الجامعة الافتراضية السورية
SYRIAN VIRTUAL UNIVERSITY

تقانات النقل الرقمي

المهندس محمد عماد العلبي

CC BY ND

ISSN: 2617-989X

Books & Refrences

تقانات النقل الرقمي

المهندس محمد عماد العلبي

من منشورات الجامعة الافتراضية السورية

الجمهورية العربية السورية ٢٠٢٠

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

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

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

محمد عماد العلبي، الإجازة في تقانة الاتصالات، من منشورات الجامعة الافتراضية السورية، الجمهورية العربية السورية، ٢٠٢٠

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

Digital Transport Technologies

Mohammad Emad Alolaby

Publications of the Syrian Virtual University (SVU)

Syrian Arab Republic, 2020

Published under the license:

Creative Commons Attributions- NoDerivatives 4.0

International (CC-BY-ND 4.0)

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

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

الفهرس

الفصل الأول مدخل عام General Introduction ١

١ - نظرة عامة إلى بنية ومكونّات شبكات الاتصالات & General view for structure Components of Communication Networks 2

١ – ١ شبكات النفاذ Access Networks 3

١ – ٢ شبكة التراسل Transmission Networks 3

١ – ٣ الشبكة المركزية Core Networks 3

٢ – شبكة النقل Transport Network 5

٢ – ١ نظرة تاريخية Historical Review 5

٢ – ٢ نظرة وظيفية وطبولوجية Topological & Functional Review 9

٣ – أمثلة عن شبكات النفاذ Access Networks Examples 10

٤ – مخطط الفصول اللاحقة Next Chapters Scheme 11

الفصل الثاني البنية الهرمية الرقمية شبه المتزامنة Plesio-Chronous digital hierarchy (PDH) 12

١ – مقدمة 13

٢ – البنية الهرمية الرقمية شبه المتزامنة 14

٣ – أنواع أنظمة البنية الهرمية الرقمية شبه المتزامنة 15

٣ – ١ دارة الـ E1 15

٣ – ٢ دارة الـ E2 16

٣ – ٣ دارة الـ E3 17

٣ – ٤ دارة الـ E4 18

٤ – إيجابيات وسلبيات البنية الهرمية الرقمية شبه المتزامنة PDH Pros & Cons 18

٤ – ١ الإيجابيات Pros 18

٤ – ٢ السلبيات Cons 18

الفصل الثالث التراتبية الرقمية المتزامنة (Synchronous Digital Hierarchy SDH) 20

١ – مقدمة (Introduction) 21

٢ – الميزات الرئيسية لتراتبية (SDH advantages) 22

٣ – مستويات (أنضدة) النقل المتزامن (SDH Levels) 25

٤ – آليات نقل (اقتران) الروافد على تراتبية (Mapping of tributary signals over SDH) 27

٤ – ١ المماثلة مع عملية شحن البضائع 32

٥ – مفهوم التراصف والمؤشرات (Pointers and alignment) 33

٦ – نقل المعطيات على التراتبية الرقمية المتزامنة 35

٦ – ١ التغليف (wrapping) 36

٦ – ٢ التضامّ (Concatenation) 38

٦ – ٣ إجراء التأطير العام (Generic Framing Procedure “GFP”) 39

٧ – طبقات الإشارة في التراتبية الرقمية المتزامنة وتجهيزاتها (SDH Layers and equipment).....40
٧ – ١ المسار 41
٧ – ٢ مقطع التضميم.....41
٧ – ٣ مقطع إعادة التوليد.....41
٨ – العناصر الرئيسية للبادئه (SOH).....42
٩ – لمحة عملية.....46
الفصل الرابع نمط النقل غير المتزامن Asynchronous Transfer Mode ATM.....48
١ – مقدمة.....49
٢ – بروتوكول النقل غير المتزامن 51
٣ – بنية بروتوكول النقل غير المتزامن.....52
٣ – ١ المستويات الثلاثة لبروتوكول الـ ATM 52
٣ – ٢ الطبقات الثلاث لبروتوكول الـATM.....53
٤ – بنية خلية نظام النقل غير المتزامن 55
٤ – ١ بنية الترويسة في خلايا الـATM.....56
٥ – خصائص القنوات والممرات الافتراضية.....60
٦ – مزايا نمط النقل غير المتزامن.....60
٧ – مساوئ نمط النقل غير المتزامن 60
٨ – تطبيقات نمط النقل غير المتزامن.....61
٨ – ١ تطبيقات الزمن الحقيقي (Real-Time Application) 61
٨ – ٢ خدمات الزمن غير الحقيقي (Non Real Time Service) 61
الفصل الخامس النقل IP Transport.....63
١ – مقدمة.....64
٢ – النموذج المرجعي.....64
٢ – ١ طبقة التطبيقات.....65
٢ – ٢ طبقة التقديم أو التهيئة.....66
٢ – ٣ طبقة الجلسة 66
٢ – ٤ طبقة النقل.....66
٢ – ٥ طبقة الشبكة.....67
٢ – ٦ طبقة وصلة البيانات.....68
٢ – ٧ الطبقة الفيزيائية.....69
٣ – أنواع الشبكات.....70
٣ – ١ شبكات الـ LAN.....70
٣ – ٢ شبكات الـ WAN Wide Area Network.....72
٣ – ٣ شبكات الـMAN Metropolitan Are Network.....73

٤ – بروتوكول الاثرنت 74
٤ – ١ معيار الإثرنت IEEE 802.3 74
٤ – ٢ بنية إطار بروتوكول الإثرنت IEEE 802.3 75
٤ – ٣ عنوان الإثرنت Ethernet Address أو ما يسمى Media Access Control MAC 76
٥ - الشبكات المحلية الافتراضية (VLAN) 77
٦ – بروتوكول الانترنت 82
٦ – ١ بنية بروتوكول الانترنت 82
٦ – ٢ أشهر البروتوكولات العاملة في هذه الطبقة 84
٧ – بروتوكول MPLS Multi-Protocol Label Switching 87
٧ – ١ مقدمة 87
٧ – ٢ لمحة عن آلية عمل بروتوكول MPLS 88
٧ – ٣ بنية شبكة MPLS 90
٧ – ٤ بنية ترويسة الـ MPLS 92
٧ – ٥ المميزات الرئيسة لبروتوكول MPLS 93
٧ – ٦ المساوئ الرئيسة لبروتوكول MPLS 94
الفصل السادس الوصلات المكروية (Microwave links) 96
١ – مقدمة Introduction 97
١ – ١ تعريف الوصلة المكروية Microwave link definition 97
١ – ٢ مزايا وعيوب الوصلة المكروية Microwave link advantages & disadvantages 97
١ – ٣ استخدامات الوصلات المكروية Microwave links application 98
٢ – البنية الفيزيائية للوصلات المكروية Microwave link architecture 98
٢ – ١ أجزاء الوصلة المكروية Microwave link components 98
٢ – ٢ أنواع الوصلات المكروية Microwave links types 103
٢ – ٣ محددات الوصلة المكروية Microwave link parameters 104
٢ – ٤ عوامل اختيار الوصلة المكروية Microwave link selection factors 107
٣ – تخطيط الوصلة المكروية Microwave link planning 108
٣ – ١ انتشار الموجة الراديوية (Radio Wave propagation) 108
٣ – ٢ تخطيط المسار (Path Planning) 110
٣ – ٣ رسم جانبي / مسقط المسار (Path Profile) 113
٣ – ٤ ميزانية الوصلة المكروية (Microwave link budget) 114
٣ – ٥ التباين (Diversity) 116
٣ – ٦ التواجدية (Availability) 116
٣ – ٧ تخطيط التردد (Frequency Planning) 117

٤ – حماية الوصلة المكروية (Microwave link Protection) 118
٤ – ١ الحماية باستخدام تقنية أهبة الاستعداد (Hot Stand-by HSB) 118
٤ – ٢ التباين الترددي (Frequency Diversity "FD") 119
٤ – ٣ التباين الفراغي (Space Diversity "SD") 120
٤ – ٤ الحماية الحلقية (Ring Protection) 121
٥ – لمحة عملية Practical glance 122
٥ – ١ شركة إريسكون Ericsson 122
٥ – ٢ شركة هواوي Huawei 123
٥ – ٣ شركات أخرى 123
الفصل السابع الوصلات الضوئية (الليزرية) Free Space Optic 125
١ – مقدمة 126
٢ – مزايا وعيوب الوصلات الضوئية 126
٣ – البنية القيزيائية للوصلات الضوئية 127
٤ – آلية عمل للوصلات الضوئية 128
٥ – لمحة عملية 129
الفصل الثامن الاتصالات الساتلية Satellite Communication 131
١ – مقدمة (Introduction) 132
٢ – ميزات ومساوئ الاتصالات الساتلية (Advantages and Disadvantages) 132
٣ – مدارات السواتل الصنعية (Satellite Orbits) 133
٣ – ١ المدار المستقر (Geostationary Earth Orbit GEO) 133
٣ – ٢ المدار المتوسط الارتفاع (Medium Earth Orbit "MEO") 133
٣ – ٣ المدار المنخفض (Low Earth Orbit "LEO") 133
٤ – ترددات السواتل الصنعية (Satellite frequency bands) 134
٥ – أنواع السوائل الصنعية (Satellite Types) 136
٥ – ١ تصنيف حسب بنية الساتل الصنعي (Satellite Types) 136
٥ – ٢ حسب تغطية الساتل (Based on Beam) 136
٥ – ٣ حسب نوع الخدمة (Based on Service Type) 137
٥ – ٤ المحطات الأرضية (Earth Stations) 139
٦ – ميزانية الوصلة للسواتل الصنعية (Satellite Link Budget) 142
٧ – لمحة فنية (Practical Overview) 143
٧ – ١ تجهيزات المحطات الأرضية (VSAT Equipment) 143
٧ – ٢ مزودو الخدمة (مشغلو السواتل الصنعية ((Satellite Service providers 144
الفصل التاسع الاتصالات عبر الألياف الضوئية 146

١ – مقدمة.....147
٢ – مميزات ومساوئ الألياف البصرية.....147
٢ – ١ المميزات.....147
٢ – ٢ المساوئ.....148
٣ – مكونات نظام الاتصال الضوئي.....148
٤ – الليف الضوئي.....149
٤ – ١ ظاهرة الانعكاس الداخلي الكلي.....150
٤ – ٢ أنواع الألياف الضوئية.....151
٤ – ٣ أنواع الألياف الضوئية من حيث مواد التصنيع.....153
٥ – العوامل المؤثرة في التراسل عبر الألياف الضوئية.....154
٥ – ١ التخامد (Attenuation).....154
٥ – ٢ التشتت (Dispersion).....155
٦ – طرق التضميم الضوئي.....157
٦ – ١ التضميم باقتسام المكان / الفضاء (Space Division Multiplexing SDM).....157
٦ – ٢ التضميم باقتسام طول الموجة (WDM).....158
٧ – DWDM.....159
٧ – ١ الوحدات الوظيفية الرئيسية لـ DWDM.....159
٨ – لمحة عن التوصية المعيارية (Optical Transport Networks G.709).....163
٩ – لمحة فنية.....165
الفصل العاشر شبكات النفاذ Access Network.....170
١ – مقدمة.....171
٢ – استخدام الدارات المؤجّرة.....172
٣ – استخدام شبكات التلفزة الكابلية.....172
٤ – استخدام الوصلات اللاسلكية (WLL, WiFi, WiMAX).....173
٥ – نظم الاتصالات الخلوية.....173
٥ – ١ أنظمة الجيل الأول.....174
٥ – ٢ أنظمة الجيل الثاني.....174
٥ – ٣ أنظمة الجيل الثالث.....174
٥ – ٤ أنظمة الجيل الرابع.....174
٥ – ٥ أنظمة الجيل الخامس.....175
٦ – خط المشترك الرقمي " DSL ".....175
٦ – ١ خط المشترك الرقمي غير المتناظر " ADSL ".....176
٦ – ٢ خط المشرتك الرقمي العالي السرعة HDSL.....180
٦ – ٣ خط المشترك الرقمي المتناظر SDSL.....180

٦ – ٤ خط المشترك ذو السرعة العالية جداً VDSL 180
٦ – ٥ خاتمة ولمحة عملية 181
٧ – شبكات النفاذ الضوئية 182
٧ – ١ مكونات الشبكات الضوئية غير النشطة 184
٧ – ٢ الشبكات الضوئية غير النشطة نوع جيجابت (Gigabit PON "GPON") 186

الفصل الأول
مدخل عام General Introduction

1. نظرة عامة إلى بنية ومكوّنات شبكات الاتصالات & General view for structure & Components of Communication Networks:

شهدت الاتصالات تغيّرات عميقة خلال العقود الماضية، على الصعيدين التقاني والاقتصادي، بحيث تحوّلت شبكات الاتصالات من مجرد وسيلة لتقديم خدمة عمومية (كالاتصالات الهاتفية التقليدية) إلى "كيانات" اقتصادية قائمة بذاتها، لها تأثير ملموس على التنمية، ويتطلّب بناؤها وصيانتها استثمارات كبيرة، ويخضع تشغيلها إلى المنافسة وقواعد تنظيم السوق market regulation بين عدة مشغّلين operators، سواء على المستوى الوطني أو الإقليمي أو العالمي. وظهر ذلك جلياً بوجه خاص في تطوّر شبكات الاتصالات النقّالة mobile communications وتطوّر الإنترنت وشبكات تبادل المعطيات (أو البياناتData)، التي ضاعف استخدامها أضعافاً مضاعفة حركةَ الاتصالات traffic حول العالم، وأدى إلى تنامي الحاجة إلى توفّر بنى تحتية infrastructure صلبة، قادرة على حمل هذه الحركة المتزايدة باطّراد.

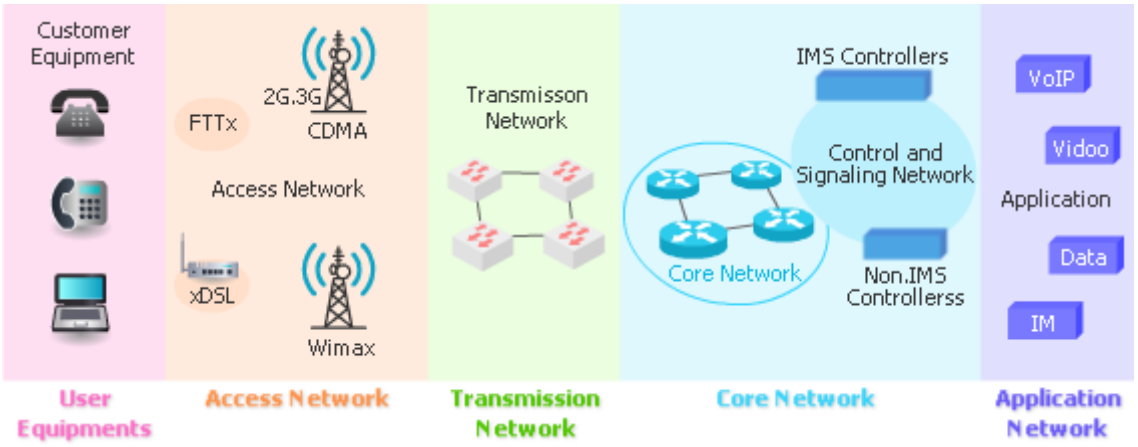
قبل ظهور الاتصالات النقّالة والإنترنت، كان يدير شبكات الاتصالات "التقليدية" (شبكات الهاتف الثابت بوجه خاص) مشغّلون يوصفون بأنهم "متكاملون شاقولياً" vertically integrated، أي إن كل مشغّل كان يملك البنى التحتية في شبكته كاملةً (ومن ضمنها "شبكات المشتركين")، ويقوم بتقديم الخدمات عليها، ويرتبط بمشغّلين آخرين (عادة في دول أخرى أو على الأقل في مناطق جغرافية مجاورة) للسماح بالاتصال بين المشتركين في تلك الشبكات المختلفة حين اللزوم (وهذا ما يُعرف بـ "الترابط الشبكي" network interconnection). وقد نمت شبكات الاتصالات "الثابتة" على هذا النحو حتى الثمانينيات من القرن العشرين، وترابطت فيما بينها، مكوّنة ما قد يكون أضخم كيان صنعه الإنسان حتى ذلك التاريخ، ومن أكثرها وثوقية reliability.

أدى ظهور الشبكات النقّالة في منتصف الثمانينات وتحوّل الإنترنت إلى شبكة "تجارية" في مطلع التسعينيات من القرن العشرين إلى انقلاب جذري في طريقة تقديم الخدمات، كان من أبرز تجلياته الآتي:

- إلى جانب الشبكات "الثابتة" التي تصل إلى منازل ومكاتب المشتركين، وتعتمد أساساً على الدارات النحاسية (التي تعرف باسم الدارات المحلية local loops المعروفة عملياً بكابلات الهاتف النحاسية) أو أحياناً على الوصلات اللاسلكية الثابتة (التي تعرف باسم الدارات المحلية اللاسلكية wireless local loops)، وُضعت في الخدمة شبكات تتمتع بخاصية "التجوال" mobility، أي إنها تسمح للمشترك بالوصول إلى الخدمة أياً كان موقعه، ما دام هذا الموقع يقع في نطاق "تغطية" coverage الشبكة. وبذلك ظهر إلى الوجود "كائن" جديد باسم "شبكات النفاذ" access networks (محلّ شبكات المشتركين القديمة)، وأخذ يتطوّر تطوّراً مستقلاً عن باقي أجزاء الشبكة، فظهرت شبكات النفاذ النحاسية والضوئية واللاسلكية والنقّالة...
- تطور أساسي للشبكة المركزية Core Network من المقاسم الهاتفية التي تحدّد مسار الاتصال عند كل مكالمة، إلى مكوّن متقدم مسؤول عن توجيه الحركة من مكان إلى آخر والتحكّم في الاتصال، وهو يختلف تبعاً لنوع هذه الحركة (معطيات حاسوبية أم إشارات صوتية أم فيديوية رقمية أم غيرها)، فيكوّن مثلاً شبكة من مراكز التبديل (المقاسم الهاتفية) telephone exchanges/switches في حالة اتصالات الصوت، وشبكة من الموجّهات routers ومبدلات المعطيات data switches وما شابهها في حالة اتصالات المعطيات data communications، مع إجراءات التحكّم الخاصة في كل حالة.

- وظهرت شبكات التراسل transmission networks كما ويطلق عليها أحياناً شبكات النقل (transport networks)، لنقل الحركة أياً كان نوعها (معطيات حاسوبية أم إشارات صوتية أم فيديوية رقمية أم غيره) على شكل دفقات من البتّات من شبكات النفاذ إلى الشبكة المركزية وبالعكس بالإضافة لنقلها بين الشبكات المركزية المختلفة. وهي اليوم تعتمد في المقام الأول على التقانات الضوئية الرقمية (إلى جانب تقانات أخرى مستخدمة أحيانا كاللاسلكية)، وتشمل خطوط التراسل وعقد التضميم (أو التجميع) multiplexing الرقمي والضوئي، التي تسمح بضمّ (جمع) عدد من الإشارات معاً لنقلها على خط واحد.
- بعد أن كان مشغّل الهاتف الثابت يملك إمكانيات النفاذ والتراسل وتوجيه الحركة، إضافة إلى تقديم "الخدمة الانتهائية" إلى المشتركين، التي كانت مجرد خدمة بسيطة تقتصر على إجراء المكالمة الهاتفية وما شابهها، أدى ظهور الإنترنت إلى الفصل أيضاً بين مقدّمي خدمات الإنترنت (Internet service providers ISP)، الذين يقدّمون خدمات النفاذ والتراسل، ومقدّمي خدمات التطبيقات (application service providers ASP)، الذين يقدّمون الخدمة الانتهائية (أي التطبيق المطلوب) للمستخدمين.
- وأخيراً، أدى ظهور إمكانية نقل الصوت والفيديو على شبكات المعطيات إلى سقوط حاجز آخر هو الحاجز بين شبكات البثّ broadcast networks (التي تقدّم البثّ التلفزيوني، السلكي أو اللاسلكي) وشبكات الاتصالات، بحيث أصبحت اتصالات الصوت والبثّ التلفزيوني ونقل الفيديو، مثلاً، من الخدمات المقدّمة اليوم على شبكة الإنترنت، والتي تُحمل حركتها على شبكة التراسل.

استناداً إلى ما سبق، يمكن تمثيل بنية شبكة الاتصالات اليوم بما هو مبيّن في 1-1، والذي يحتوي المكونات التالية:



الشكل 1-1البنية العامة لشبكة الاتصالات

1.1. شبكات النفاذ Access Networks:

لوصل طرفيات terminals المشتركين إلى شبكة الاتصالات (التراسل ومنها للشبكة المركزية باتجاه الوجهة النهائية المطلوبة). ويمكن أن يكون المشتركون بالطبع متصلين بشبكات نفاذ مختلفة. وقد تكون شبكات النفاذ بسيطة نسبياً (دارات محلية نحاسية، وصلات لاسلكية ثابتة، الخ.)، أو أكثر تعقيداً (شبكات النفاذ الضوئية)، وقد تسمح أيضاً بالحركية (شبكات النفاذ النقّالة). ويمكن أحياناً أن يجري الاتصال عبر مجموعة متعاقبة من شبكات النفاذ.

2.1. شبكة التراسل Transmission Networks:

لنقل الحركة أيا كان نوعها على شكل دفقات من البتّات من شبكات النفاذ إلى الشبكة المركزية وبالعكس بالإضافة لنقلها بين الشبكات المركزية المختلفة. وتمتدّ شبكات التراسل، وتترابط، على مستوى المدن والمناطق والدول، وعلى المستوى العالمي. وشبكات التراسل الحديثة تعتمد في غالبيتها العظمى على التقانات الضوئية.

3.1. الشبكة المركزية Core Networks:

تقوم بالتحكّم في الحركة أساساً عن طريق ما يعرف بـ "التشوير" signaling (إنشاء الاتصال، إنهاؤه، الخ.) وتوجيهها من مصدرها إلى وجهتها باختيار الطريق المناسب عبر المقاسم المبدلات والموجهات.

وسنعرض في الفقرات التالية من هذا المدخل عرضاً إجمالياً للمفاهيم الأساسية لشبكات التراسل وشبكات النفاذ لرسم خطوطها العريضة[1]، على أن تُخصّص الفصول اللاحقة لتوسيع هذه المفاهيم وتقديم التفاصيل المتعلّقة بها. مع العلم أن هذه الأملية تركز بشكل أكبر على شبكات التراسل لأن العديد من شبكات النفاذ يتم تغطيتها في مواد أخرى كالاتصالات الخلوية واللاسلكية.

[1] يكفي الطالب في هذه المرحلة فهم لمحة إجمالية حيث سيتم بحث كل التقنيات المذكورة فيما بعد بالتفصيل في الفصول القادمة

2. شبكة النقل Transport Network:

شبكات التراسل، إذاً، هي ذلك الجزء الضخم "غير المرئي" من شبكات الاتصالات الذي يوفّر خدمات الربط البيني سواءً الوطني أو الإقليمي أو الدولي اللازم لحمل حركة الصوت والمعطيات والفيديو وغيرها، كما يوفّر أيضاً خدمات الربط اللازمة لإنشاء الشبكات الخصوصية private networks التي تعتمد على الدارات المؤجّرة من البنى التحتية للشبكات العمومية. وقد تطوّرت تقانات شبكات التراسل تطوراً كبيراً في العقود الماضية استجابة لتنامي الحاجة إلى خدمات جديدة، مع ما تتطلّبه من زيادة في عرض الحزمة المرغوبة.

