوان IPdest، وعنواني الفيزيائي هو Physdest". وتكون الإجابة متضمنة عنوانه الفيزيائي.

تصل الرسالة إلى المرسل الذي يخزنها عنده في جدول يعرف باسم ARP cache بهدف عدم تكرار السؤال لاحقاً. ولهذه المعلومة عمر بحيث تختفي بعد فترة.

ويظهر الشكل (6) تبادل الرسائل بين المرسل والمستقبل بموجب بروتوكول ARP.



الشكل -6- آلية عمل البروتوكولARP

تمارين:

1. ابحث في الإنترنت عن أداة traceroute، وحاول أن تفهم مبدأ عملها الأساسي وكيف تستخدم الحقل TTL في استكشاف الطريق بين المصدر والوجهة.
2. قم بتنصيب البرنامج wireshark https://www.wireshark.org، هذا البرنامج يتيح تحليل الرزم المارة عبر الشبكة. وحاول عن طريق مراقبة الرزم الصادرة والواردة إلى جهاز الحاسوب الخاصة بك استكشاف المعلومات التالية:
   - عناوين المصدر والوجهة لطلبات صفحات الوب
   - طلبات ARP التي يمكن أن تصدر عن جهازك
   - نفذ تطبيق traceroute (في نظام ويندوز اسمه tracert) باتجاه عنوان معروف مثل 8.8.8.8 ولاحظ الرزم الصادرة وإجابات ICMP الواردة وتغير الحقل TTL.
   - ما هو الحقل الذي يسمح للبرنامج بالقول أن الرزم تتبع لبروتوكول HTTP.