ويمكن النظر إلى شبكات التراسل على أنها مجموعة التجهيزات والوصلات links التي تتولى، بوثوقية، حمل وإيصال الحركة (دفقات البتّات) المتبادلة بين عناصر شبكة الاتصالات network elements وفي ما بين شبكات الاتصالات المختلفة. ومع نمو شبكات التراسل في الامتداد (الجغرافي) والسعة، أصبح من الضروري أيضاً توفير نظم متطوّرة لتشغيلها وإدارتها operation and management، بغية ضمان مستوى عال من الوثوقية.

وسنعرض فيما يلي الخطوط العامة لشبكات التراسل من منظورين: المنظور التاريخي، والجغرافي، والبنيوي.

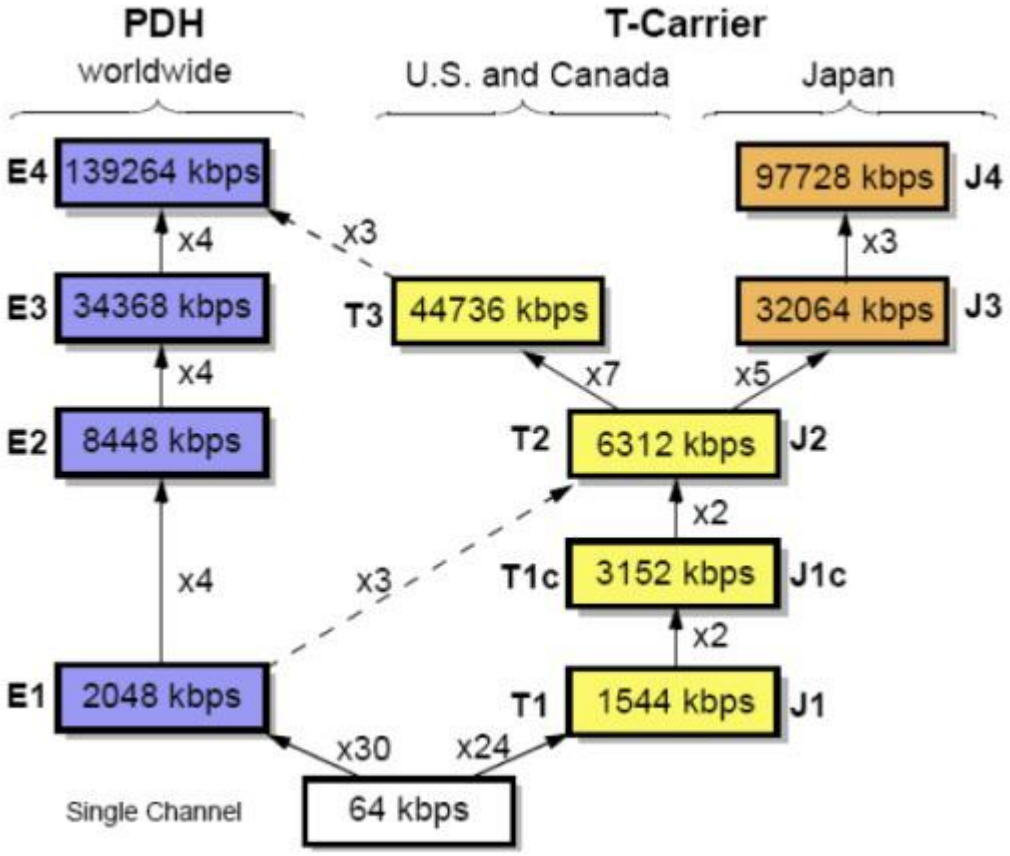
1.2. نظرة تاريخية Historical Review:

تاريخياً، لم تكن أولى شبكات التراسل أكثر من أزواج من الأسلاك النحاسية المنفصلة التي يصل كل منها نقطة بنقطة point to-point (مجموعة أحياناً ضمن كابلات cables)، أما عملية التبديل فكان يجريها عاملو أو عاملات "المقسم" الهاتفي يدوياً. ومن الواضح أن هذه الطريقة لم تكن قابلة للتوسّع مع ازدياد عدد النقاط المطلوب الوصل بينها، ومن ثمّ فقد ظهرت الحاجة إلى تقنيات التضميم التي كان الهدف منها حمل أكثر من "قناة" channel صوتية واحدة على ذات الزوج من الأسلاك النحاسية. ولما كانت القنوات الصوتية في البداية تماثلية analog، فقد جرى بصورة طبيعية استخدام التضميم باقتسام التردد (frequency-division multiplexing FDM)، الذي يناسب الإشارات التماثلية. غير أن نقل الإشارة التماثلية على أسلاك النحاس لمسافات طويلة يؤدي –كما هو معروف– إلى تخامد في مستوى الإشارة (وزيادة في نسبة الإشارة إلى الضجيج) ويتطلّب استخدام مضخّمات على طول المسار. لهذا السبب، فقد استُخدمت أيضاً الأمواج المكروية microwaves لنقل الإشارات التماثلية إلى مسافات بعيدة عوضاً عن الكبال النحاسية ومن ثم ظهرت أيضاً الاتصالات عبر الأقمار الصنعية والتي يمكنها وصل قارات ببعضها.

ومع دخول التقانات الرقمية إلى عالم الاتصالات (منذ ستينيات القرن العشرين)، تحسّن أداء شبكات التراسل تحسّناً كبيراً. فعلى عكس الإشارة التماثلية، يمكن –في شروط معيّنة– إعادة توليد regeneration الإشارة الرقمية على طول مسار الإرسال مرّات عديدة، على نحو يضمن عملياً عدم وجود أخطاء في الإرسال. أما التضميم الذي هو أكثر ملاءمة للإشارات الرقمية فهو التضميم باقتسام الزمن (time-division multiplexing TDM) (أو التضميم الرقميdigital multiplexing اختصاراً)، الذي طغى استخدامه منذ ذلك الحين في تضميم الإشارات المحمولة بواسطة الكبال النحاسية والأمواج المكروية على حد سواء.

وبالطبع، فالتضميم يجري على مستويات متتابعة، أي أن الإشارات من مستوى ما يجري تضميمها معاً لتوليد إشارة من المستوى التالي، وهذا يؤلّف ما يسمى بـ "التراتبية" hierarchy. ويطلق على الإشارة الرقمية من المستوى n في أميركا الشمالية اسم DSn (أو Tn)؛ وفي اليابان (Jn) ، أما في أغلب أنحاء العالم (ومنها بلادنا)، فالتراتبية المعتمدة مختلفة

بعض الاختلاف، والتسمية المستخدمة للإشارة المضمّمة من المستوى n هي $E(n)$. وقد جرى تقييس هذه التراتبية – في ذلك الحين– لدى اللجنة الاستشارية الدولية للبرق والهاتف CCITT باسم "التراتبية الرقمية قُرْب المتزامنة" (Plesiochronous Digital Hierarchy PDH). وتشير كلمة "قرب" إلى أن الإشارات المضمّمة ليست متزامنة تماماً فيما بينها، بل قريبة من التزامن، بنسبة تباين محدّدة مسموح بها. ويعرف الشكل 1–2 الإشارات التي تكوّن هذه التراتبية المستخدمة في شبكات التراسل، ومقارنتها بالإشارات المستخدمة في أميركا الشمالية واليابان.



الشكل 1–2 بنية التراتبية الرقمية قُرْب المتزامنة

ومن الجدير بالذكر هنا أن إجراءات التشغيل والإدارة في التراتبية الرقمية قرب المتزامنة محدودة، وتقتصر على بعض الإمكانيات لـ "تأطير" الإشارة framing وكشف الأخطاء error detection، وهو ما جعل عمليات التشغيل والإدارة (والوضع في الخدمة والصيانة، الخ.) في شبكات التراسل التي تستخدم تلك التراتبية مكلفة في الجهد والمال والوقت.
وقد أدى استخدام الألياف الضوئية (أو البصرية) fiber optics (منذ ثمانينيات القرن العشرين عملياً) إلى تحسين كبير في سعة (سرعة) وجودة الإرسال الرقمي، مقارنة بالأسلاك النحاسية وحتى بالأمواج المكروية. وقد استُخدمت في بداية الأمر التراتبية قرب المتزامنة الموجودة لنقل الإشارات على الألياف الضوئية، ولكن السعة التي تتيحها التقانات الضوئية كانت أكبر بكثير من تلك المعرّفة في تلك التراتبية، إضافة إلى أن التطوّر التقاني قد سمح أيضاً بتحسين كبير في تقنيات التزامن على الشبكة. لهذا السبب، كان لا بدّ من تعريف تراتبية جديدة للتضميم الرقمي، فجرى في أميركا الشمالية تعريف

ما سُمّي بـ "الشبكة الضوئية المتزامنة" (Synchronous Optical Network SONET)، ولدى الاتحاد الدولي للاتصالات تعريف ما سُمّي بـ "التراتبية الرقمية المتزامنة (Synchronous Digital Hierarchy SDH) ، التي صُمّمت على نحو يضمن "التوافق" compatibility مع التراتبية قرب المتزامنة. واغتُنمت هذه الفرصة لإيجاد حل لمشكلة التوافق بين التراتبيات القديمة المستخدمة في أميركا الشمالية وفي باقي أنحاء العالم. إضافة إلى ذلك، فقد جرت الاستفادة من الإمكانيات الكبيرة التي توفّرها التقانات الضوئية لتعريف إجراءات متطوّرة (ومؤتمتة) لتشغيل وإدارة الشبكة. ويُعرّف الجدول التالي الإشارات التي تكوّن التراتبية الرقمية المتزامنة

SDH level	Payload bandwidth (kbps)
STM-1	150,336
STM-4	601,344
STM-16	2,405,376
STM-64	9,621,504
STM-256	38,486,016

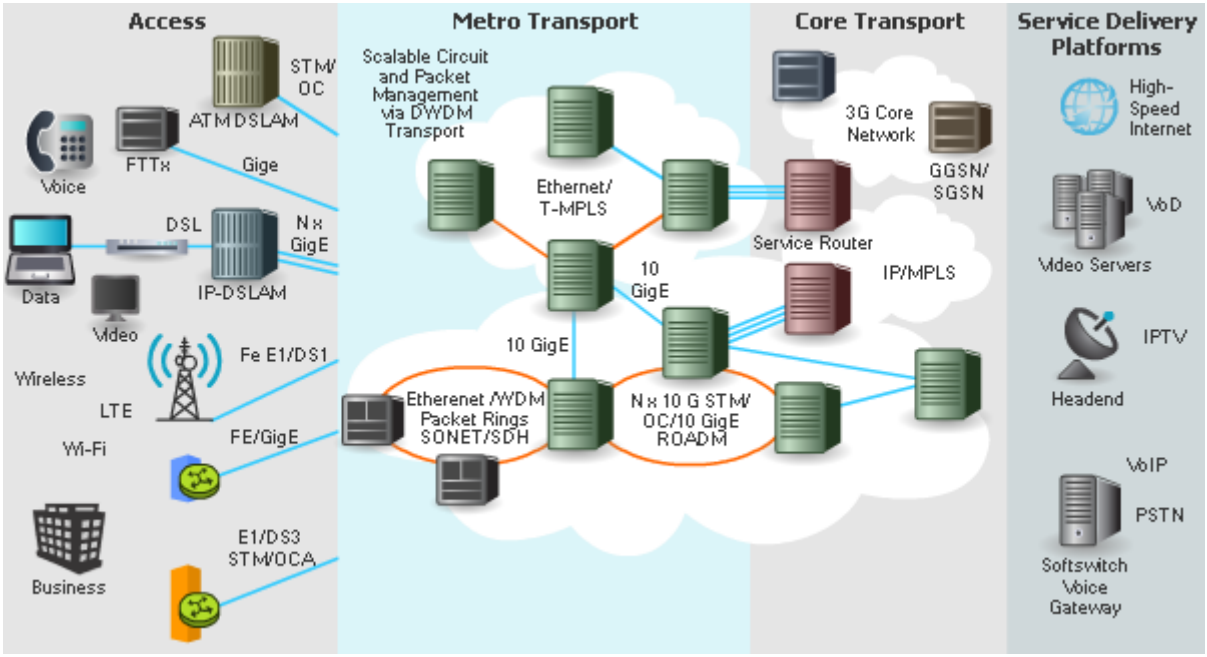
الجدول 1-1 أنماط دارات الـ SDH مع معدلات النقل لكل منها

ومع التقّدم المطّرد المحرز في مجال الإلكترونيات الضوئية، فقد جرى البناء على التراتبية الرقمية المتزامنة لزيادة سعات وسرعات شبكات التراسل باستخدام ما يُعرف بـ "التضميم باقتسام طول الموجة" (wavelength-division multiplexing WDM)، أي بنقل إشارات رقمية متعدّدة عالية السرعة على ذات الليف الضوئي، بحيث تُحمل تلك الإشارات على أطوال موجات ضوئية مختلفة، وفي هذا نوع من الدمج بين التضميم الرقمي والتضميم التماثلي. ومنذ ذلك الحين، ساد في العالم عملياً استخدام شبكات التراسل المعتمدة على التراتبية الرقمية المتزامنة ثم على التضميم باقتسام طول الموجة، وبوجه خاص ما يعرف بـ "التضميم الكثيف باقتسام طول الموجة" (DWDM dense wavelength-division multiplexing)، التي تحمل حركة الاتصالات بأنواعها (الاتصالات الصوتية، اتصالات المعطيات، الاتصالات الفيديوية، الخ.) المتنامية باطراد. وقد جرى في أواخر القرن العشرين تعريف شبكة ضوئية جديدة لدى الاتحاد الدولي للاتصالات، تزاوج بين مزايا التراتبية الرقمية المتزامنة والتضميم الكثيف باقتسام طول الموجة، حملت -ببساطة- اسم شبكة النقل الضوئية (Optical Transport Network OTN).

ومؤخراً ومع التطور الهائل لشبكات IP والمخصصة أصلا للشبكات الحاسوبية والإنترنت أصبح بالإمكان استخدامها أيضا لأنواع تراسل متقدمة لتخديم شبكات الاتصالات باستخدام بروتوكولات متقدمة نحو MPLS.

2.2. نظرة وظيفية وطبولوجية Topological & Functional Review:

بعد هذا العرض المختصر لتطور شبكات التراسل الرقمي تاريخياً، لنُلقِ الآن نظرة سريعة على الطبيعة الوظيفية لتلك الشبكات، كما هو مبيّن في الشكل 1-3، محاولين تصنيفها وفقاً لذلك.

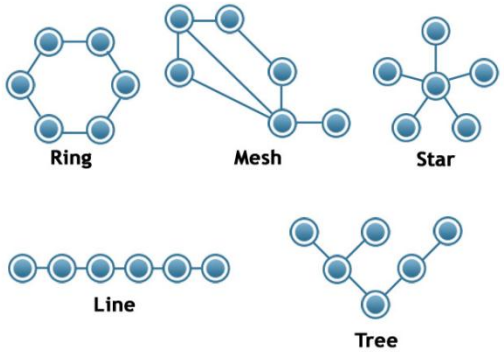


الشكل 1-3 الطبيعة الوظيفية لشبكات التراسل الرقمي

رأينا أن شبكات التراسل تسمح بوصل شبكات النفاذ (والتي توصل إليها طرفيات المشتركين) إلى الشبكة المركزية التي تبدل (توجه) حركة المشتركين إلى الطرف الإنتهائي المطلوب (مثلا مشترك آخر او شبكة الإنترنت) عبر شبكة التراسل. ففي حالة الاتصال الصوتي التقليدي، مثلاً، تصل شبكةُ النفاذ طرفيةَ المشترك شبكة التراسل ومنها إلى الشبكة المركزية، التي توجه الحركة إلى طرفية مشترك آخر عبر شبكة التراسل.

يُسمى الجزء من شبكة التراسل الذي يتصل مباشرة بشبكة النفاذ بـ Access Transmission Network والتي توصل بدورها بعقد رئيسية على مستوى منطقة عمرانية محدّدة (مدينة أو بلدة وضواحيها) ويعرف هذا الجزء بشبكة التراسل المدينية metropolitan (metro) transmission network. وتتصل شبكات التراسل المدينية فيما بينها عن طريق ما يُسمى بشبكة التراسل المركزية Core Transmission Network. ومن الواضح أن شبكة التراسل المركزية تغطي مسافات أطول من تلك التي تغطيها الشبكات المدينية. كما ويطلق على شبكة التراسل المركزية الواصلة بين المدن أو الدول بالشبكة الفقارية (Backbone). وتستخدم الشبكات المركزية تقانات تسمح عادة بسرعات أعلى للنقل (سعة أو عرض حزمة أكبر) تتناسب مع طول المسافة، ثم ينتقل استخدام هذه التقانات تدريجياً نحو الشبكات المدينية مع نضج التقانة وانخفاض كلفتها والتنامي المستمر في متطلّبات عرض الحزمة.

ويبيّن الشكل 1-4 أيضاً استخدام أشكال مختلفة من الطبولوجيا في شبكات التراسل مثل الطبولوجيا الخطية Line، والمتشابكة mesh، والنجمية Star والحلقية ring. وتعدّ الطبولوجيا الحلقية من أكثر تلك الأشكال شيوعاً، بسبب خصائصها التي تسمح بتحمّل الأعطال وسهولة توجيه الحركة.



الشكل 1-4 أشكال الطبولوجيا في شبكات التراسل

3. أمثلة عن شبكات النفاذ Access Networks Examples:

تخرج الدراسة التفصيلية لشبكات النفاذ عن نطاق هذه الأُملية. غير أننا سندرس باختصار بعضا من شبكات النفاذ وخصوصا تلك المتعلقه بشبكات التراسل. مع العلم أن العديد من شبكات النفاذ وخصوصاً الراديوية يتم تغطيتها في مقررات دراسية أخرى ضمن البرنامج.

كما ذكرنا سابقاً فإن شبكات النفاذ هي الشبكات التي يتم وصل طرفيات terminals المشتركين إليها مباشرة للولوج إلى شبكة الاتصالات (التراسل ومنها للشبكة المركزية باتجاه الوجهة النهائية المطلوبة) ويمكن تقديم خدمات متعددة بواسطتها للمستخدمين النهائيين. على سبيل المثال لا الحصر: مكالمات صوتية، فيديو، تلفزة، إنترنت، ... ويمكن أن يكون المشتركون بالطبع متصلين بشبكات نفاذ مختلفة. تتميّز شبكات النفاذ بأنها أكبر أجزاء شبكات الاتصالات تكلفة، وذلك بسبب امتدادها الجغرافي الواسع (للوصول إلى المشتركين كافة، في المدن والأرياف) كما أنها كثيراً ما تكون "نقاط اختناق" bottlenecks في انسياب حركة الاتصالات إجمالاً، وبخاصة مع ازدياد نهم المشتركين إلى عرض الحزمة (خدمات الفيديو أو التلفزة على الشبكة مثلاً)؛ لهذا السبب، يقوم مشغّلو الاتصالات باستمرار بإدخال تقانات جديدة في شبكات النفاذ مما أدى لتنوعها الواسع. وبشكل عام يمكن تقسيمها لنوعين رئيسيين:

- شبكات نفاذ راديوية (لاسلكية) (Radio access networks RAN)

نحو شبكة GSM ، شبكة الجيل الثالث UMTS، شبكة الجيل الرابع LTE، شبكة WiMAX، شبكة Wi-Fi المدينية (Metro Wi-Fi).

- شبكات نفاذ سلكية

نحو المودیم الحاسوبية الاعتيادية، شبكة المشترك الرقمية DSL، شبكات النفاذ الضوئية FTTX, GPON، شبكات الكابل (كالتلفزة الكبلية مثلا) ("CMTS" Cable Modem Termination System).

كما ويجدر الذكر أن شبكات النفاذ التي تؤمن خدمة انترنت سريعة تعرف بشبكات النفاذ بالحزمة العريضة broadband إلى الإنترنت، وكل الأمثلة المذكورة أعلاه تندرج تحت هذا التصنيف عدا شبكة GSM والمودیم الحاسوبية الاعتيادية.

4. مخطط الفصول اللاحقة Next Chapters Scheme:

بعد هذا العرض السريع للخطوط العريضة لشبكات التراسل وشبكات النفاذ، سنعرض في الفصول اللاحقة ببعض التفصيل المواضيع الآتية:

نبدأ بدراسة شبكات التراسل حيث نمهد بدراسة البروتوكولات الرئيسية للتراسل وتشمل البروتوكلات التالية:

- التراتبية الهرمية الرقمية شبه المتزامنة: (Plesio-Chronous digital hierarchy PDH)
- التراتبية الرقمية المتزامنة (Synchronous Digital Hierarchy SDH)
- نمط النقل غير المتزامن Asynchronous Transfer Mode ATM
- الجزء المتعلق بالتراسل من شبكات IP نحو تقنية MPLS

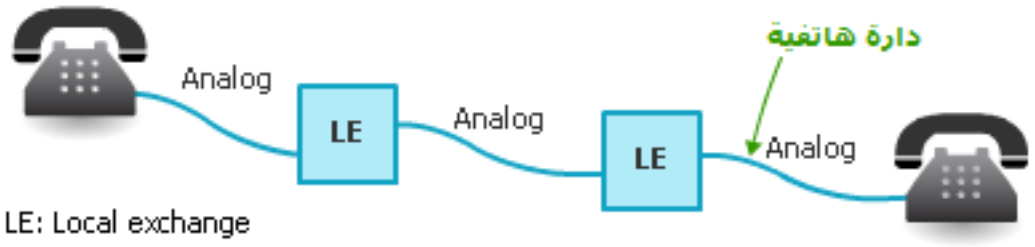
ومن ثم ننتقل للتقانات (النظم) المستخدمة في التراسل حيث نستعرض التقانات اللاسلكية وبالتحديد: الوصلات الميكروية، الوصلات الضوئية (الليزرية) Free Space Optic، الاتصالات عبر الأقمار الصنعية، ومن ثم ننتقل لأهم أنواع التقانات السلكية وبالتحديد الاتصالات عبر الألياف الضوئية وفيها يتم الحديث عن (DWDM). ولن نرجئ الحديث عن الاتصالات عبر الكابلات النحاسية إلى الفصل الأخير عند الحديث عن خط المشترك الرقمي DSL.

ونختم بحديث مختصر عن شبكات النفاذ حيث نستعرض بإيجاز نوعين رئيسيين: خط المشترك الرقمي DSL وشبكات النفاذ الضوئية.

الفصل الثاني
البنية الهرمية الرقمية شبه المتزامنة
Plesio-Chronous digital hierarchy (PDH)

1. مقدمة

قبل سبعينات القرن الماضي كانت أنظمة الاتصالات الهاتفية في العالم مبنية على أساس الدارة المفردة (Single line)، وكانت تعتمد على مبدأ النقل التماثلي للبيانات (Analog)، وكانت مقتصرة على تطبيقات التراسل الصوتي ذات المجال الترددي (0 ← 4KHz) (الشكل 2-1).



الشكل (1-2) البنية البدائية لنظام الاتصال الهاتفي

كانت هذه الطريقة مناسبة لإنشاء اتصال صوتي ولكن لمسافات قصيرة، لكن وبسبب نمو الحاجة لإنشاء عمليات الاتصال عبر مسافات كبيرة كان لابد من التفكير بطرق أخرى لتأمين هذا الاتصال المطلوب. فظهرت تلبية لذلك عمليات التعديل التماثلي التي كانت تعتمد على تحميل إشارة الصوت على إشارات ذات تردد مناسب يعمل لمسافات طويلة، فظهر ما يسمى التعديل المطالي والتعديل الترددي والتعديل الطوري، وكان لكل منهم مساوءه ومحاسنه، وخاصة استغلاله للطيف الترددي ومقاومته للضجيج (S/N).

بعد ذلك وفي بدايات السبعينات من القرن المنصرم بدأت تظهر عمليات النقل الرقمي (Digital) والتي تعني تحويل إشارات الصوت من شكلها التماثلي إلى الشكل الرقمي (واحدات وأصفار) ليسهل التعامل معها وبالتالي نقلها لمسافات أطول. وكانت أول الطرق المعتمدة في التمثيل الرقمي للإشارة هي الترميز النبضي PCM Pulse Code Modulation ، باختصار يقوم هذا التعديل بأخذ عينات من الإشارة التماثلية على شكل نبضات بفواصل زمنية محددة، ومن ثم تحويلها إلى قيم ثنائية (محددة مسبقة حسب قيمة العينة)، ينتج عن ذلك سلسلة من الواحدات والأصفار (Binary stream) ذات سرعة محددة تبعاً لسرعة الاعتيان وعرض المجال ترددي للإشارة التماثلية.

وكان التطبيق الأول الذي تم تطبيق هذا التعديل عليه هو المكالمات الصوتية، حيث تم تقسيم إشارة الصوت إلى 256 مستوى، يعبر عن قيمة كل مستوى منها بقيمة مؤلفة من ثمانية بتات 2^8 =256 levels تسمى هذه المرحلة بالتكميم (Quantization)' كما تم مراعاة شرط نايكويست في عملية الاعتيان ($F_s >= 2 \times BW$ $F_s >= 2 \times B$)، لتنتج سلسلة رقمية من البتات ذات سرعة (معدل نقل) تحسب كما يلي:

$$C_{Phone} = BW \times 2 \times B$$

- C: يمثل معدل نقل الدارة الصوتية وتقاس بـــ (Kbps)
- BW : عرض المجال الترددي لإشارة الكلام ويقاس بـــ (KHz). وعادة نكتفي بـ 4Khz وهو الحد الأدنى للحصول على إشارة كلام مقبولة الجودة
- 2: شرط نايكويست

- B : عدد البتات المكافئة لقيمة كل عينة

$$C_{Phone} = 4Khz \times 2 \times 8 = 64Kbps$$

ومنه نستنتج أن الإشارة التماثلية لإشارة الكلام يعبر عنها رقمياً بدارة رقمية ذات سرعة (معدل نقل بيانات) تساوي 64Kbps، والتي يمكن نقلها عبر كبل نحاسي بين المستخدم (End user) وبين المقسم (Switch).

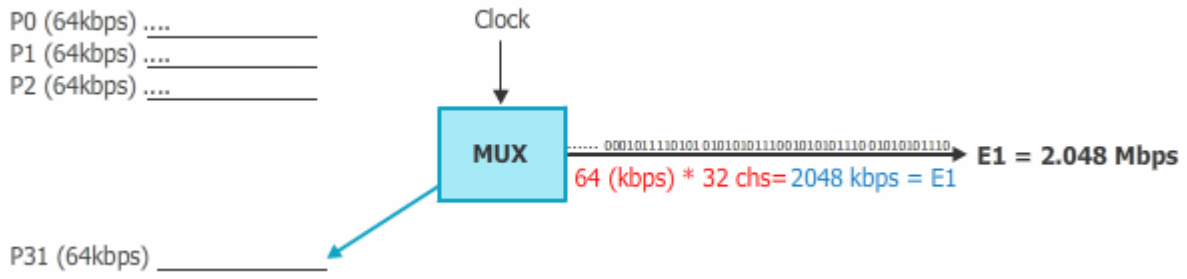
2. البنية الهرمية الرقمية شبه المتزامنة

مع الازدياد الكبير للدارات الرقمية الهاتفية بسبب انتشار هذه التقنية وازدياد الطلب عليها، ظهرت مشكلة إدارة تشغيل هذا العدد الكبير للدارات الهاتفية بشكل منفصل، حيث كان لكل مشرك دارته الخاصة مفصولة عن دارات بقية المشتركين، مما استدعى البحث والتفكير بطريقة لتضميم هذه الدارات بطريقة ما يسهل فيها إدارة وتشغيل هذه الدارات.

وبالفعل تم اعتماد طريقة تضميم لهذه الدارات بطريقة معيارية سميت بـ: البنية الهرمية الرقمية شبه المتزامنة Plesio – Chronous digital hierarchy (PDH). حيث أن كلمة Plesio كلمة يونانية تعني القريب وكلمة Chronous تعني الوقت أو الزمن والذي يشير ال أن الدارات المراد تضميمها بداية الأمر كانت ذات معدل نقل بيانات تقريباً متساو 64Kbps مما جعل من السهل تضميمها دون الحاجة لعملية تزامن بين الدارات المجمعة.

في هذه الطريقة يتم تضميم عدد محدد من الدارات الهاتفية (64Kbps) في دارة واحدة باستخدام تقنية النفاذ المتعدد باقتسام الزمن (TDM) وهذه الدارة الأخيرة يتم تضميمها مع مثيلاتها في دارة أخرى وهكذا، لذاك سميت بالهرم الرقمي PDH. وسنوضح فيما يلي تفاصيل هذا التضميم.

بداية الأمر اختلف في عدد الدارات المراد تضميمها حيث ذهب النظام الأوروبي ETSI إلى اعتماد العدد 32 للدارات المجمعة فيما ذهب النظام الأمريكي ANSI إلى العدد 24. سنركز في طرحنا هذا على النظام الاوروبي، حيث يتم تضميم 32 دارة هاتفية كل منها ذات معدل نقل 64Kbps عن طريق ناخب أو مجمع الكتروني بتقنية النفاذ المتعدد باقتسام الزمن (TDM) كما هو موضح في التمثيل التالي (الشكل 2-2):



الشكل 2-2 طريقة تضميم عدة دارات في دارة واحدة

يقوم المجمع (MUX) بتمرير بت من الدارة الأولى P_0 ومن ثم يقوم بتمرير بت من الدارة الثانية P_1 بعدها ينتقل ليمرر بت من الدارة الثالثة P_2 وهكذا حتى ينتهي من الدارات الـ 32 ليعود ويمرر البت الثاني من الدارة الأولى ثم البت الثاني من الدارة الثانية ثم الدارة الثالثة وهكذا حتى يصل إلى الدارة رقم 32، بعدها يعود إلى الدارة الأولى ليمرر البت الثالث ثم البت الثالث من الدارة الثانية ويستمر التضميم بهذه الطريقة لينتج لدينا في خرج المجمع قطار أو سلسلة من الواحدات والأصفار مجمعة من الدارات الـ 32، تكون سرعة نقل هذه السلسلة هو سرعة الدارة الواحدة مضروبة بـ عدد الدارات المجمعة:

$$MUX_{output} = 64Kbps \times 32 = 2048Kbps = 2.048Mbps$$

نلاحظ مما ذكر أعلاه أن خرج المجمع هو عبارة عن دارة نتجت عن تضميم 32 دارة هاتفية، هذه الدارة الجديدة ذات معدل نقل يساوي 2 Mbps، وهذا ما يطلق عنه حسب النظام الأوربي بنظام E_1، وهو أصغر نظام PDH من حيث معدل النقل.

3. أنواع أنظمة البنية الهرمية الرقمية شبه المتزامنة

1.3. دارة الـ E1

نستطيع تعريف الـ E_1. بناءاً على ما تم شرحه أعلاه بأنه عبارة عن وحدة معيارية لنقل البيانات بين جهازي الإرسال والاستقبال تساوي 2.048 Mbps، ويمكن نقله سلكياً عن طريق (كبل نحاسي، كبل ضوئي) أو لاسلكياً عن طريق (مايكروويف، وصلة عن طريق الأقمار الصنعية VSAT، وصلة ضوئية باستخدام الليزر FSO). يمكننا تمثيل بنية الـ E_1 على النحو التالي (الشكل 2-1):

الشكل 2-1 بنية إطار دارة الـ E1

حيث كل مربع من مربعات الشكل أعلاه يسمى حيز زمني (Time slot) وهو يمثل دارة هاتفية واحدة، مما يعني أن كل حيز زمني يملك سرعة نقل بيانات 64 Kbps. في الواقع يتم حجز الحيز الزمني T_0 والحيز الزمني T_1 لأغراض التحكم والتزامن ولا تحمل دارات هاتفية. وبالتفصيل:

- الحيز الزمني T_0: يستخدم لنقل معلومات التزامن بين جهازي الإرسال والاستقبال
- الحيز الزمني T_{16} : يستخدم لنقل معلومات التشوير، التحكم، إنشاء الاتصال بين جهازي الاستقبال والارسال

أما باقي الأحياز الزمنية فتستخدم لنقل البيانات Traffic / Data بين جهازي الاستقبال والارسال. وبالتالي معدل نقل البيانات الفعلي هو:

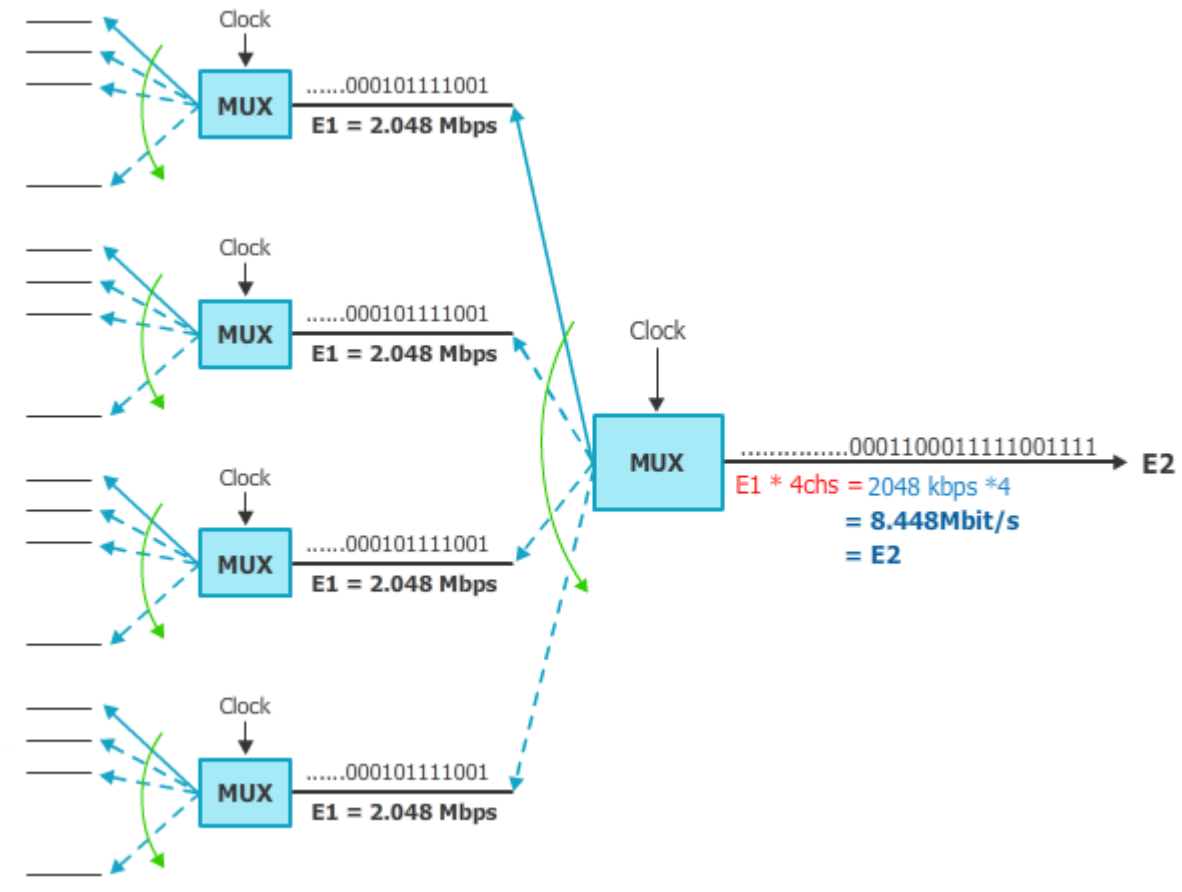
$$30TS = 2048Kbps - (2 \times 64Kbps) = 1920Kbps$$

أنماط الـ E1:

1. نظام E_1 المقسم (Channelized E_1):
وهو ما تم شرحه أعلاه، حيث يتم تقسيم الـ E_1 إلى 32 حيز زمني (64Kbps)، اثنان محجوزان للتحكم والتزامن، و30 حيز زمني مخصصة لنقل البيانات (1920 Kbps).
2. نظام E_1 الغير مقسم (Non Channelized E_1): يعني انه يتم استخدام الـ E_1 (2 Mbps) بشكل كامل (One Block)، مما يعني عدم تقسيم الـ E_1 إلى أحياز زمنية وإنما يكون الـ E_1 مخصص بالكامل لنقل البيانات (Traffic / Data user / payload).

2.3. دارة الـ E2:

مع التطور التقني ازداد عدد أنظمة E_1 بشكل كبير، وعادت مشكلة إدارة الدارات الهاتفية مرة اخرى للظهور مجددا لكن هذه المرة على مستوى الـ E_1s، وبرزت الحاجة مجددا لسرعات نقل أعلى مما استعدى التضميم مرة اخرى لحل هذه المشكلة، وبالفعل تم تضميم أربع E_1s لينتج ما يسمى E_2 كما هو موضح بالشكل 2-4:



الشكل 2-4 طريقة تضميم عدة دارات E1s في دارة E2

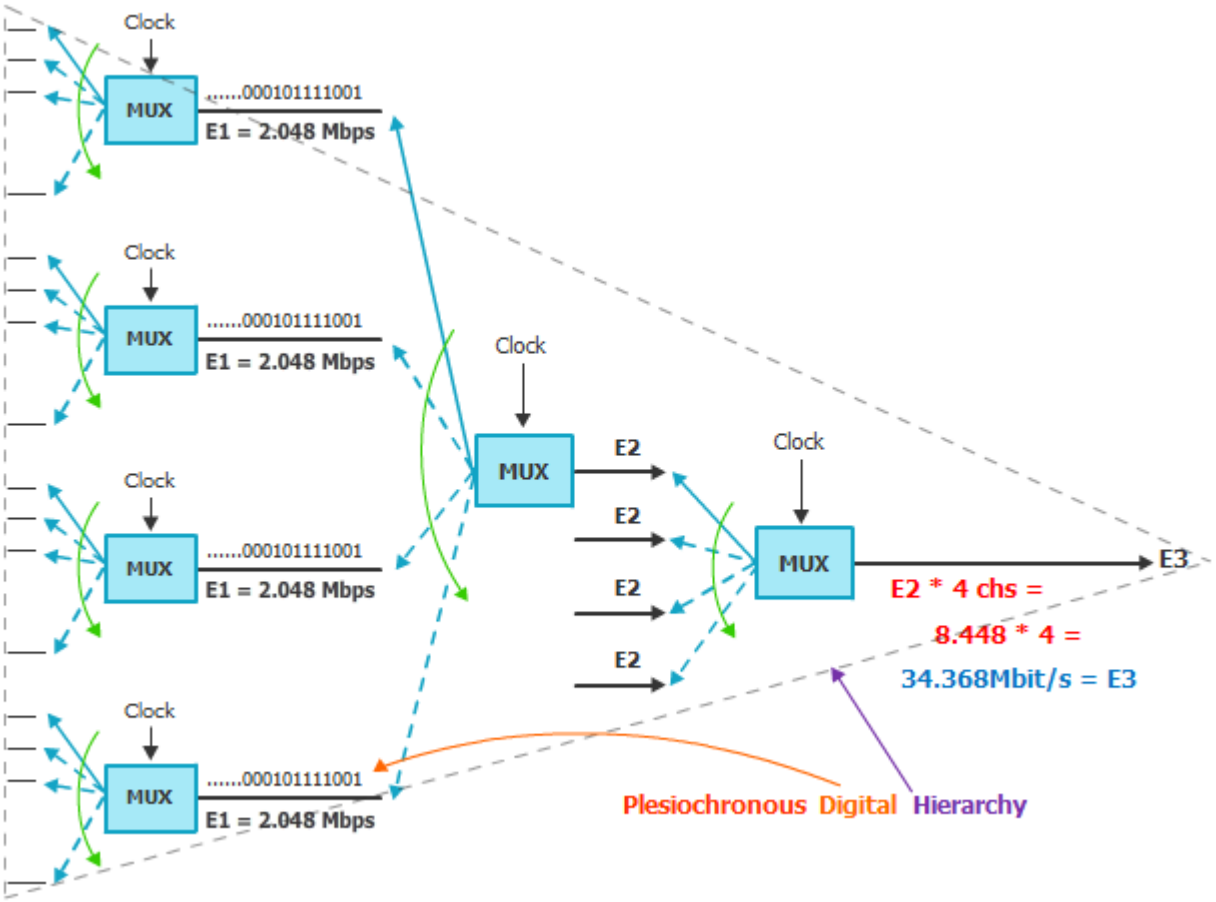
لكن عند هذا المستوى من التضميم كان لا بد من استخدام عدد من البتات لأغراض التزامن بالإضافة أيضاً لعدد من البتات لاستخدامها في تحديد بداية الإرسال FAS والتحكم وكشف الأخطاء CRC، بالإضافة لعدد من البتات الإضافية كبتات احتياطية. إن مجموع معل النقل لهذه البتات هو (64Kbps) لكل نظام E_1. وعليه يكون معدل نقل البيانات لـ E_2 هو:

$$E_2 = 4\times(2048Kbps + 64Kbps) = 8448Kbps = 8Mbps$$

3.3. دارة الـ E3:

مجدداً لمواكبة الحاجة لمعدلات نقل أعلى تم تضميم أربع أنظمة E_2 لينتج ما يعرف بنظام E_3 بمعدل نقل 34.368~ (Mbps) مع مراعاة بتات التحكم الإضافية لأغراض التحكم والتي تم ذكرها سابقاً.

يجمل الشكل 2-5 طريقة التضميم الكاملة ابتدءاً من الدارة الهاتفية وحتى النظام E_3 مع الإشارة إلى سبب تسمية هذا النوع من التضميم بـ البنية الهرمية الرقمية شبه المتزامنة.



الشكل 2-5 البنية العامة لنظام الـ PDH

4.3. دارة الـ E4:

وبتضميم أربع أنظمة E_3 ينتج ما يعرف بنظام E_4 بمعدل نقل (~ 140 Mbps).

4. إيجابيات وسلبيات البنية الهرمية الرقمية شبه المتزامنة PDH Pros & Cons

4.1. الإيجابيات Pros:

1. نظام نقل معتمد للطبقة الأولى (الفيزيائية) من النظام المعياري العالمي OSI المؤلف من سبعة طبقات.
2. سهولة التعامل معه، حيث لا يحتاج إلى الأشخاص من ذوي الخبرات لوضع إعدادات هذا النظام.
3. الانتشار الواسع في عالم الاتصالات وخاصة الخليوية.

4.2. السلبيات Cons:

1. غير قابل للمشاركة Non sharable: حيث يعتمد على حجز دارة كاملة للمشترك غير قابلة للمشاركة مع غيره من المشتركين.
2. غير قابل للتشفير Non Encryption-able.
3. صعوبة فك التضميم (De-multiplexing): بمعنى أنه إذا تم استخدام E_4 وأردنا أن نستخلص معلومات على مستوى E_1، فيجب علينا أن نفك تضميم E_4 إلى مكوناته الأساسية E_1s لنحصل على الـ E_1 المطلوب، بعد ذلك نعيد تضميم باقي الـ E_1s.
4. غير مرن: بمعنى أن الدارات المراد تضميمها ذات معدل نقل متساو، وهذه الحالة ليست دائماً متاحة.
5. اختلاف النظام أوروبي E-carrier والذي يندرج تحته السرعات (E_1, E_2, E_3, E_4) عن النظام الأمريكي T-carrier والذي يندرج تحته السرعات $(DS_1, DS_2, DS_3, DS_4, DS_5)$ مما سبب صعوبة بالربط الدولي للشبكات.

عكف الخبراء في مجال الاتصالات على إيجاد حلول لهذه السلبيات، وابتكار طرق وأنظمة لتحسين عملية النقل، فظهرت نتيجة لهذه الجهود أنواع جديدة من طرق النقل سنذكر بعضها تباعاً في هذه الكتاب.

أسئلة وتمارين:

(لكل سؤال 4 علامات غير قابلة للتجزئة وبالتالي تكون العلامة الكلية من 20).

1. ما هو معدل نقل دارة الـ E_1:
   a. 2.048 kbps
   b. 2.048 Gbps
   c. 2.048 Mbps
   d. جميع الإجابات خاطئة

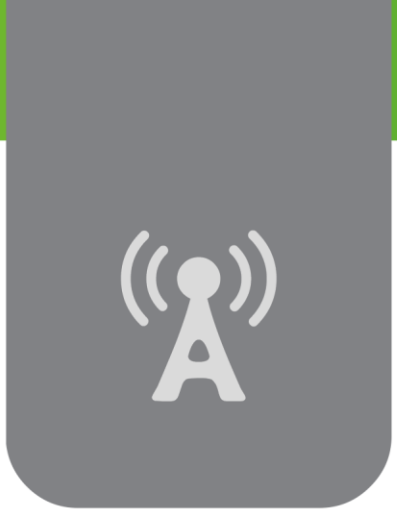
2. كل الأحياز الزمنية في دارة الـ E_1 تستخدم لنقل بيانات المستخدم:
   a. صح
   b. خطأ

3. من إيجابيات نظام الـ PDH أنه قابل للمشاركة.
   a. صح
   b. خطأ

4. يحتاج نظام الـ PDH إلى مصدر للمزامنة.
   a. صح
   b. خطأ

5. يعتبر نظام الـ PDH من البروتوكولات العاملة في الطبقة الأولى (الفيزيائية).
   a. صح
   b. خطأ

رقم السؤال	الجواب
1	c
2	b
3	b
4	b
5	a



الفصل الثالث
التراتبية الرقمية المتزامنة
(Synchronous Digital Hierarchy SDH)

1. مقدمة (Introduction)

مع التقدم التكنولوجي المتنامي لم يعد التراتبية الرقمية شبه المتزامنة PDH قادرة على تغطية احتياجات التراسل (Transmission) لا من ناحية السعة المطلوبة ولا من ناحية المرونة المطلوبة. حيث كانت هذه التراتبية (PDH) ليست متزامنة مركزياً (بسبب أن التقانة عند تعريفها لم تكن قد سمحت بعد بالتزامن المركزي للشبكات الممتدة على نطلق واسع). في هذه الحالة، تكون الروافد المراد تضميمها ذات سرعات متساوية اسمياً، ولكن يمكن لها أن تتعرض إلى "انزياحات" deviation بسيطة في السرعة، ضمن حدّ أقصى معرّف سلفاً (إي أن الإشارات هي "قريبة" من التزامن الكامل فيما بينها). وعند تضميم الروافد، لا بد من ضمان أن الإشارة المضمّمة "مملوءة بالكامل"، وهو ما يتطلّب من حين إلى آخر "حشو" عدد من البتّات bit stuffing في الإشارة المضمّمة من خارج بتّات الروافد، وإضافة بتّات أخرى للتحكم في وجود بتّات الحشو والدلالة على أماكنها. كل هذا يقود إلى النتائج الآتية:

- تكوين الإشارة E_1 يستند إلى التقنية المعروفة بـ "تشابك البايتات" byte interleaving، أي إن الإشارة تُضمَّم من تتالٍ من البايتات، كل منها مصدره إحدى الإشارات القاعدية (كما رأينا سابقاً). أما الإشارات من المستوى التراتبي الأعلى، فلا يمكن استخدام هذه التقنية فيها بسهولة، بسبب التفاوت في سرعات الروافد؛ ولهذا اعتُمدت فيها تقنية "تشابك البتّات" bit interleaving، أي إن الإشارة E_2 مثلاً تُولَّد من أخذ بتّ من الرافد E_1 الأول، يليه بتّ من الرافد الثاني، فالثالث، فالرابع، وهكذا دواليك. وتولّد الإشارات E_3 إلى E_4 بنفس الطريقة.
- الإشارة من المستوى الأعلى هي أسرع قليلاً من مجموع سرعات الروافد، وذلك بسبب بتات الحشو والتحكم والتأطير المضافة. فمثلاً، سرعة الإشارة E_2 هي 8.448 Mbps، وهي أكبر من 4×2.048 Mbps؛ وكذلك الحال في الإشارات من المستويات العليا التالية.
- تكون البتّات الآتية من كلٍ من الإشارات E_1 الأربعة الرافدة "مشتتة" داخل إطار الإشارة E_2، أي تتوضّع في أماكن غير منتظمة، بحسب عملية حشو البتّات؛ وتزداد هذه المشكلة تعقيداً في الإشارات من المستويات العليا التالية.

وتقود النتيجة الأخيرة تحديداً إلى مشكلة تسمّى لدى المختصين بـ "تلة المضمّمات" multiplexor mountain. فلأجل استخراج إشارة E_1 معيّنة من حامل E_4 مثلاً، لا بدّ من فك التضميم كاملاً وبالتتابع من E_4 إلى E_3 إلى E_2 إلى E_1؛ وهذا ما يزيد كثيراً من تكلفة إنشاء وصيانة شبكة النقل. ومن جهة أخرى، يصعب إعادة تشكيل configuration بنية شبكة النقل المعتمدة على التراتبية الرقمية شبه المتزامنة آلياً، عند الحاجة –مثلاً– إلى إعادة تعريف مسارات الشبكة؛ وهذا ما يجعلها تلك التراتبية تفتقر إلى المرونة، ويجعل تجهيزاتها معقّدة التصميم، وغير قابلة للتحكّم فيها من بعد. وأخيراً، فإن التراتبية الرقمية شبه المتزامنة قد جرى تقييسها أساساً للشبكات "الكهربائية" (الكبال النحاسية والمحورية)، ولم يجرِ توحيد مواصفات التجهيزات في حالة الشبكات الضوئية، التي أخذت تسود في البنى التحتية لشبكات النقل، وهو ما جعل من مشغّلي الاتصالات مرتبطين بموردين محدّدين للتجهيزات، بسبب عدم التوافقية في التجهيزات من مصادر مختلفة.

كل ذلك دعا، في ثمانينيات القرن العشرين، إلى تصميم ثم تقييس تراتبية رقمية أخرى، تتجاوز نقائص التراتبية الرقمية شبه المتزامنة، وذلك بالاستفادة من التطور التقاني الحاصل في مجالات عدة، مثل الإلكترونيات

الصغرية، والإلكترونيات الضوئية، وآليات التزامن الدقيق في الشبكة، وغيرها... فظهرت إلى الوجود التراتبية الرقمية المتزامنة.

جاءت التراتبية الرقمية المتزامنة (SDH) لتلافي النقائص الموجودة في سابقتها، التراتبية الرقمية شبه المتزامنة (PDH)؛ وكان الهدف منها تعريف تراتبية قياسية للتضميم يمكن لها أن تحمل أشكال الإشارات الهاتفية الموجودة في الشبكات القديمة (في أميركا الشمالية وسائر أنحاء العالم)، التي أضيفت لها مجموعة كبيرة من الإشارات الأخرى المستخدمة في جميع أنواع المنصات الأخرى (الإنترنت وشبكات المعطيات بتبادل الرزم Packet Switching)، الخ.. وقد وُضعت مواصفات الشبكة –بوجه خاص– لتستفيد من التطور الكبير في تقنيات التزامن في الشبكات الواسعة، ولتسمح بسحب وإضافة الإشارات الرافدة من/إلى حوامل الإشارات المضمّمة بسهولة، وبطريقة مؤتمتة.

إن هذا العمل قد جرى في النصف الثاني من ثمانينيات القرن العشرين على التوازي تقريباً في أميركا الشمالية، ونتج عنه ظهور شبكة SONET، وفي أوروبا وسائر أنحاء العالم، ونتج عنه ظهور التراتبية الرقمية المتزامنة Synchronous Digital Hierarchy (SDH). وثمة توافق وتشابه كبيرين بين SONET والتراتبية الرقمية المتزامنة SDH، لكن مع بقاء بعض الاختلافات الثانوية. سنركز في عرضنا على التراتبية الرقمية المتزامنة Synchronous Digital Hierarchy (SDH).

2. الميزات الرئيسية لتراتبية SDH (SDH advantages)

- معدلات النقل العالية:

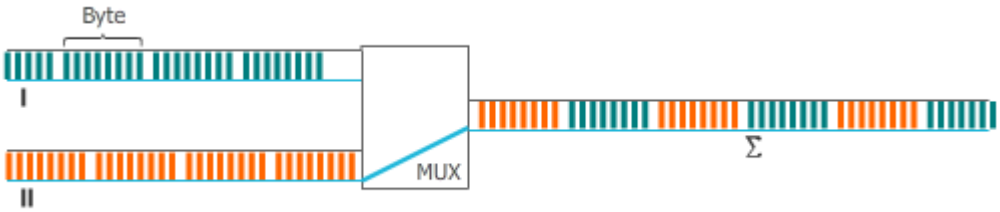
تتميز التراتبية الرقمية المتزامنة SDH بمعدلات نقل (Bit Rate) عالية جدا أقلها 155Mbps والتي هي أعلى من أفضل قيمة متاحة في تراتبية PDH. فأقل معدل نقل في SDH هو 155Mbps بما جرى التعارف عليه بـ STM1 يليه STM4 بسرعة 622Mbps بما يمثل تماما أربعة أضعاف سرعة STM1 وهكذا. تجدر الإشارة هنا إلى أن هذه السرعة ليست سرعة النقل الصافية تماما أو ما يلمسه المستخدم (user rate) حيث هنالك جزء محجوز للبادئة (Overhead) والذي يحتوي على معلومات تحكم ضرورية سيتم التطرق إليها بالتفصيل لاحقا. يبين الجدول التالي معدلات نقل المتاحة

SDH level	Payload bandwidth (kbps)	Line rate (kbps)
STM-1	150,336	155,520
STM-4	601,344	622,080
STM-16	2,405,376	2,488,320
STM-64	9,621,504	9,953,280
STM-256	38,486,016	39,813,120

الجدول 3-1 أنماط نظام الـ SDH مع معدلات النقل لكل منها

- تقنية التضميم:

مثلها مثل البنية الهرمية الرقمية شبه المتزامنة PDH، تستخدم التراتبية الرقمية المتزامنة SDH التضميم باقتسام الزمن مع اختلاف وحيد أن التضميم (Multiplexing) يتم على مستوى البايت (Byte) عكس ما كان عليه الحال في نظام PDH حيث كان يتم على مستوى البت (Bit) كما هو موضح بالشكل 3-1



الشكل 3-1 التضميم على مستوى البايت

- معتمدة عالمياً:

معتمد اوروبيا وأمريكيا عكس ما كان عليه الحال في تراتبية PDH حيث كان هناك نظام أوروبي E-carrier يندرج تحته السرعات $(E_1, E_2 E_3, E_4)$ ونظام أمريكي T-carrier يندرج تحته السرعات (DS1,DS2,DS3,DS4,DS5) . حيث أصبح من الممكن تضميم (multiplexing) اي من النظامين ضمن نظام SDH ليس هذا فحسب بل هناك إمكانية تحميل المعطيات بتبادل الرزم نحو نمط النقل غير المتزامن (ATM) او IP على SDH.

- التزامن:

إن التزامن الدقيق أمر أساسي في SDH عكس ما كان عليه الحال في PDH. إن هذه الميزة تمكن من وصول الشبكات المختلفة –بين الدول مثلا– بشكل أسهل طالما ضمن التزامن. ونفى الحاجة لذواكر مؤقتة (Buffer) التي كانت ضرورية لعملية التحويل بين النظم المختلفة . تتم عملية التزامن عن طريق الوصل إلى منبع تزامن دقيق (ساعة زمن) على سبيل المثال: ساعات التزامن النووية أو ساعات تزامن GPS.

- بادئة/ترويسة المقطع (Section overhead):

إن وجود بادئة ذات سعة كبيرة مفيد للغاية ويستخدم بشكل أساسي لضرورات : مراقبة الشبكة والتحكم والصيانة. لعل هذا من أحد أبرز أسباب مرونة نظام SDH مقارنة ب PDH حيث ومنذ البداية تم تخصيص بايتات (Byte) لمعطيات المستخدم (user data) واخرى لمعطيات التحكم (control data) مثل تلك الموجودة في البادئة (over head) مما نفى الحاجة لبايتات إضافية عند التضميم (Multiplexing).

- سهولة عملية التضميم (Multiplexing) وفك التضميم (Demultiplexing):

كما ذكرنا سابقا عانت تراتبية (PDH) منذ "تلة المضمّمات" multiplexor mountain. فلأجل استخراج إشارة E_1 معيّنة من إشارة E_4 مثلاً، لا بدّ من فك التضميم كاملاً وبالتتابع من E_4 إلى E_3 إلى E_2 إلى E_1 لأن إشارةُ E_1 تكون مشتتة ضمنُ E_4 ومتموضعة في أماكن غير منتظمة. تجاوزت التراتبية (SDH) هذه المشكلة. فبسبب التزامن واعتمادها التضميم (Multiplexing) على مستوى البايت (Byte) بالإضافة إلى وجود بادئة ذات سعة كبيرة صار بالامكان وضع الإشارات الأدنى (STM1) مثلا في أماكن منتظمة في الإشارات الأعلى رتبة (STM4 أو STM16 مثلا) مما سهل عملية التضميم (Multiplexing) وفك التضميم (Demultiplexing).

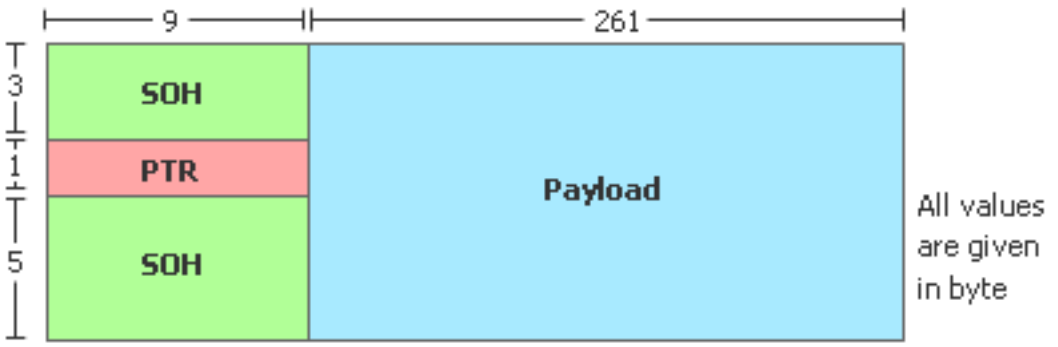
و عليه كمثال لمزيد من التوضيح للحصول على نظام محدد E_1 من نظام E_3 لابد من تفكيك كل أنظمة E_2 المحتواة في نظام E_3 ثم تفكيك أنظمة E_2 للوصول إلى نظام E_1 المطلوب، بينما في نظام SDH فإن كان لدينا على سبيل المثال STM64 فيمكن بسهولة استخلاص أي STM1 مباشرة دون الحاجة لتفكيك كل ال STM64.

3. مستويات (أنضدة) النقل المتزامن (SDH Levels)

يقوم المستوى الأول من التراتبية الرقمية المتزامنة على إمكان جمع أعداد من الإشارات الرقمية ذات السرعات الدنيا المختلفة، من منابع ومصادر مختلفة، في إطارٍ frame يسمّى "نضيد النقل المتزامن" من المستوى الأول Synchronous Transport Module – level one (STM–1). وبسبب الرغبة في التوافق رجوعاً مع تقنيات التضميم السائدة ومع الإشارة الصوتية القاعدية، فقد جرى أيضاً اعتماد 125 μs زمناً لهذا الإطار، وهو ما يوافق تردّد 8 KHz المستخدم في اعتيان الإشارة الصوتية. ويتألف هذا الإطار من 2430 بايتاً، ويمثَّل عادة على شكل مصفوفة من 9 أسطر rows و270 عموداً columns، كل نقطة منها تحوي بايتاً واحداً، بحيث يجري إرسال الإطار سطراً وراء سطر. وبذلك تكون سرعة هذا الإطار:

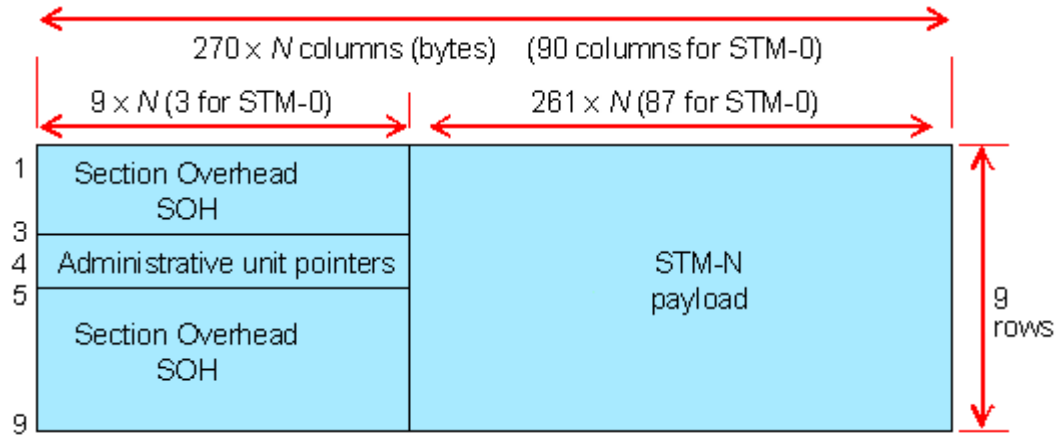
$$270 \times 9 \times 8 = 19{,}440 \text{ bits}/125\ \mu s = 19{,}440 \times 8000 = 155.52 \text{ Mbps}$$

تخصَّص في كل سطر البايتات التسعة الأولى لما يُسمى بمعلومات البادئه (overhead)، وتستخدم لأغراض التحكّم والمراقبة والصيانةً، مكوّنة الأعمدة التسعة الأولى من المصفوفة ما عدا سطرا واحدا فيخصص لما يعرف بالمؤشر والذي يؤشر لموقع بداية معطيات المستخدم في وحدة الحمولة (سيتم الحديث عن البادئه والمؤشر لاحقا بالتفصيل في بحث المؤشرات والبادئه). أما الباقي (261 عموداً) فيُخصّص لـ "الحمل المفيد" Payload، أي معطيات المستخدم (الإشارات المضمّمة)، وبعض بايتات التحكّم الأخرى. ويبيّن الشكل 3–2 شكل إطار الإشارة STM–1.



الشكل 3–2 البنية العامة لإطار الـ STM–1

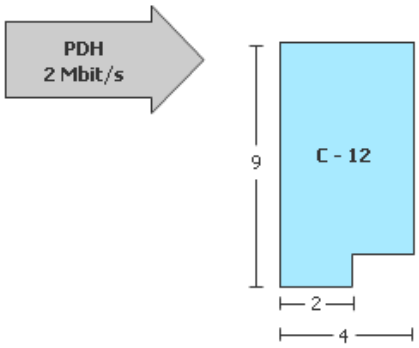
وفوق هذا المستوى الأول، يجري التضميم تراتبياً بجمع أربعة إشارات من مستوى ما لتكوين إشارة من المستويات العليا التالية STM–n. نظريا يمكن ل n أخذ أي قيمة لكن عمليا تأخذ قيما تتضاعف أربع مرات بشكل متتالي أي (1 – 4 – 16 – 64 – 256 ...) وخلافاً للتراتبية الرقمية شبه المتزامنة، وكما ذكرنا مسبقا، فإن سرعة الإشارة الناتجة يكون مساوياً تماماً لأربعة أمثال سرعة روافدها، دون حشو أي بتات إضافية. ويجري التضميم هنا بطريقة تشابك البايتات لا بطريقة تشابك البتّات، بحيث يمكن دوماً في أي إشارة متابعة موضع أي رافد من روافدها، من أي مستوى كان، وهذا ما يؤدي إلى سهولة سحبه من الحامل أو إضافة رافد آخر إليه (Add & Drop) دون الحاجة إلى فك التضميم حتى أدنى مستوى، كما كان الحال في التراتبية الرقمية شبه المتزامنة. ويبيّن 3–3 إطار الإشارة STM–n.



الشكل 3–3 إطار STM–n

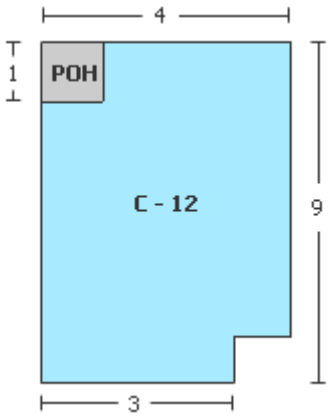
4. آليات نقل (اقتران) الروافد على تراتبية (Mapping of tributary signals over SDH)

يقصد بالنقل (او الإقتران) حمل المعطيات القادمة من الإشارات الرافدة داخل مستويات النقل المتزامن. تُحمل المعطيات القادمة من الإشارات الرافدة داخل مستويات النقل المتزامن في ما يسمّى بـ "مستوعبات" (أو "حاويات") containers من سعات مختلفة. فمثلاً، نستخدم لحمل الإشارة 2 Mbps (أي ما يكافئ E_1) المستوعب المسمّى C−12 (انظر الشكل 3−4)، ولحمل الإشارة 1.5 Mbps (أي ما يكافئ DS1/T1) المستوعب المسمّى C−11.



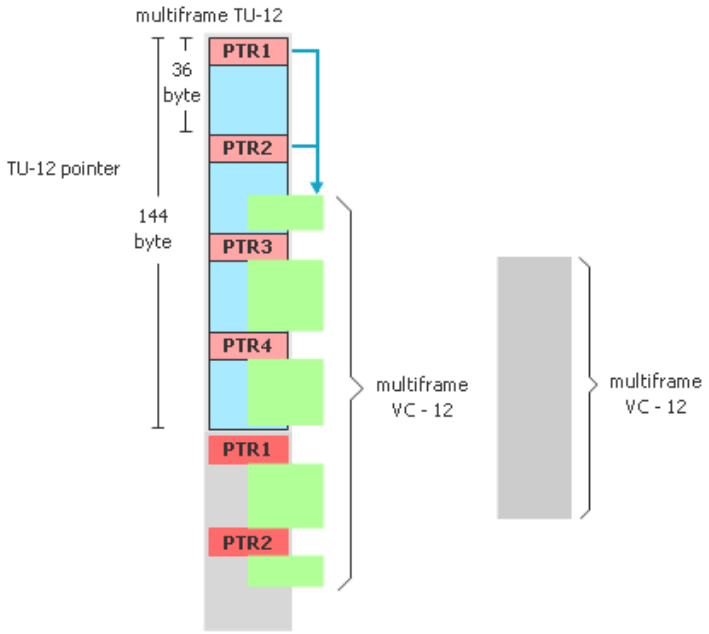
الشكل 3−4 بنية المستوعب C−12

يُضاف إلى كل مستوعب مجموعة من بتّات التحكم الخاصة به تُسمّى "ترويسة المسار" path overhead (POH) لإنشاء ما يُسمّى بـ "المستوعب الافتراضي" (Vc) virtual container من السعة نفسها (انظر الشكل 3−5). ولترويسة المسار وظائف مشابهة لترويسة المقطع، وهي تسمح كما يدلّ اسمها، بالتحكّم في حركة المستوعب على طول مساره على الشبكة (أي من نقطة الدخول إلى نقطة الخروج).



االشكل 3−5 بنية المستوعب C−12 مع ترويسة المسار POH

بعد ذلك، يجري رصف ومحاذاة alignment المستوعبات الافتراضية في ما يسمّى "وحدة رافدة" tributary unit (TU) من الرتبة n (سنوضّح مفهوم المحاذاة لاحقاً)؛ مثلا TU–12 لحالة مستوعبات $Vc-12$ (الشكل 3–6)

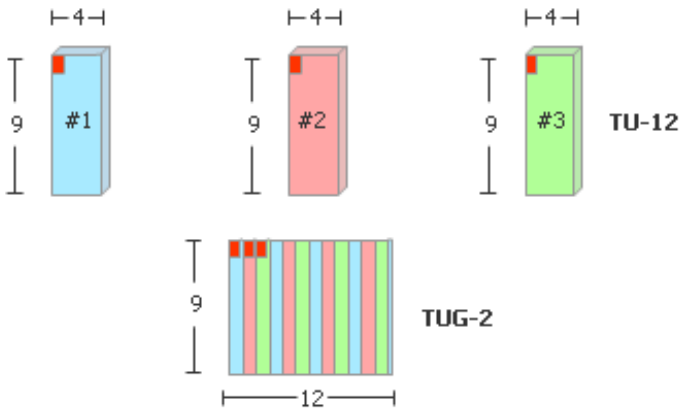


الشكل 3–6 بنية الوحدة الرافدة TU

كما يمكن جمع بعض الوحدات الرافدة من الرتب الدنيا في ما يُسمّى "مجموعة رافدة" tributary unit group (TUG). فيجري جمع:

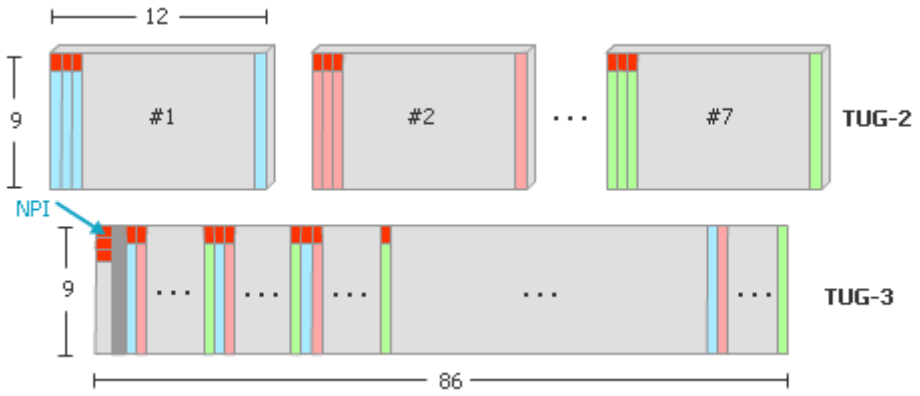
- ثلاث وحدات رافدة TU–12 (كل منها تأتي من مستوعب افتراضي VC–12، يحمل إشارة E_1. (انظر الشكل 3–7)
- أربع وحدات رافدة TU–11 (كل منها تأتي من مستوعب افتراضي VC–11، يحمل إشارة DS_1)
- وحدة رافدة TU–2 (تأتي من مستوعب افتراضي VC–2، يحمل إشارة DS_2)

لتكوين مجموعة رافدة TUG–2.



الشكل 3–7 بنية مجموعة الوحدات الرافدة TUG

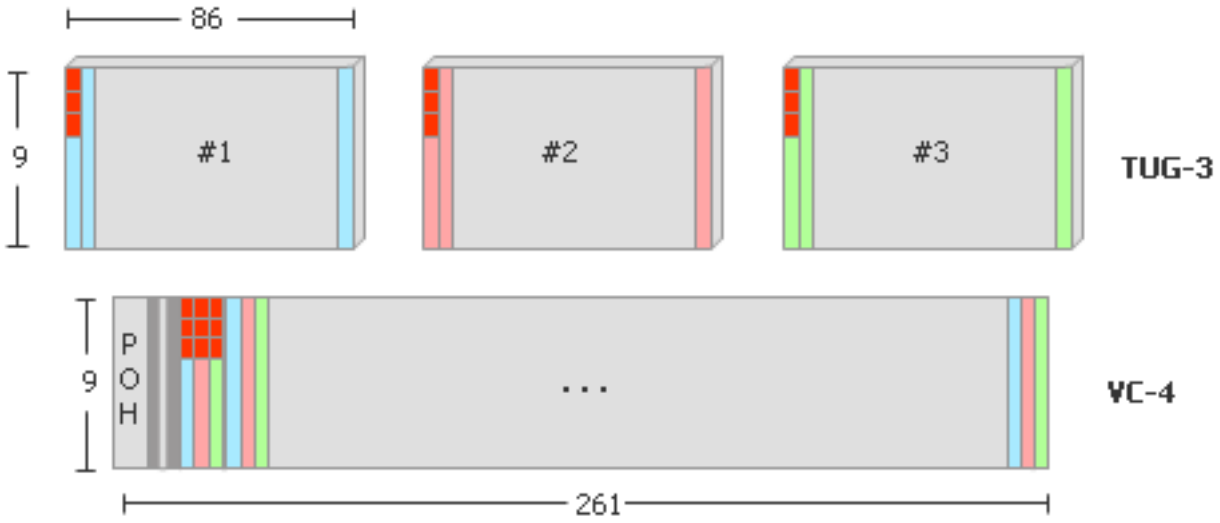
ويمكن، بعد ذلك، جمع سبع مجموعات رافدة TUG-2 (الشكل 3-8) إما في مجموعة رافدة TUG-3 أو في مستوعب افتراضي VC-3. وهذا المستوعب الافتراضي VC-3 نفسه يمكن أيضاً أن يحمل بدلاً من ذلك إشارة E_1 (35 Mbps) أو DS3 (45 Mbps) واحدة؛ كما يمكن للإشارة E3 أو DS3 هذه (بعد رصفها في وحدة رافدة TU-3) أن تُحمل أيضاً في مجموعة رافدة TUG-3.



الشكل 3-8 بنية المستوعب الافتراضي VC-3

أما المستوعب الافتراضي VC-4، فيمكن له حمل إشارة E_4 (140 Mbps) واحدة، أو ثلاث مجموعات رافدة TUG-3 (الشكل 3-9). ويحتل المستوعب الافتراضي VC-4 كامل المساحة المتبقية في النضيد STM-1 بعد طي الأعمدة التسعة المخصصة لترويسة المقطع SOH (261 عموداً). وفي هذا المستوعب، تحتل ترويسة المسار POH عموداً كاملاً، بحيث يبقى 260 عموداً للمستوعب C-4 الذي يحتوي على بايتات المعلومات. وبذلك تكون سعة (أو سرعة) هذا المستوعب:

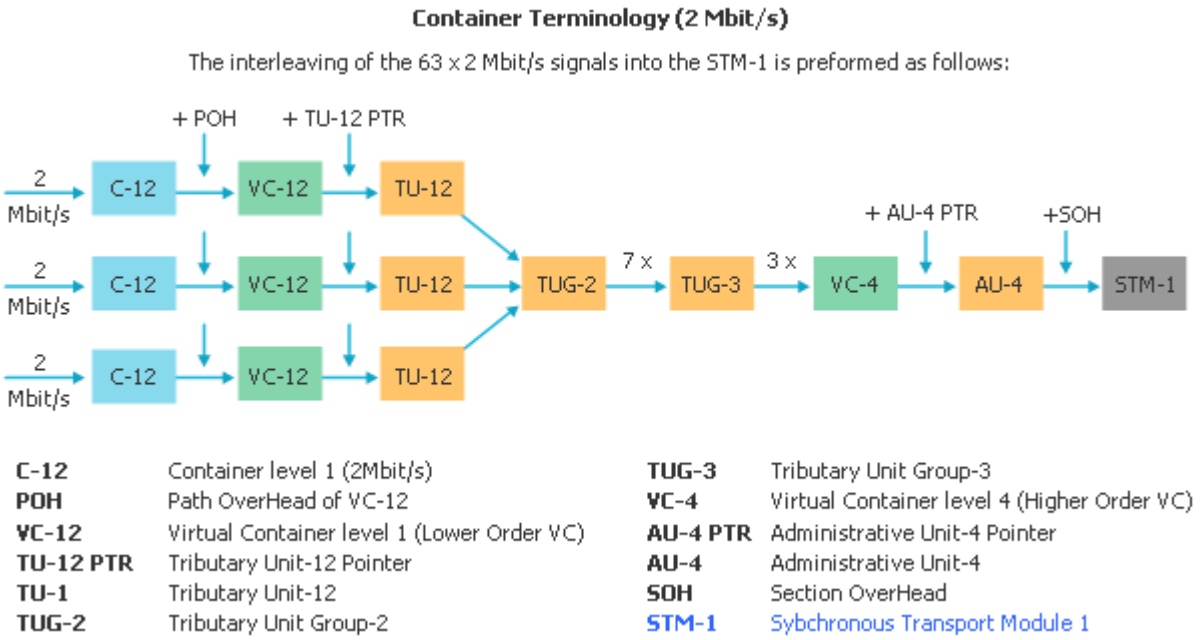
$$260 \times 9 \times 8 \times 8000 = 149.76 \text{ Mbps}$$



الشكل 3-9 بنية المستوعب الافتراضي VC-4

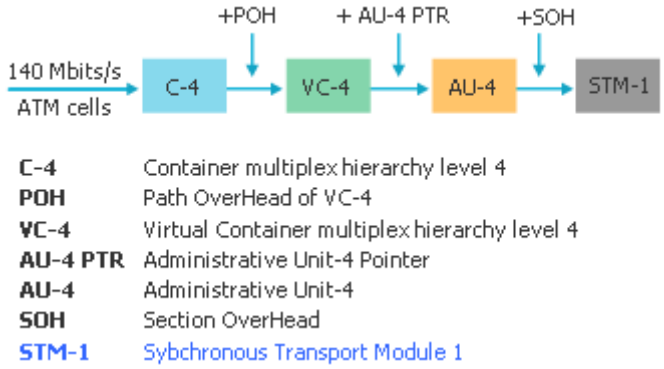
يُطلق على المستوعبات الافتراضية VC–11 وVC–12 وVC–2، اسم المستوعبات الافتراضية الدنيا low–order، وعلى المستوعبات الافتراضية VC–3 وVC–4، اسم المستوعبات الافتراضية العليا high–order. ويجري أخيراً رصف ومحاذاة المستوعبات الافتراضية العليا في ما يُسمّى "وحدات إدارية" administrative units (AC) من الرتبة ذاتها. وتجمع ثلاث وحدات إدارية AU–3 أو وحدة إدارية AU–4 في ما يُسمّى "مجموعة إدارية" administrative unit group (AUG) من الرتبة 1. وعند تضميم المستويات تراتبياً، تأخذ المجموعة الإدارية الناتجة رتبة النضيد الذي تنتمي إليه.

يُلخّص الشكل 3–10 آلية الإقتران لإشارات E_1 في التراتبية الرقمية المتزامنة SDH.



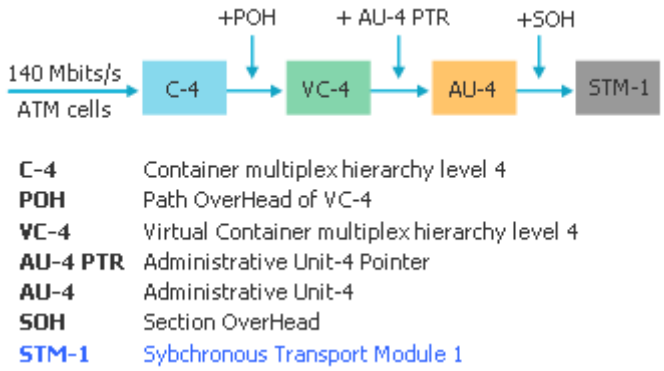
الشكل 3–10آلية الإقتران لإشارات E1 في التراتبية الرقمية المتزامنة SDH

يُلخّص الشكل 3–11 آلية الإقتران لإشارات E_3 في التراتبية الرقمية المتزامنة.



الشكل 3–11 آلية الإقتران لإشارات E3 في التراتبية الرقمية المتزامنة

يُلخّص الشكل 3–12 آلية الإقتران لإشارات E_4 أو سعة 140 Mbps أو ATM في التراتبية الرقمية المتزامنة.



الشكل 3–12آلية الإقتران لإشارات سعة 140 Mbps أو ATM في التراتبية الرقمية المتزامنة

مما سبق، يمكن بإجراء بعض الحسابات على السرعات، ملاحظة أن معلومات الحمل المفيد في نظام STM-1 من إشارات E_n يمكن أن يكون، في الحد الأقصى:

- إشارة E_4 واحدة (140 Mbps)
- ثلاث إشارات E_3 (35 Mbps)
- 63 إشارة E_1 (2 Mbps)
- مزيجاً مما سبق نحو إشارتين E_4 و21 إشارة E_1
- إشارة E_3 واحدة و42 إشارة E_1

أما إشارة E_2 (8 Mbps) فلا تُحمل مباشرة على النضيد STM-1.

1.4. المماثلة مع عملية شحن البضائع

قد تبدو عملية الجمع والتضميم في التراتبية الرقمية المتزامنة معقّدة، ولكن المبدأ الذي تقوم عليه بسيط نسبياً. وكثيراً ما يُلجأ إلى إقامة تماثل مع عملية نقل البضائع في شاحنات لشرح هذا المبدأ.

في هذه المماثلة، يمكن تشبيه المستويات بحاويات محمولة داخل شاحنات كبيرة، تتحرك حركة مستمرة دون انقطاع على طرقات شبكة النقل المتزامن، بين مستودعات هي بمنزلة العُقَد في الشبكة. والشاحنة تتألّف من مقصورة القيادة، التي هي بمنزلة بادئة المقطع، ومن المقطورة التي هي بمنزلة الحمل المفيد. ويمكن تصوّر شاحنة تحمل STM، فيه مثلاً وحدتين إداريتين AU؛ على أنها الشاحنة المستخدمة لنقل بضائع في حاويتين مصدرهما شركتي شحن مختلفتين. في كل حاوية مجموعة من الصناديق الكبيرة، التي تماثل المجموعات الرافدة TUG، وفي كل صندوق كبير عدد من الصناديق الصغيرة التي تماثل الوحدات الرافدة TU. وإذا كانت بادئة المقطع SOH تدلّ على كيفية الانتقال من نقطة ما على الطريق إلى النقطة التالية، فإن بادئة المسار POH تتحكّم بوجهة الحاويات المحمولة، من مصدرها إلى وجهتها.

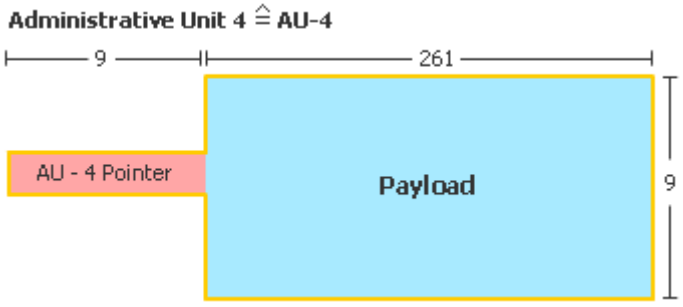
5. مفهوم التراصف والمؤشّرات (Pointers and alignment)

ذكرنا سابقاً أن التراتبية الرقمية المتزامنة تُستخدم، كما يدلّ اسمها، في شبكة متزامنة، أي إن جميع العقد في هذه الشبكة تتعامل مع مصدر تزامن مركزي ذي دقة عالية. خلافاً لذلك، يكون لكل عقدة (أو مجموعة من العقد) في التراتبية الرقمية شبه المتزامنة مصدر تزامن خاص بها؛ وتعمل مصادر التزامن هذه بتردد موحّد اسمياً nominal، لكن توجد فيما بينها "انزياحات" تؤدي إلى اختلافات في سرعة الإشارات، ضمن حدود معيّنة، إضافة إلى وجود الاختلافات الطبيعية في الطور phase بين إشارات التزامن المتعددة.

أما في التراتبية الرقمية المتزامنة، فإن نقل إشارة التزامن المركزية إلى العقد المختلفة يؤدي أيضاً إلى انزياحات ضئيلة في التزامن لا يمكن تلافيها. وللتعامل مع هذه الظاهرة وتعويض انزاح التزامن، تستخدم التراتبية الرقمية المتزامنة ما يسمّى بـ "المؤشّرات" pointers.

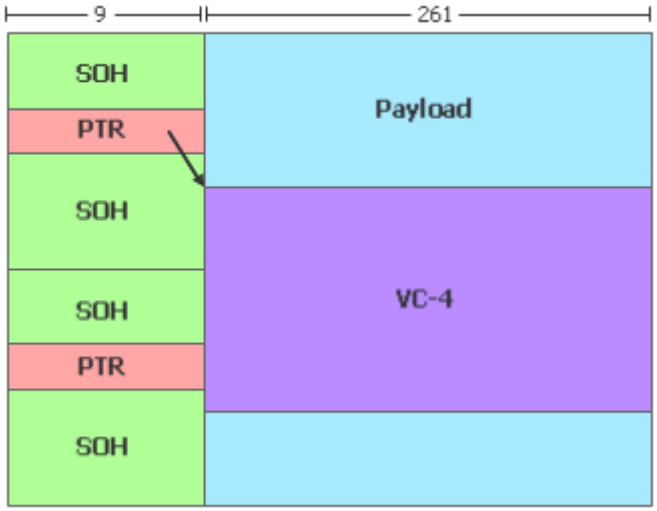
يدلّ المؤشر على الموقع الدقيق لبداية المستوعب الافتراضي في نضيد النقل المتزامن، سامحاً بذلك لهذا المستوعب أن "يطوف" float (أي أن يتغيّر موقعه) بناء على الانزياح في التزامن. ويُضاف المؤشّر إلى المستوعبات الافتراضية VC لإنشاء الوحدات الرافدة TU أو الوحدات الإدارية AU (حسب الحال) التي يمكن عندها معرفة موضعها بدقة للوصول إليها عند الحاجة. وتسمى هذه العملية بالرصف أو المحاذاة alignment.

ذكرنا سابقاً أن المستوعب الافتراضي VC-4 يتألّف من الـ 261 عموداً المتبقية في النضيد STM-1 بعد طي الأعمدة التسعة التي تتألف منها الترويسة. وتجري محاذاة هذا المستوعب الافتراضي باستخدام "مؤشر الوحدة الإدارية AU-4"، الذي يحتل السطر الأول من ترويسة المقطع MSOH (أي السطر الرابع من ترويسة المقطع SOH في النضيد)، ويتألف بذلك من 9 بايتات. وتتكوّن الوحدة الإدارية AU-4 من المستوعب الافتراضي VC-4 مضافاً إليه هذا المؤشر (الشكل 3-13)



الشكل 3-13 بنية الوحدة الإدارية AU-4

وظيفة مؤشر الوحدة الإدارية AU-4 هي الدلالة على أول بايت من بايتات الحمل المفيد داخل النضيد: يحتل هذا البايت الموقع العاشر من السطر الأول، ففي الحالة المثالية، تتطابق حدود المستوعب الافتراضي VC-4 مع حدود النضيد، أي أن المستوعب الافتراضي VC-4 يكوّن بأكمله مساحة الحمل المفيد في النضيد STM-1؛ أما في حالة وجود بعض الانزياح في التزامن، فلا يمكن ضمان أن يبدأ المستوعب الافتراضي VC-4 في أول بايت من بايتات الحمل المفيد، وهنا يدلّ المؤشر على مقدار هذا الانزياح، أي على موضع بداية المستوعب الافتراضي VC-4 في النضيد STM-1، وبذلك يتجاوز المستوعب الافتراضي VC-4 حدود النضيد الواحد، بحيث يجري حمله على نضيدين متتاليين (انظر الشكل 3-14).



الشكل 3-14 انزياح المستوعب VC-4 داخل النضيد STM-1

وبنفس الطريقة، يكون لمؤشرات الوحدات الرافدة، التي تستخدم لرصف المستوعبات الافتراضية الدنيا، وظيفة مماثلة للمؤشر المذكور آنفاً.

6. نقل المعطيات على التراتبية الرقمية المتزامنة

اتّضح لنا مما سبق أن التراتبية الرقمية المتزامنة قد انطلقت في تصميمها في المقام الأول من متطلّبات حمل الإشارات الصوتية، بسرعاتها المتعارفة سابقاً، وهي التي كانت، في ثمانينيات القرن العشرين، ما تزال تعدّ الحركة الكبرى على شبكات الاتصالات. ومع نمو الإنترنت وشبكات الحواسيب، ازداد حجم حركة تبادل المعطيات، أولاً في الشبكات المحلية، ثم في الشبكات الواسعة، وحول العالم. ولكن اهتمام مهندسي شبكات تبادل المعطيات كان منصبّاً في المقام الأول على التطبيقات التي تتيحها هذه الشبكات، وتطوير بروتوكولات تبادل الرزم Packet Switching (TCP/IP في حالة الإنترنت)، في حين اعتمدوا في نقل حركة المعطيات على البنى التحتية "الفيزيائية" القائمة، خاصة وأن تلك البنى التحتية كانت قد أصبحت منتشرة ومترابطة شبكياً حول العالم. لهذا السبب، أصبحت التراتبية الرقمية المتزامنة (ثم أنظمة التضميم باقتسام طول الموجة) هي الشبكة الحاملة أيضاً لحركة المعطيات بأنواعها المختلفة (المعطيات الحاسوبية، الصوت والفيديو على الإنترنت، الخ.)، وجرى تطوير تقنيات مختلفة لتوضيع حركة المعطيات في المستوعبات المعرّفة في تلك التراتبية. وتعرف هذه التقنيات عموماً باسم نقل حركة تبادل الرزم (أو المعطيات) على شبكة SONET أو على التراتبية الرقمية المتزامنة Packet over SONET/SDH (PoS) (أو Data over SONET/SDH).

ولنقل حركة الرزم على التراتبية الرقمية المتزامنة، لا بدّ من معالجة عدة إشكالات:

- الاختلاف في التحكّم (البروتوكولات والتشوير): ففي حين أن التشوير في التراتبية الرقمية المتزامنة مضمّن في الإشارات الرافدة وحمل الترويسات، فإن البروتوكولات في شبكات تبادل المعطيات تأتي على طبقات، وتعتمد مبدأ التغليف "الكبسلة" encapsulation
- الاختلاف في بنية دفقات البتّات bit-stream: ففي حين أن الإشارات الصوتية ترجع أساساً إلى القناة الصوتية القاعدية 64 Kbps ومضاعفاتها، فإن المعطيات تأتي عادة في رزم packets (الطبقة الثالثة من طبقات OSI، أو رزم IP) متوضّعة ضمن إطارات frames (الطبقة الثانية). وهذه الرزم قد تكون من الحجم ذاته (كما في الخلايا المعرفّة في شبكة النقل اللامتزامن ATM) أو من حجوم مختلفة (كما في إطارات شبكة إثرنت Ethernet)
- الاختلاف في السرعة: ففي حين أن المستويات في التراتبية الرقمية المتزامنة هي ذات سرعات ثابتة ومنتظمة (شبكة متزامنة)، فإن الإطارات مثلاً في شبكة إثرنت (وهي شبكة لامتزامنة) قد يكون طولها من بضعة بايتات إلى 1500 بايت، وسرعتها من 10 Mbps إلى 100 Mbps إلى 1 Gbps بحسب النظام الموضوع في الخدمة

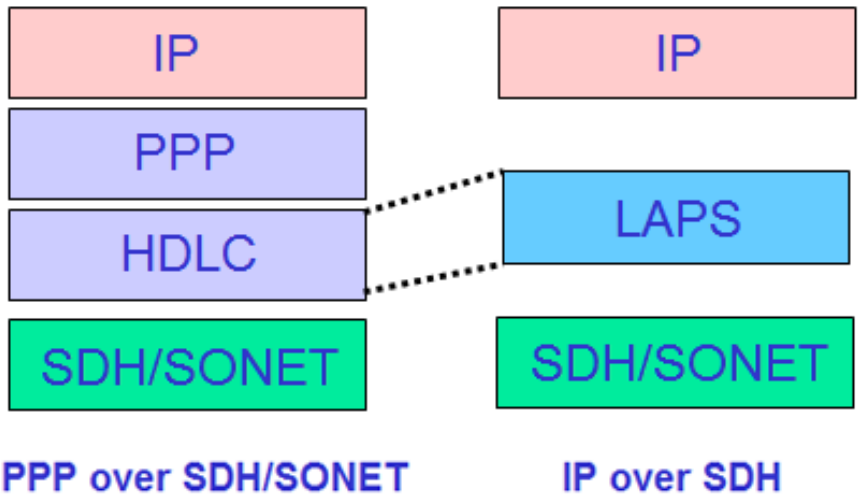
بوجه عام، يقوم حمل المعطيات على التراتبية الرقمية المتزامنة على مبدأ الاحتفاظ ببنية التشوير كما هي، أي معاملة الرزم أو الإطارات الآتية من شبكات تبادل المعطيات معاملة الأحمال المفيدة ضمن مستويات النقل دون النظر إلى البروتوكولات التي هي أعلى؛ بمعنى آخر، تعدّ التراتبية الرقمية المتزامنة وسيلة نقل "شفافة" لأحمال المعطيات، التي يترك أمر معالجتها كالمعتاد إلى طبقات البروتوكول المختلفة في الإرسال والاستقبال. أما الاختلافات في السرعة وفي بنية دفقات المعطيات فتعالج بتقنية تسمّى "التضامّ" concatenation، وهي تعتمد

على إنشاء سلسلة من الحاويات الافتراضية المترابطة لحمل الحركة المطلوبة. سنعرض فيما يلي لبعض الطرق الرئيسية بإختصار تاركين للقارئ المهتم بالتفاصيل مرجعة المراجع المختصة في هذا المجال.

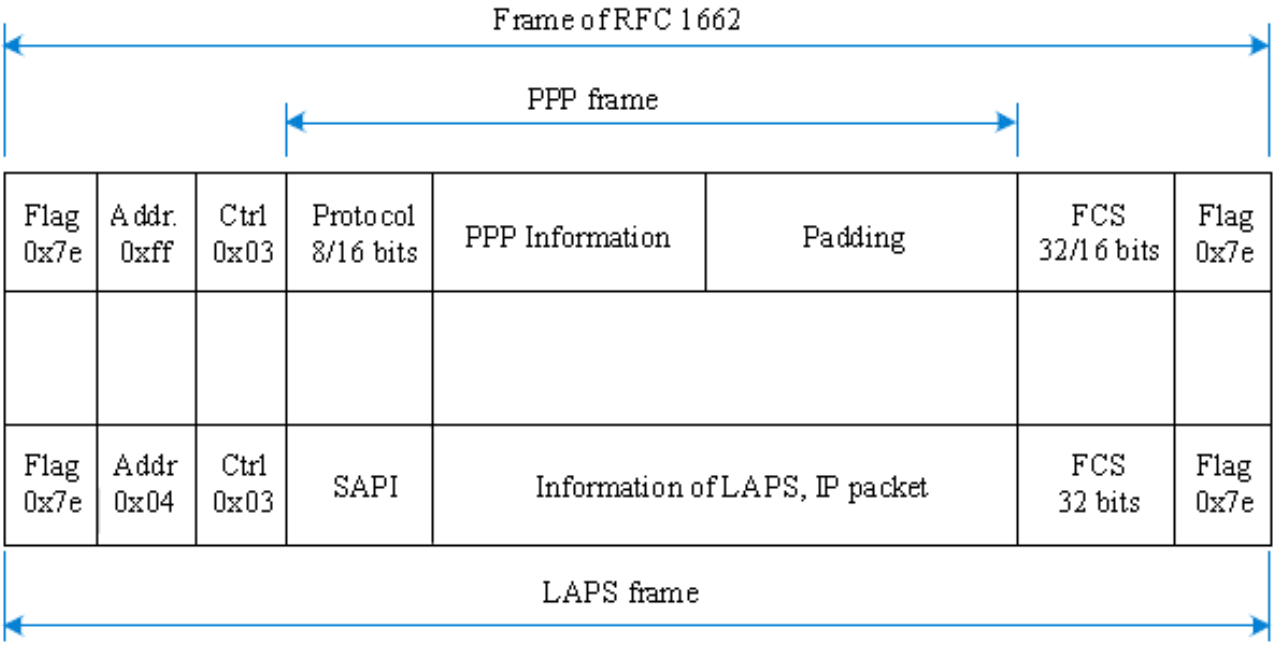
1.6. التغليف (wrapping)

إذا أردنا إنفاذ حركة معطيات آتية من شبكة محلية LAN، مثل إثرنت، إلى شبكة نقل "واسعة" WAN مبنية عل طبقة فيزيائية SDH، فلا بدّ –كما ذكرنا– من معاملة إطارات الإثرنت (التي قد تحمل بدورها في حقل المعطيات رزم IP) معاملة الحمل المفيد، وذلك عن طريق بروتوكول خاص لذلك. ويجري تقليدياً استخدام بروتوكول يتقبّل نمط الاتصال المتزامن "نقطة إلى نقطة"، مثل Point-to-Point Protocol (PPP)، في إطارات HDLC، التي توفّر وصلة للنقل من نقطة إلى نقطة. وفي هذه الحالة، يجري هنا تغليف wrapping إطار الإثرنت في إطار PPP وإعادة تكوينه في الطرف الآخر. ويمكن أيضاً استخدام بروتوكول بديل هو "إجراء النفاذ إلى الوصلة، المخصّص للتراتبية الرقمية المتزامنة" Link Access Procedure for SDH (LAP-S)، الذي قيّسه الاتحاد الدولي للاتصالات لهذه الغاية.

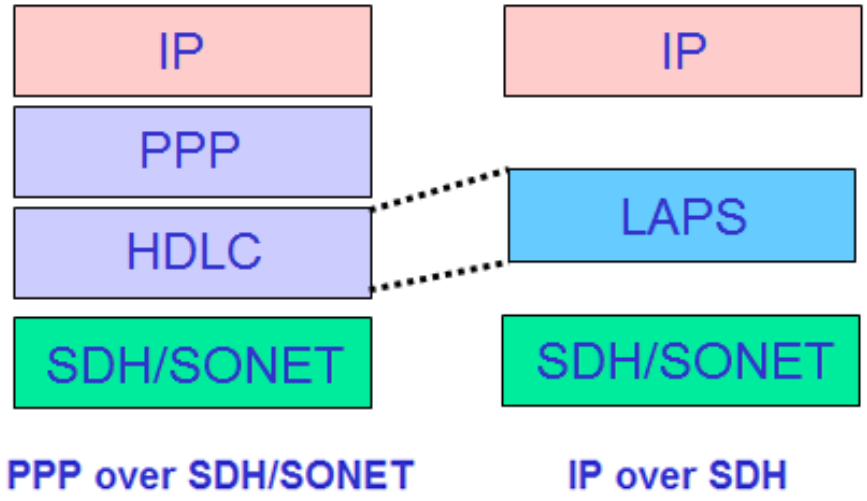
يبيّنالشكل 3-15:تغليف إطار إثرنت في إطار LAP-Sتغليف إطار إثرنت في إطار LAP-S. أما



الشكل 1 : نقل المعطيات فوق **التراتبية الرقمية المتزامنة عن طريق بروتوكولات PPP** أو LAP-S فيبين طبقات البروتوكولات لنقل رزم IP على التراتبية الرقمية المتزامنة.



الشكل 3-15:تغليف إطار إثرنت في إطار LAP-S



الشكل 1 : نقل المعطيات فوق التراتبية الرقمية المتزامنة عن طريق بروتوكولات PPP أو LAP-S

2.6. التضامّ (Concatenation)

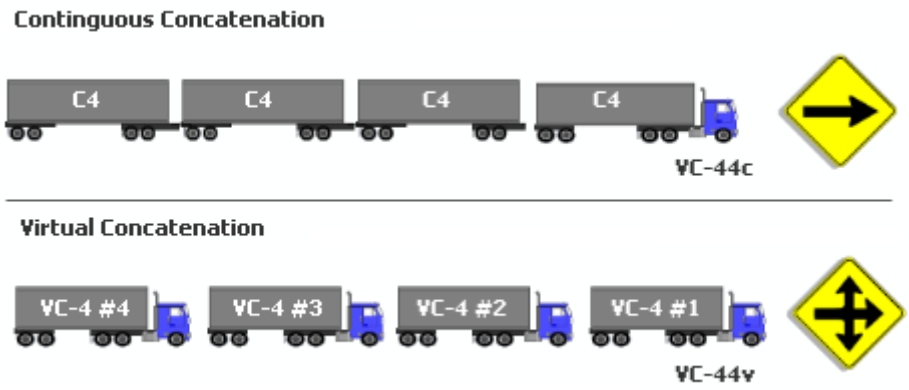
بحساب مبسّط، يمكن مثلاً تصوّر حمل إطار إثرنت بسرعة 10 Mbps (بعد تغليفه) في مجموعة من خمس حاويات افتراضية VC–12 (تحمل كل منها ما يكافئ إشارة E_1، كما نعلم). وأياً كان بروتوكول التغليف المستخدم، فنحن هنا أمام "طريقتين":

- إما نقل حركة إثرنت ذات السرعة 10 Mbps في الحاويات الافتراضية VC–12 الاعتيادية، أي على دفق بتات bit–stream بسرعة 2 Mbps، فنحتاج هنا إلى خمس حاويات منفصلة كما رأينا، مع ضرورة وجود آلية للتعامل تضمن تتابع وترتيب هذه الحاويات في مستوى أعلى بغية إعادة تكوين إطار الإثرنت في الطرف الآخر
- أو إنشاء دفق معطيات جديد بسرعة 10 Mbps، عن طريق ربط خمس حاويات VC–12 معاً في سلسلة "متضامّة"، وهو ما يسمح بتوضيع إطار الإثرنت (المغلّف) مباشرة على هذا الدفق الجديد. وتسمّى الحاوية الافتراضية الجديدة المنشأة بهذه الطريقة VC–12–5c. يسمّى هذا النوع من التضامّ بـ "التضامّ الالتصاقي" contiguous concatenation. ويُستخدم الترميز VC–n–Kc للدلالة على الدفق الجديد المُنشأ، حيث تدل c على التضامّ الالتصاقي، و K على عدد الحاويات المترابطة من المستوى n

ويبيّن الشكل 3–17 : **مثال عن التضامّ الالتصاقي**

(أ) حمل إطار إثرنت بسرعة 10 Mbps في خمس حاويات افتراضية VC–12 (دون تضامّ)؛

(ب) حمل إطار إثرنت بسرعة 10 Mbps في سلسلة متضامّة VC–12–5c الفرق بين الطريقتين في المثال السابق، موضحاً مفهوم التضامّ الالتصاقي.

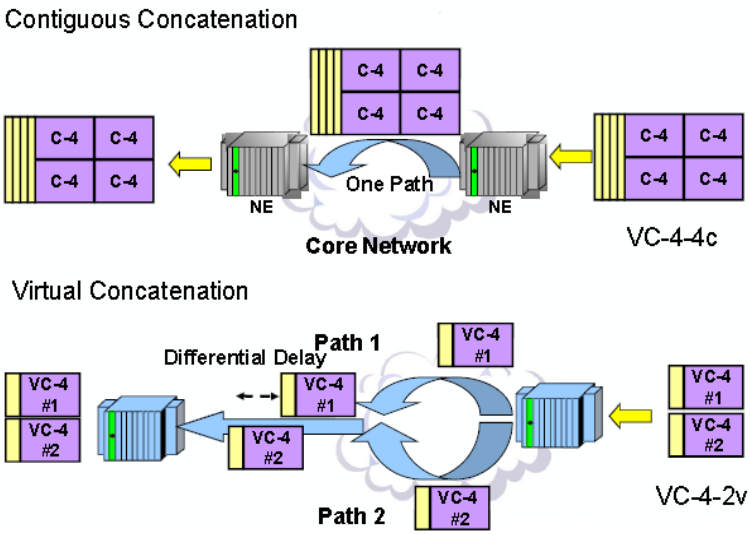


الشكل 3–17 : مثال عن التضامّ الالتصاقي

(أ) حمل إطار إثرنت بسرعة 10 Mbps في خمس حاويات افتراضية VC–12 (دون تضامّ)؛

(ب) حمل إطار إثرنت بسرعة 10 Mbps في سلسلة متضامّة VC–12–5c

ويبين الشكل 2-Error! **No text of specified style in document.** الفرق بين التضامّ الالتصاقي والافتراضي على مستوى الحاوية الافتراضية VC–4



الشكل **Error! No text of specified style in document.**-2:الفرق بين التضامّ الالتصاقي والافتراضي على مستوى الحاوية الافتراضية VC-4

3.6. إجراء التأطير العام (Generic Framing Procedure "GFP")

مع تزايد وتنوّع الطرق المستخدمة لحمل المعطيات على التراتبية الرقمية المتزامنة (HDLC، PPP، LAP-S، وغيرها)، قام الاتحاد الدولي للاتصالات بتصميم آلية موحّدة لـ "كبسلة" encapsulation معطيات الإطارات والرزم، بأنواعها المختلفة، على شبكات النقل، مثل التراتبية الرقمية المتزامنة، حملت اسم "إجراء التأطير العام" Generic Framing Procedure (GFP). ويعرض الشكل 3-19 نقل المعطيات فوق التراتبية الرقمية المتزامنة عن طريق إدراء التأطير العميم GFP موقع هذا البروتوكول. وسنكتفي هنا بعرض شكل الإطار في هذا البروتوكول، الذي يبينه الشكل 3-19

Ethernet	IP	HDLC	other
GFP – client specific part			
GFP – common part			
PDH	SDH	OTN	other

الشكل **Error! No text of specified style in document.**-3: البنية العامة لبروتوكول GFP

7. طبقات الإشارة في التراتبية الرقمية المتزامنة وتجهيزاتها (SDH Layers and equipment)

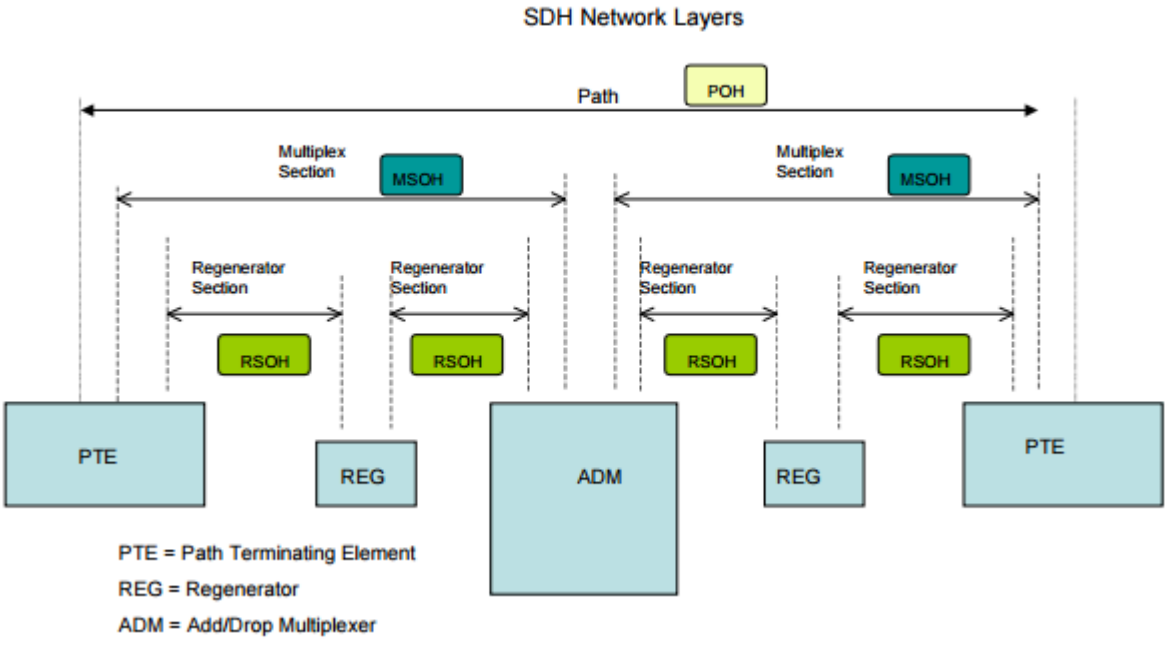
ذكرنا أن الترويسات تُستخدم –عموماً– للتحكّم في مسير الإشارة. ويجري تقسيم مسير الإشارة في التراتبية الرقمية المتزامنة إلى "طبقات" layers، وذلك لتحديد "المسؤولية" عن نقل الحمل المفيد في الشبكة، بحيث يكون كل عنصر في الشبكة network element (NE) مسؤولاً عن توليد وتفسير وحذف الترويسات في الطبقة التي ينتمي إليها، والتعامل مع المعلومات المحمولة في تلك الترويسات (معلومات التحكّم control والحالة status)، بحيث تولَّد الترويسة عند الدخول إلى الطبقة وتُحذف عند الخروج منها. هذا، ويُقصد بعنصر الشبكة، أي تجهيزة موجودة في عقدة من عقد الشبكة يمكن إدارتها والتحكّم فيها.

وقد جرى لهذا الغرض تعريف ثلاث طبقات تراتبية، وهي (من الأعلى إلى الأسفل):

- المسار path
- مقطع التضميم multiplexer section
- مقطع إعادة التوليد regeneration section

كما جرى تعريف ثلاثة أصناف من عناصر الشبكة التي "تُنهي" terminate تلك الطبقات (أي تقع على كل طرف من طرفَيها) كما هو موضح بالشكل 3–20:

- تجهيزات نهاية المسار path terminating equipment (PTE)
- تجهيزات نهاية مقطع التضميم multiplexer section terminating equipment (MSTE)
- تجهيزات نهاية مقطع إعادة التوليد regeneration section terminating equipment (RSTE)



الشكل 3–20 طبقات الإشارة في التراتبية الرقمية المتزامنة

1.7.المسار

يجري إنشاء ترويسة المسار POH عند أول دخول الإشارة إلى شبكة التراتبية الرقمية المتزامنة، ويكون ذلك عبر تجهيزة من تجهيزات نهاية المسار، تسمّى عادة "مضمّم/فاكّ تضميم النفاذ" access multiplexer/demultiplexer (AM/AD) أو "المضمّم الانتهائي" terminating multiplexer (TM)، وتتولّى جمع الروافد. تقوم تجهيزة نهاية المسار بإنشاء ترويسة المسار في نقطة الدخول إلى كل مستوعب (لتكوين المستوعب الافتراضي) وإزالتها في نقطة الخروج، إي إن ترويسة المسار هي أول ما يُضاف وآخر ما يُحذف من الترويسات first-on, last-off، وبذلك تكون المعلومات التي تحملها هي من نوع طرف إلى طرف end-to-end.

2.7. مقطع التضميم

يجري إنشاء ترويسة مقطع التضميم MSOH في إحدى تجهيزات نهاية مقطع التضميم، وهي العقد التي تجري فيها معظم وظائف التضميم والتزامن في الشبكة، وسحب وإضافة الروافد، وربط مقاطع الشبكة بعضها ببعض؛ ومن أمثلتها "مضمّمات السحب والإضافة" ADM.

3.7. مقطع إعادة التوليد

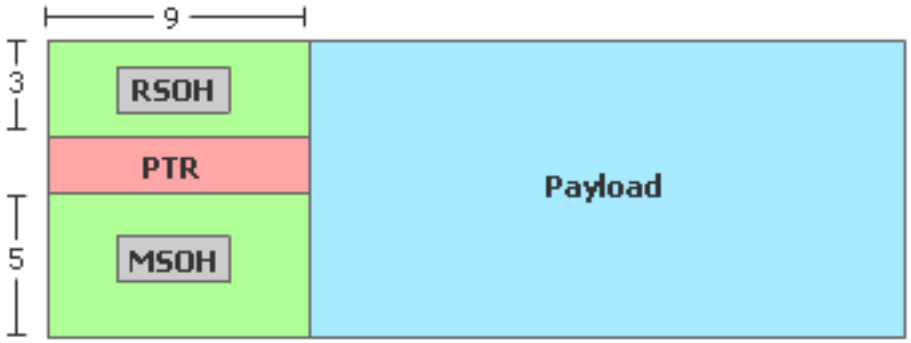
يجري إنشاء ترويسة مقطع إعادة التوليد RSOH في إحدى تجهيزات نهاية مقطع إعادة التوليد؛ ومن أمثلتها معيدات التوليد الضوئية optical regenerators (OR)، التي تظهر الحاجة إليها عندما تكون المسافة بين مضمّمين طويلة إلى حد يتطلّب تقوية الإشارة. ويقوم كل معيد توليد بحذف ترويسة مقطع إعادة التوليد على الإشارة الواردة، ويتعرّف على التزامن، ثم يضع ترويسة جديدة مكانها، قبل أن يعيد إرسال الإشارة. وهنا لا يجري أي تغيير على ترويسة مقطع التضميم وترويسة المسار.

ونشير إلى أن بعض التجهيزات قد تتضّمن وظائف نهاية المسار ومقطع التضميم ومقطع إعادة التوليد متكاملة. فمثلاً: قد تقوم أنظمة الربط التصالبي الرقمي DCS ومضمّمات السحب والإضافة ADM، وكذلك المضمّمات الانتهائية، بوظيفة إعادة توليد الإشارة؛ أو قد تتضمّن مضمّمات السحب والإضافة وظائف المضمّمات الانتهائية.

ويمكن مما سبق ملاحظة أن أبسط أشكال المسارات في شبكة التراتبية الرقمية المتزامنة وصل مباشر لمضمّمين انتهائين بواسطة ليف ضوئي، وفيها يتماهى المسار ومقطع التضميم ومقطع إعادة التوليد في وصلة واحدة.

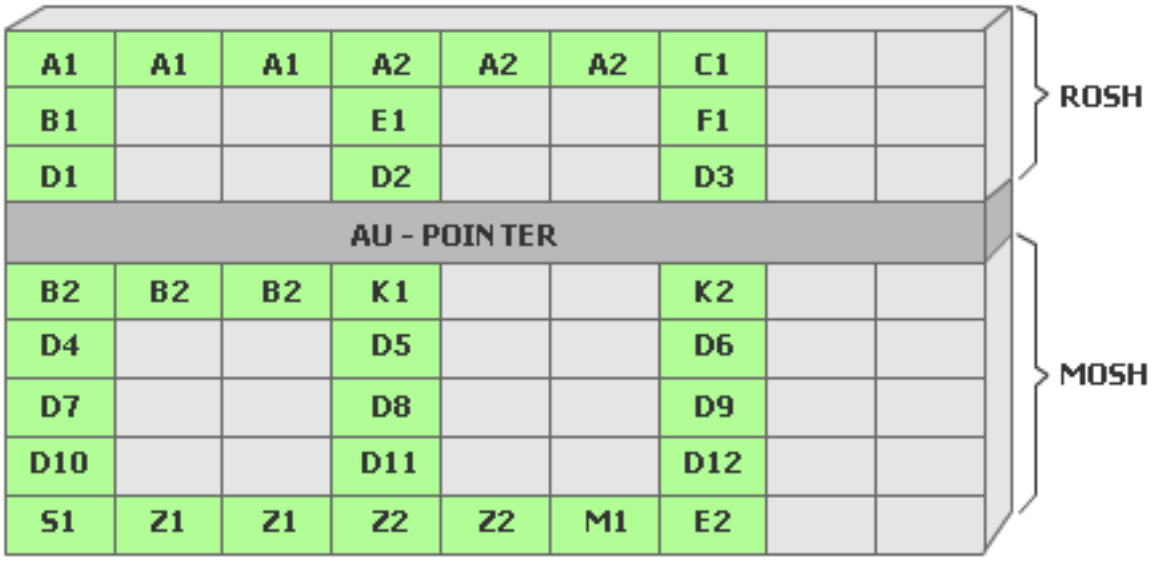
8. العناصر الرئيسية للبادئه (SOH)

لنعد الآن إلى البادئة (الأعمدة التسعة الأولى) في الإطار STM-1، الذي يُسمّى بدقة "بادئة المقطع" section overhead (SOH) (أو البادئه اختصاراً). في هذه الأعمدة، تُخصص الأسطر الثلاثة الأولى (27 بايتاً) لما يعرف بـ "بادئة مقطع إعادة التوليد" regenerator section overhead (RSOH)، والأسطر الخمسة الأخيرة (45 بايتاً) لما يعرف بـ "بادئة مقطع التضميم" multiplexer section overhead (MSOH). كما هو موضح بالشكل 3-21



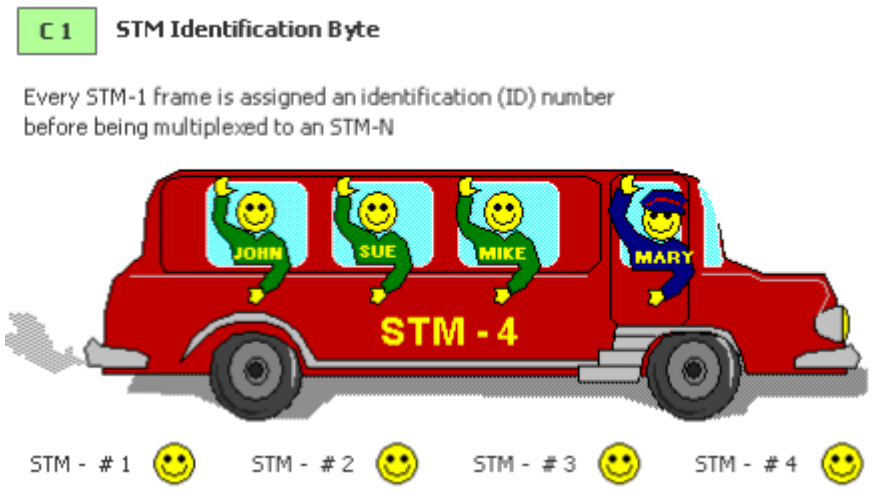
الشكل 3-21 البنية العامة لإطار STM-1

نعرض فيما يلي لأهم معطيات البادئة لإشارة STM1 بشكل مختصر مع العلم أنها مقسمة على شكل بايتات تحكم كما هو موضح بالشكل 3-22



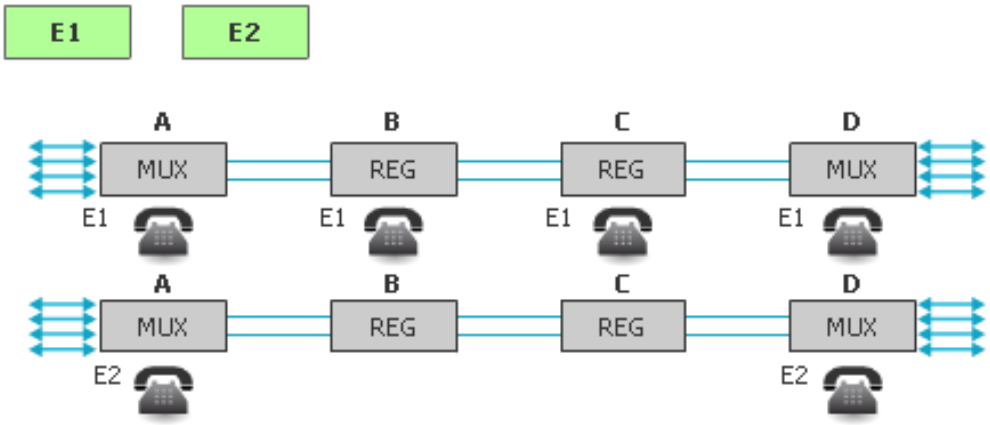
الشكل 3-22 بنية RSOH و MSOH

- البايتات نوع A: وهي عبارة عن 6 بايتات ذات قيمة ثابتة لمحاذاة إطار إشارة STM1 وبصيغة أخرى تحديد بدايته.و يمكن ان تأخذ قيمتين مختلفتين A1 = 11110110 أو A2: 0010100
- البايت C_1: وهي عبارة عن بايت وحيد يستخدم عند تضميم عدة إشارات STM1 للحصول على نظام STM-N بهدف تمييز أنظمة STM1 عن بعضها. (الشكل3-23)



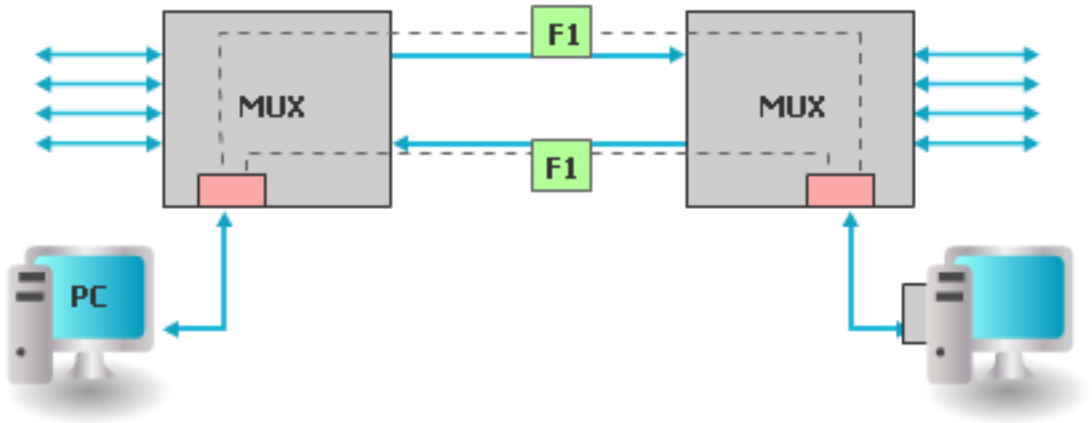
الشكل 3-23 تمثيل تقريبي لعمل البايت C1

- البايتات B: وهي عبارة عن بايتات تستخدم لمراقبة معدل الأخطاء خلال الإرسال (BER)
- البايت M: وهي عبارة عن بايت للإشعار بوجود خطأ خلال الإرسال. بالطبع هو مرتبط بالبايتات نوع B
- البايتات نوع E: وهي عبارة عن 2 بايت تستخدم لضرورات الخدمة والصيانة. مثلا يمكنها حمل مكالمات صوتية لفنيي الخدمة بين المقاطع المختلفة للمسار طبعا بعد وصل طرفيات مناسبة (سماعات هاتف مثلا) كما هو موضح في الشكل 3-24. نلاحظ ان البايت E_1 يعنى بالاتصال بين المقاطع الجزئية (Point to Point) على العكس من E_2 الذي يعنى بالاتصال على كامل المسار (End to end).



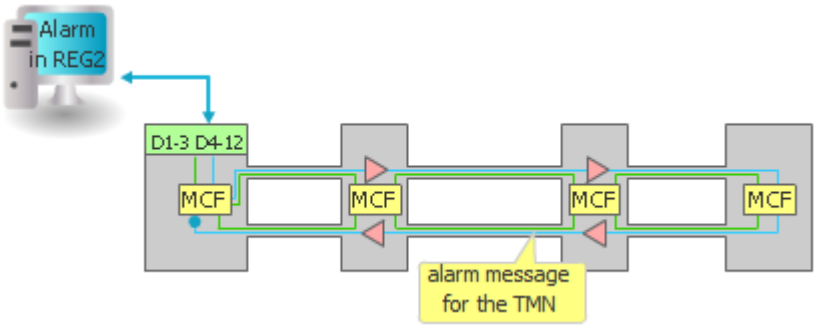
الشكل 3-24 عمل البايت E1 و E2

- البايت نوع F: وهو عبارة عن بايت يستخدم لضرورات الخدمة والصيانة أيضا ولكن لوصل حاسبي خدمة مثلا. الشكل 3-25



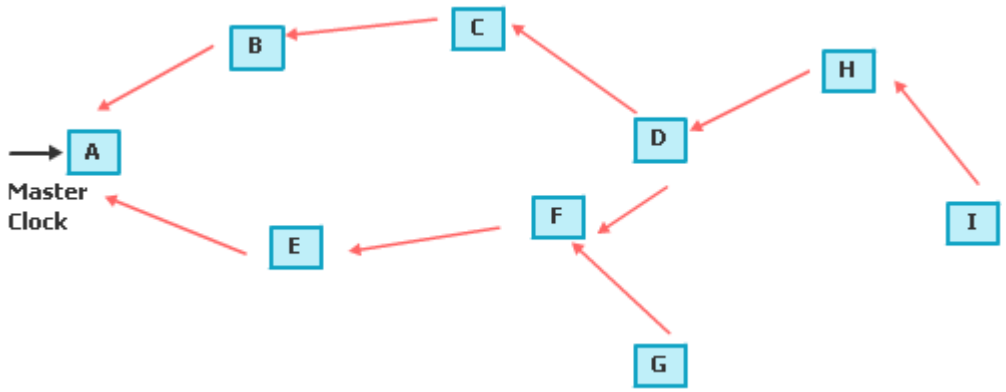
الشكل 3-25 عمل البايت F

- البايتات نوع D: وهي عبارة عن عدة بايتات لنقل المعطيات الضرورية لنظام التحكم والمراقبة (Network Management System "NMS"). الشكل 3-26



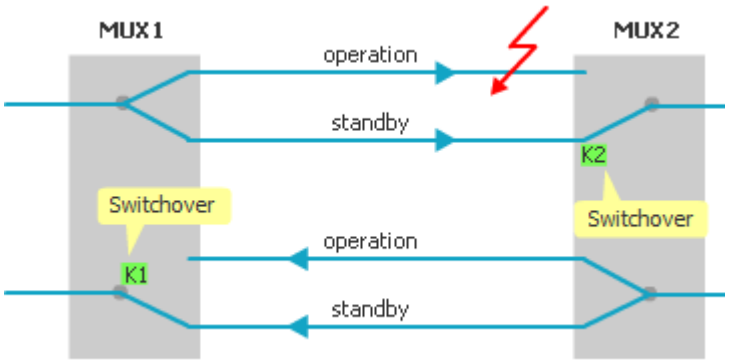
الشكل 3-26 عمل البايت D

- البايت نوع S: يستخدم في عملية التزامن وبشكل خاص لتجنب حدوث لبس بالتزامن في حالة وجود مسارات تشكل حلقات (مسارات رديفة للحماية) حيث ينبه الأجهزة بأحذ التزامن من المسار المباشر القادم من منبع التزامن الرئيسي وليس من أحد المسارات الراجعة. الشكل3-27



الشكل 3-27 عمل البايت S

- البايتات نوع K: في حالة وجود مسارات حماية أو ماندعوه (1+1) تستخدم البايتات K للتحويل من المسار الرئيسي إلى مسار الحماية عند إنقطاع المسار الرئيسي. لاحظ الشكل 3-28



الشكل 3-28 عمل البايت K

- البايتات نوع Z: بايتات إحتياطية متروكة لإستخدامات مستقبلية.

9. لمحة عملية

إن أبرز مصنعي تجهيزات تضميم SDH هي: Huawei, Ericsson, Siemens, ZTE, Alcatel-Lucent. يوضح الشكل مثالا عن مجمع نوع hiT7025 من شركة Siemens. يستطيع هذا المجمع تضميم إشارات حتى مستوى STM16 أو STM4 واعطاء روافد بأنواع مختلفة ... ,Ethernet ,E_1 ,STM1

الشكل 3-29 مجمع hiT7025 من شركة Siemens

أسئلة وتمارين:

(لكل سؤال 4 علامات غير قابلة للتجزئة وبالتالي تكون العلامة الكلية من 20).

1. ماهو عدد الـ E_1s التي يمكن تضمينها في دارة الـ STM-1:
   a. 32
   b. 63
   c. 46
   d. جميع الإجابات خاطئة.

2. من سلبيات نظام الـ SDH أنه قابل للمشاركة.
   a. صح.
   b. خطأ.

3. يعتبر نظام الـ SDH من البروتوكولات العاملة في الطبقة الأولى (الفيزيائية).
   a. صح.
   b. خطأ.

4. تعتبر المستويات التالية من عائلة الـ SDH:
   a. STM-1, STM-4, STM-16, STM-32
   b. STM-1, STM-4, STM-1.6, STM-32
   c. STM-1, STM-4, STM-16, STM-64
   d. جميع ما ذكر صحيح.

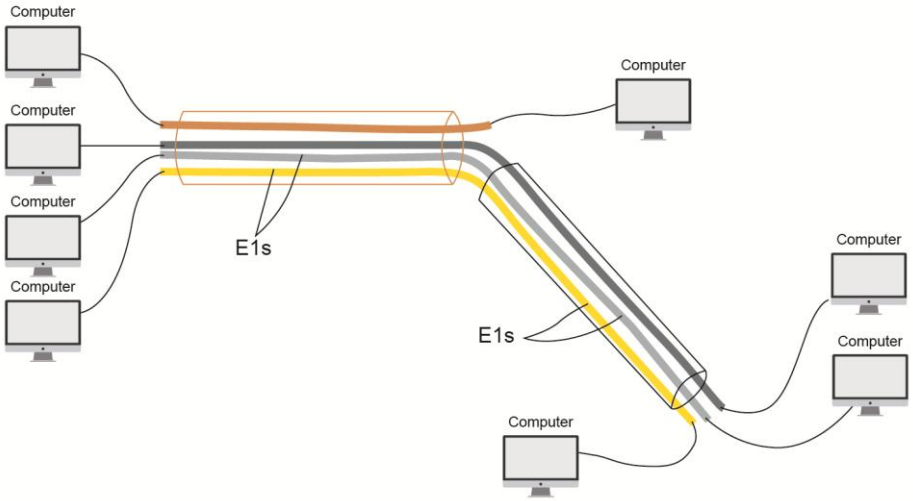
5. يمكن أن تستخدم دارة الـSTM-1 إما كدارة مؤلفة من 63 E_1s (Channelized) مع ترويسات التحكم أو كدارة واحدة ذات معدل نقل 155Mbps (Non-Channelized).
   a. صح.
   b. خطأ.

رقم السؤال	الجواب
1	b
2	b
3	a
4	c
5	a

الفصل الرابع
نمط النقل غير المتزامن
Asynchronous Transfer Mode ATM

1. مقدمة

تكلمنا سابقاً بشيء من التفصيل عن بنية النظامين PDH وSDH، وذكرنا أن كلاهما يعتمدان على تضميم دارات رقمية، وكل دارة من هذه الدارات قد تنتمي لخدمة معينة أو مشترك محدد، وهذه الدارات تكون محجوزة تماماً (Fully dedicated) بين طرفي قناة الاتصال، ولا يشاركها فيها أي قناة اتصال أخرى، وكأن سلكاً مخصصاً يربط طرفي الاتصال وفق هذه الدارة، مما يعني تمرير البيانات عبر مسار معرف ومحدد مسبقاً (الشكل 4-1)، وبالتالي فإن زمن تمرير البيانات سيكون ضئيل جداً، ناهيك عن أن النظامين PDH وSDH يعتبران من بروتوكولات الطبقة الأولى (الفيزيائية) من نظام الـ (:Organization standards International OSI ذي الطبقات السبع والتي سيأتي تفصيلها في فصل الـ IP)، ما يعني أن زمن معالجة البيانات لتحديد جهة التمرير تقريباً صفر، وهذا مناسب جداً في تطبيقات الزمن الحقيقي (Real Time Application) كالمكالمات الصوتية والمرئية والاجتماعات الافتراضية وغيرها من التطبيقات التي لاتقبل أي تأخير في نقل البيانات بين طرفي الاتصال.



الشكل 4-1 تمثيل تقريبي عن كيفية تخصيص مسار محدد لكل قناة اتصال

لكن ومن جهة أخرى، عندما لاتكون هناك أي بيانات مرسلة بين طرفي الاتصال، فإن هذه الدارات تبقى محجوزة كلياً وبدون استخدام حتى ولو كانت هناك قناة اتصال أخرى مجاورة لها قد وصلت لمرحلة الاختناق (Congestion)، وبالتالي لا يتم الاستفادة من الدارة غير المستخدمة حالياً لصالح دارة أخرى مستخدمة كلياً، وهذه نقطة سلبية في غاية الخطورة للنظامين PDH وSDH، حيث تسبب هدراً كبيراً لسعة النقل على خطوط الاتصال.

إذاً لدينا نقطة إيجابية (وهي زمن التمرير السريع نتيجة لمرور البيانات بين طرفي الاتصال عبر مسار خاص محدد مسبقاً)، ونقطة سلبية (وهي الحجز المسبق لجزء من سعة النقل لقناة اتصال محددة بدون إمكانية مشاركته مع باقي قنوات الاتصال).

للتغلب على النقطة السلبية أعلاه كان لا بد من جعل سعة خط النقل مشتركة بين كل أطراف الاتصال دون تخصيص أي طرف بأي حجز مسبق، وبالتالي فإن سعة خط نقل ستكون متاحة للاستخدام من قبل جميع أطراف الاتصال في نفس الوقت، وهنا يبرز التحدي حول كيفية تمييز البيانات من حيث تبعيتها لطرف معين.

عملياً يتم ذلك من خلال تجزئة بيانات المستخدم إلى أجزاء صغيرة تسمى رزم (Packets) أو خلايا (Cells) [في نظام الـ ATM تُعتمد تسمية خلية] ومن ثم إضافة أو إعطاء كل خلية رقم محدد يشير إلى تبعية هذه الخلية لطرف دون آخر، وهذا الرقم يتم تخصيصه مسبقاً وتعميمه على كل المبدلات (Switches) على طول خط النقل بين أطراف الاتصال، وبناءاً على هذا الرقم يتم توجيه الخلية داخل كل مبدل (Switch) حتى يصل إلى طرف الاستقبال المقابل، وبالتالي تكون البيانات قد سلكت مسار محدد من المرسل إلى المستقبل وكأنها دارة رقمية تربط بينهما، لكن هذه الدارة ليست فيزيائية كما هو الحال في نظامي الـ SDH/PDH، لأنه لا يوجد حجز مسبق لأي سعة على خط النقل بين طرفي الاتصال، وإنما هي عبارة عن عملية تبديل للخلايا بناءاً على الرقم الجديد المضاف، تسمى هذه الدارة بالقناة الافتراضية (Virtual Channel "VC").

عندما تسلك مجموعة من القنوات الافتراضية نفس المسار بين طرفي الاتصال، أي أن لها نفس جهة الإرسال والاستقبال، فإنه يتم وسمها جميعاً برقم جديد يشير إلى ما يسمى بالمسار الوهمي (Virtual Path VP). وبالتالي فإن جميع الـ VCs التي تنتمي إلى نفس المسار الوهمي VP يمكن التحكم بها دفعة واحدة كأن يتم تغيير اتجاهها مع بعضها البعض عن طريق تغيير اتجاه الـ VP المعنية، أي أنه يمكننا تطبيق عمليات إدارة الشبكة على عدد صغير من الوصلات (VPs) بدلاً من تطبيق ذلك على عدد كبير من وصلات الـ VCs المستقلة.

تسمى البنية الجديدة هذه بنظام النقل غير المتزامن Asynchronous Transfer Mode، ونقول غير متزامن لأنه لا يوجد إشارة تزامن بين طرفي الاتصال عبر قناة الاتصال بينهما، وإنما سيعتمد على أنواع أخرى من طرق التزامن سيتم التطرق لها في بحث التزامن Synchronization.

2. بروتوكول النقل غير المتزامن

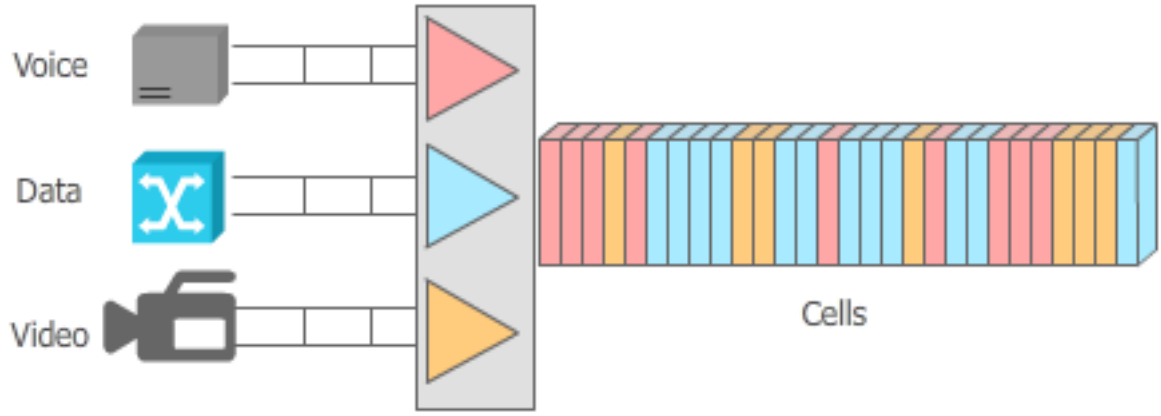
تعريفه:

وهو نظام تراسل للمعلومات (الصوت والفيديو والبيانات) يدعم سرعات نقل عالية وتأخير منخفض جداً في تمرير البيانات، كما يؤمن مشاركة لسعات النقل بين مكونات الشبكة.

تم تطويره من قبل هيئة CCITT/ITU في ثمانينات القرن الماضي؛ للأهداف التالية:

1. تصميم أسلوب للاتصالات يتمكن من نقل المؤتمرات بالصوت والصورة مباشرةً، بالإضافة إلى الصور، والنصوص والرسائل الإلكترونية.
2. تلبية احتياجات الشبكات الرقمية ذات الخدمات المتكاملة وعريضة الحزمة B-ISDN والتي تتطلب معدلات نقل عالية جداً.
3. توحيد شبكات الاتصالات والحواسيب.
4. دعم تطبيقات الزمن الحقيقي (R/eal Time application).

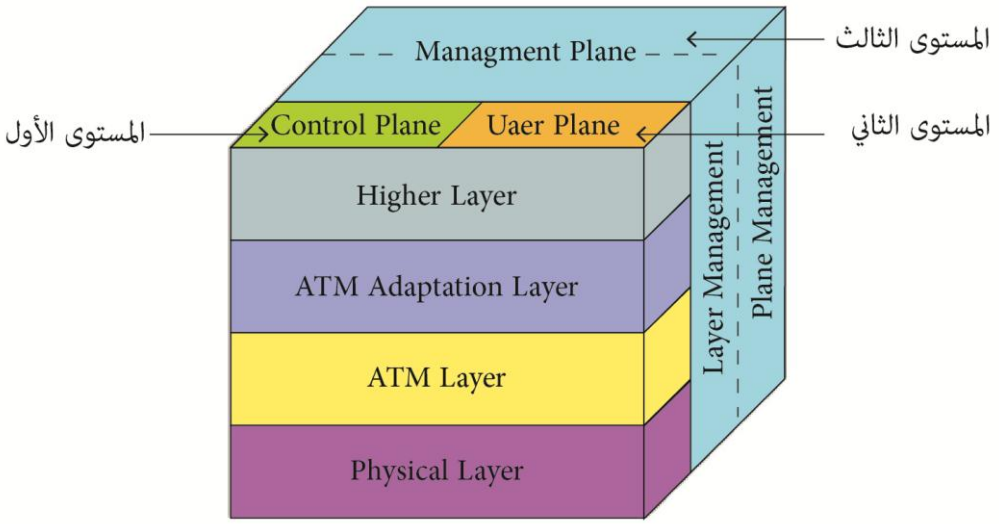
يعتمد هذا البروتوكول في عمله على تغليف بيانات المستخدم على شكل خلايا (Cells) ومن ثم إضافة ترويسة لكل خلية للتحكم بها (تحديد اتجاها ضمن الشبكة، التحكم بالخطأ، التحكم بالتدفق العام في الشبكة،....) عند انتقالها بين طرفي الاتصال (الشكل 4-2).



الشكل 4-2 تمثيل تقريبي لتغليف البيانات

3. بنية بروتوكول النقل غير المتزامن

يوضح الشكل 4-3 البنية الأساسية لبروتوكول الـ ATM والذي تم اعتماده من قبل الهيئة الدولية ITU-T، حيث يتكون من ثلاثة مستويات.



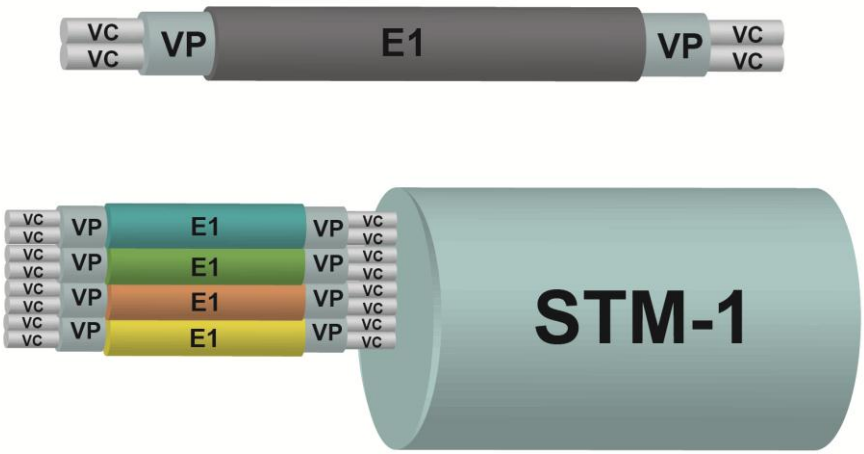
الشكل 4-3 البنية الأساسية لبروتوكول الـ ATM

1.3. المستويات الثلاثة لبروتوكول الـ ATM:

1. مستوي المستخدم (User Plane): يقوم بتوفير الوسائل اللازمة لتدفق المعلومات بين طرفي الاتصال. يتكون مستوي المستخدم (User Plane) من ثلاث طبقات رئيسة حيث توفر جميعها التطبيقات التي يحتاجها المستخدم.
2. مستوي التحكم (Control Plane): يقوم بتنفيذ وظائف التحكم بطلب الاتصال وفصل الاتصال وتحديد خصائص الاتصال وشروطه كنوع الاتصال وسرعة النقل العظمى مثلاً.
3. مستوي الإدارة (Management Plane): وينقسم إلى:
   - إدارة الطبقة (Layer Management): تقوم بعمليات الإدارة للنظام ككل، كما تقوم بتنفيذ عمليات الإدارة المتعلقة بكل مصادر الشبكة.
   - إدارة المستوي (Plane Management): تقوم بوظائف النظام وتوفير التناغم بين كل المستويات.

2.3. الطبقات الثلاث لبروتوكول الـATM:

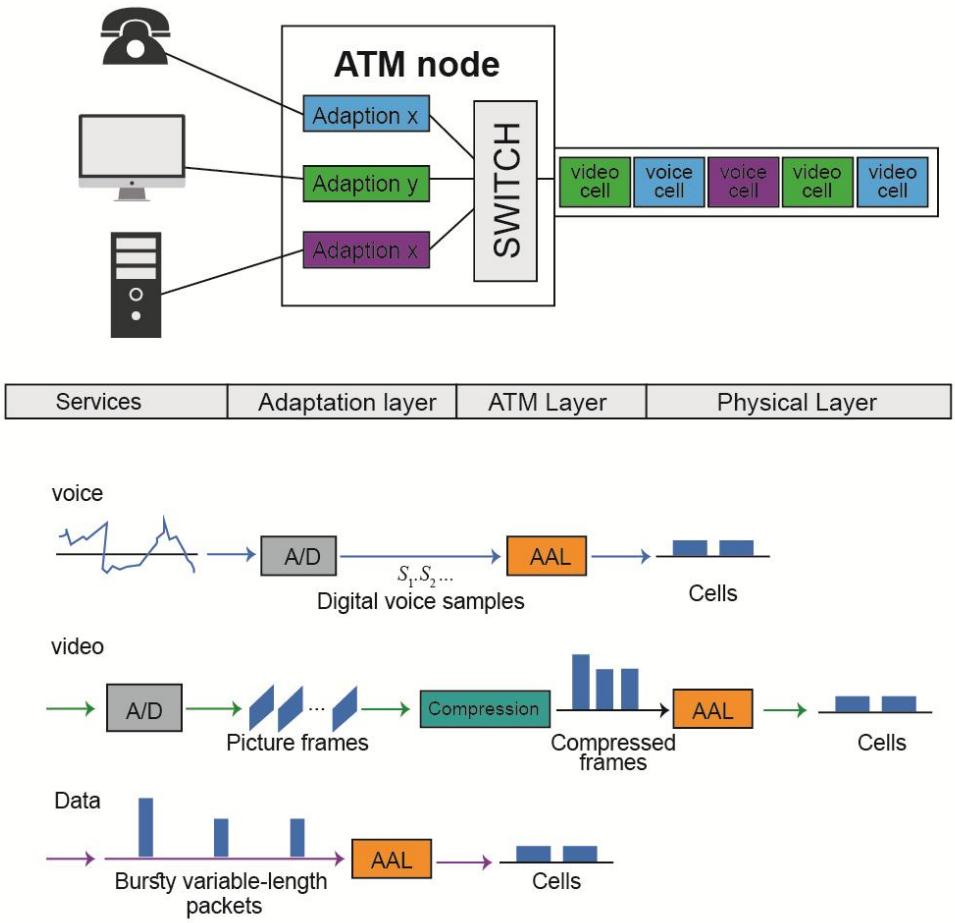
1. الطبقة الفيزيائية (Physical Layer): تتضمن معايير تحدد مواصفات خط النقل (ألياف ضوئية، E_1s ، STM، ...) التي تتناسب مع خصائص تقنية الـ ATM، كما تقوم الطبقة الفيزيائية بتشفير البيانات وإرسالها عبر خط النقل بمعدل تحدده هذه الطبقة والذي قد يصل إلى 155 Mbps أو 622.08 Mbps أو معدلات اخرى أعلى أو أدنى. يعتمد هذا البروتوكول في الطبقة الفيزيائية على بروتوكولات الـ PDH والـ SDH كقناة نقل بين مبدلات الـATM . (أنظر الشكل 4-4).



الشكل 4-4 كيفية نقل بيانات ATM عبر برتوكولاتPDH وSDH

2. طبقة الـ ATM: تقوم هذه الطبقة بتجميع وتوزيع الخلايا المرسلة والمستقبلة، كما تحدد أيضاً طرق التوجيه في مبدلات (Switches) شبكات الـ ATM، تقوم أيضاً بتأسيس وتحرير القنوات الافتراضية، كما تشرف هذه الطبقة على تدفق الخلايا بحيث يكون ضمن المحددات المتفق عليها أثناء عملية تأسيس القنوات الافتراضية، بالإضافة إلى ضمان تسلسل الخلايا ضمن كل قناة. كما يجب التنويه إلى أنه في حال فقد بعض الخلايا لأي سبب فإن هذه الطبقة غير مسؤولة عن إعادة إرسال الخلايا المفقودة، وإنما مسؤولية الطبقات الأعلى.

3. طبقة التكيف (ATM Adaptive Layer AAL): إن استخدام طبقة الـ ATM أدى إلى الحاجة لطبقة تكيف أو مواءمة بين الطبقات العليا (Higher Layers) والمزودة ببروتوكولات لنقل البيانات لاتدعم الـ ATM وبين طبقة الـ ATM، أي أن طبقة التكيف هذه تحول المعلومات القادمة من الطبقات العليا إلى خلايا ATM وذلك عند محطة الإرسال، وتقوم بتحويل خلايا الـ ATM إلى معلومات يمكن للطبقات العليا معالجتها وفهمها، أي أن طبقة الـ AAL تقوم بتنفيذ وظائف end–to–end ولا يتم الولوج إلى طبقة الـ AAL إلا عند طرفي الاتصال "المرسل والمستقبل". (الشكل 4–5**الشكل 4–5**).

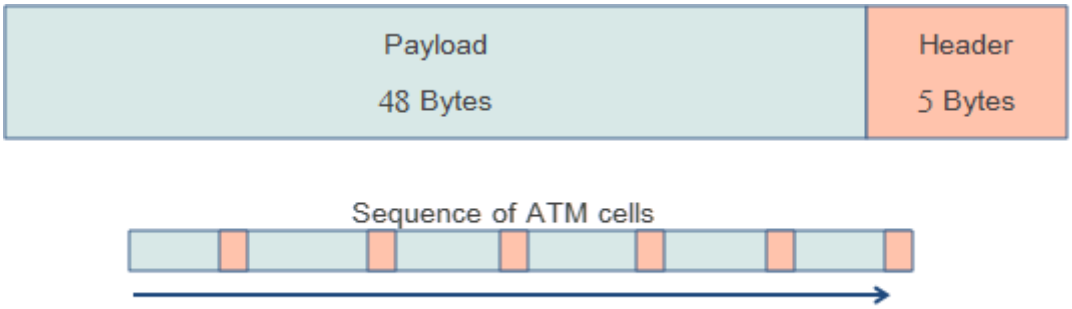


الشكل 4–5 وظيفة طبقة AAL

4. بنية خلية نظام النقل غير المتزامن

يستخدم نظام النقل غير المتزامن ATM خلايا ذات حجم ثابت (53 بايت) (الشكل 4-6)، تتألف كل خلية من:

1. ترويسة (Header): طولها 5 بايت. وهي المسؤولة عن التحكم بالخلية من حيث توجيه الخلية والتحكم بالخطأ والتحكم بالتدفق العام للبيانات.
2. حقل البيانات (Payload): طوله 48 بايت. وهي تحوي بيانات المستخدم المراد نقلها بين طرفي الاتصال.



الشكل 4-6 خلية ATM

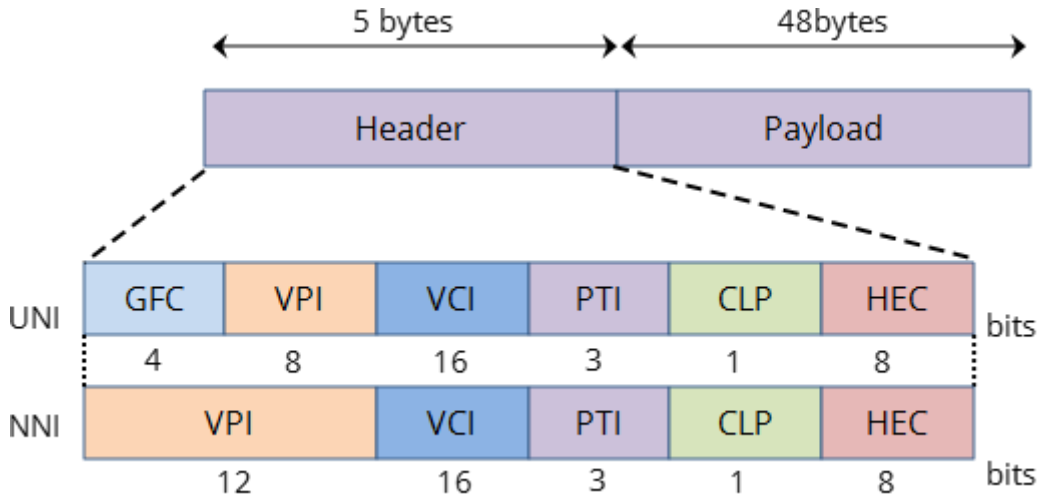
ولهذا الحجم الثابت من الخلايا محاسن ومساوئ:

أما محاسنه فهو زمن التوجيه القصير (Forwarding Time) الذي يحتاجه المبدل (Switch) لتمرير الخلية إلى مبدل آخر، لذا فإن ATM مناسب جداً للتطبيقات التي لاتتحمل أزمنة تأخير كبيرة (Real time application) كالاتصالات الصوتية عبر بروتوكول الـ IP (Voice over IP "VOIP").

أما مساوئه، فتظهر بشكل جلي عند نقل ملفات كبيرة الحجم (FTP application) حيث يتطلب نقل هكذا ملفات إلى عدد كبير من خلايا ATM وبالتالي عدد كبير من الترويسات المتكررة التي لا تتغير من خلية إلى أخرى بين المرسل والمستقبل وبالتالي هدر واضح بمعدلات النقل.

1.4. بنية الترويسة في خلايا الـ ATM

تتألف الترويسة في خلايا الـ ATM (الشكل 4-7) من مجموعة حقول لكل منها وظيفة محددة وذلك لضمان وصول بيانات المستخدم من المرسل إلى المستقبل وبالعكس من دون أخطاء وبالشكل المخطط له:



الشكل 4-7 بنية ترويسة خلية ATM

وفقاً للشكل أعلاه؛ نستعرض هذه الحقول بشيء من الإيجاز:

1. حقل التحكم بالتدفق العام (Generic Flow Control "GFC"): يتكون من 4 بت وهو المسؤول عن اختيار تدفق معين للبيانات خلال الشبكة وذلك عند وصل شبكة الـ ATM بشبكة أخرى مشتركة، بمعنى آخر هذا الحقل مسؤول عن تدفق الخلايا لوصلة ما بين خلايا الوصلات الأخرى العاملة عبى بروتوكول الـ ATM.
2. معرف المسار الوهمي (Virtual Path Identifier "VPI"): يتكون من 8 بت، ويعبر عن المسار الوهمي الذي ستسلكة خلايا ATM بين المرسل والمستقبل.
3. معرف القناة الافتراضية (Virtual Channel Identifier "VCI"): يتكون من 16 بت، يعبر عن القناة الافتراضية داخل المسار الوهمي Virtual Path الذي ستسلكه خلايا ATM بين المرسل والمستقبل، ويشبه إلى حد كبير ما يسمى نقطة الوصول Access point. كما يمكن إنشاء 65536 قناة افتراضية داخل كل مسار وهمي (أول 32 قناة افتراضية محجوزة مسبقاً لأغراض التحكم والصيانة والتشوير وإدارة المصادر).
4. معرف نوع البيانات (Payload Type Identifier "PTI"): ويتكون من 3 بت، ويشير إلى نوعية البيانات في حقل المعلومات (Payload) والتي ممكن أن تكون بيانات المستخدم أو بيانات التحكم (إدارة Management، صيانة Maintenance، التشوير Signaling،.... إلخ).

حيث يشير البت الأول إلى نوع الخلية، بمعنى أنه عندما يكون هذا البت 0 تكون الخلية عبارة عن بيانات المستخدم، وعنما تكون 1 عندها تكون الخلية عبارة عن معلومات تشغيل.

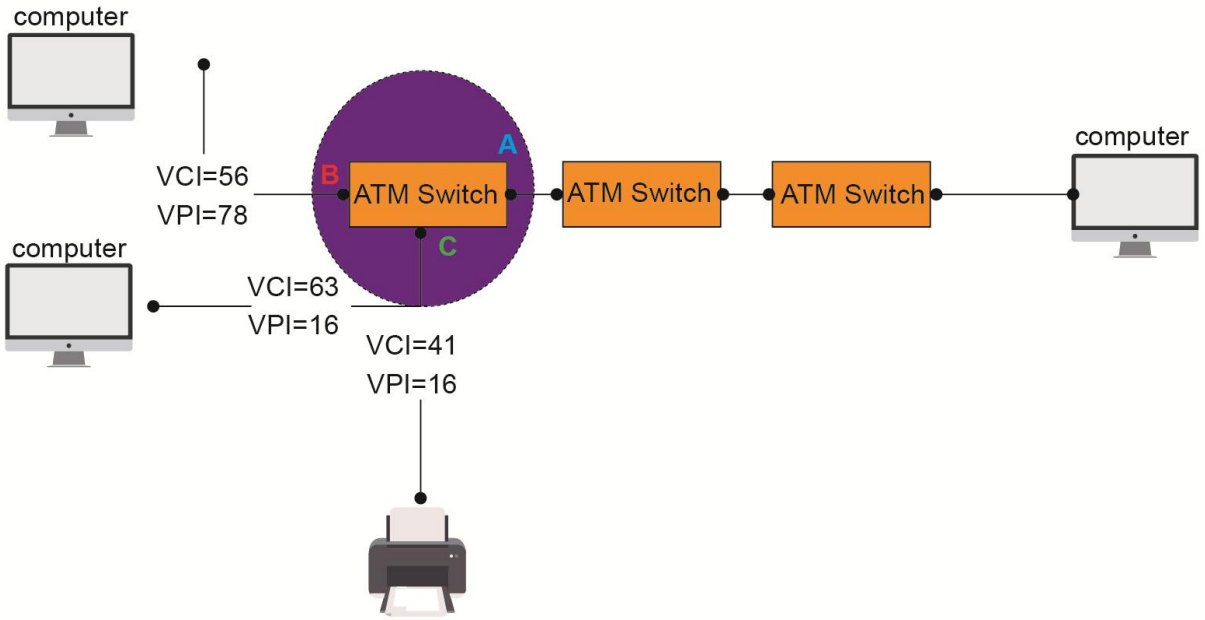
أما البت الثاني فيشير فيما إذا كانت الخلية قد عانت من الازدحام خلال رحلتها من المصدر إلى وجهتها النهائية، حيث تكون في البداية 0 ومن ثم تتغير إلى 1 عند حالات الاختناق.

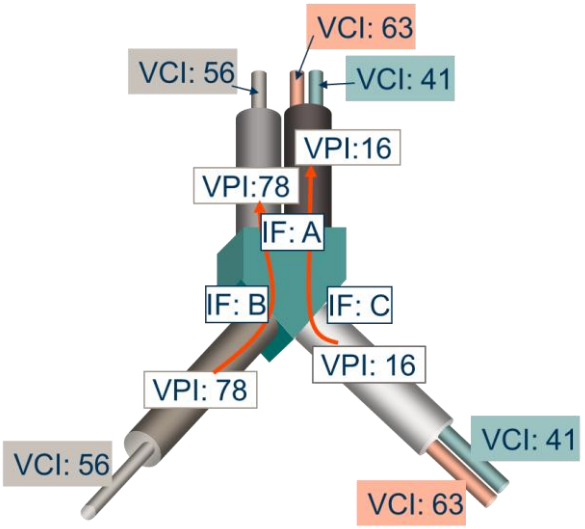
أما البت الثالث فيستحدم لعمليات التشغيل والصيانة.

5. أفضلية فقد الخلية (Cell Loss Priority "CLP"): يتكون من بت واحد، وهو يشير إلى إمكانية إسقاط الخلية حالة الازدحام (Congestion)، فالقيمة 1 تشير إلى أن الخلية ذات أفضلية قليلة وبالتالي يمكن إهمالها أو إسقاطها في حال ازدحام الشبكة، والقيمة 0 تشير إلى ان الخلية ذات أهمية ولا ينبغي إهمالها أو إسقاطها حال الإزدحام.
6. حقل التحكم بخطأ الترويسة (Header Error Control "HEC"): يتكون من 8 بت، ويستخدم للتحكم بالأخطاء التي قد تحدث في ترويسة خلية الـ ATM المكونة من 32 بت. أما الاخطاء التي قد تحدث في حقل المعلومات فلايتم فحصها إلا بواسطة طرفية الاستقبال النهائية وذلك لتقليل زمن التبديل (Switching Time) عند مرور خليةِ الـATM عبر مبدل الـ ATM (ATM Switch).

نلاحظ مما سبق أن الذي يتحكم بتحديد مسار خلية الـ ATM ضمن الشبكة هما الحقلان VCI و VPI، وعلى أساس قيمة كل حقل يقوم كل مبدل (ATM Switch) بتمرير الخلية إلى المنفذ المناسب. وكما أشرنا سابقاً أن المسار الوهمي Virtual path بين طرفي الاتصال يمكن أن يتضمن عدة قنوات افتراضية Virtual Channel كل منها مخصص لنوع معين من البيانات، وهذه القنوات الافتراضية تشترك فيما بينها بنفس المصدر المرسل وكذلك نفس الوجهة المستقبِلة، وهذا يضمن سلامة تسلسل الخلايا بين المرسل والمستقبل لأنها سوف تسلك نفس المسار وكأنه قد تم تخصيص مسار فيزيائي محدد للخلايا تعبر من خلاله، ولهذا السبب فإن أحد أبرز نقاط القوة لهذا البروتوكول هو أنه يمتلك مزايا كلاً من الشبكات القائمة على تبديل الدارات بين المرسل والمستقبل (Circuit Switched networking)، وكذلك أيضا الشبكات القائمة على تبديل الرزم (Packet Switched networking) لكونه يعتمد على الخلايا في نقل البيانات.

يمثل الشكل 4-8 مثالاً مبسطاً لشبكة تعمل بنمط الـ ATM، نوضح فيه مفهوم الممرات والقنوات الافتراضية مع ذكر جدول توجيه الخلايا لمبدل الـ ATM الأول:

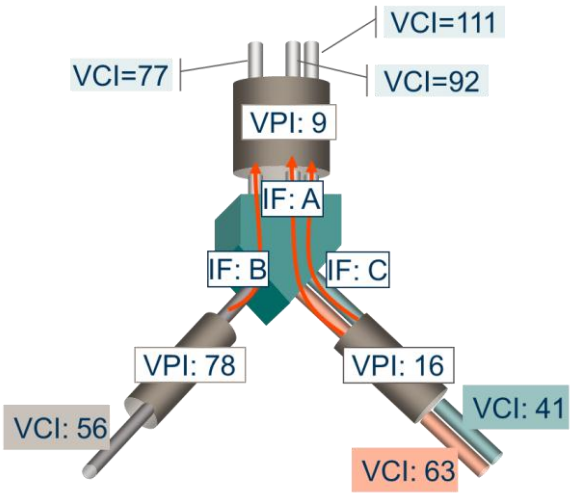




Source	Destination
IF:B, VPI=78; VCI=56	IF:A, VPI=78; VCI=56
IF:C, VPI=16; VCI=63	IF:A, VPI=16; VCI=63
IF:C, VPI=16; VCI=41	IF:A, VPI=16; VCI=41

الشكل 4-8 شبكة تعمل بنمط الـ ATM

ويمكن في بعض الحالات عمل تبديل لقيم VPI و VCI إلى قيم جديدة في بعض الحالات كأن تكون قيم VPI و VCI مستخدمة مسبقاً في الشبكة (الشكل 4-9) ويجب الانتباه في هذه الحالة إلى حفظ هذا التبديل على مستند ليكون مرجعاً يرجع إليه عند الحاجة، المثال التالي يوضح ذلك:



Source	Destination
IF:B, VPI=78; VCI=56	IF:A, VPI 9, VCI 77
IF:C, VPI=16; VCI=63	IF:A, VPI 9, VCI 111
IF:C, VPI=16; VCI=41	IF:A, VPI 9, VCI 92

الشكل 4-9 كيفية تغيير قيم VCI و VPI

5. خصائص القنوات والممرات الافتراضية

1. نوعية الخدمة (Service quality): حيث يتم تحديد نسب فقد الحلايا في حالات الاختناق، وكذلك زمن التأخير المسموح فيه لإرسال الخلايا وذلك لكل قناة افتراضية.
2. سلامة تسلسل الخلايا (Cells Sequence Insurance): وذلك من خلال مرور الخلايا ضمن قناة وممر محددين مسبقاً.
3. التحكم بمعدل الاستخدام/ الاستعمال/الانشغالية (Utilization Control): وذلك لتفادي تجاوز المعدلات المتفق عليها مع المشتركين.
4. تبسيط لبنية الشبكة (Network Architecture Simplification).

6. مزايا نمط النقل غير المتزامن

بناءاً على كل ما تم ذكره أعلاه يمكن أن نستخلص بعضاً من مزايا نمط الـ ATM نجملها بما يلي:

1. يعمل بشكل مشابه للشبكات التي تعتمد مبدأ تبديل الدارات (Circuit Switched Networks).
2. يعمل بشكل مشابه للشبكات التي تعتمد مبدأ تبديل الرزم (Packet Switched Networks).
3. زمن تمرير الخلايا سريع جداً بسبب صغر حجم الخلية (53 بايت).
4. التعامل مع أنواع مختلفة من المعلومات: الصوت، الفيديو، البيانات.
5. دعم معدلات نقل عالية تصل إلى عدة Gbps.
6. ضمان سلامة تسلسل وصول الخلايا بين طرفي الاتصال.
7. يدعم تقنية جودة الخدمةQuality of Service للتعامل مع حالات الاختناق Congestion.

7. مساوئ نمط النقل غير المتزامن

1. يعتمد على حجم خلية ثابت وصغير وهذا مفيد في بعض التطبيقات لكنه يسبب هدراً واضحاً في معدلات النقل في التطبيقات التي تحتاج حجم خلايا كبير مثل تطبيقات نقل الملفات الـFTP.
2. تنحسر مجالات تطبيقه لصالح بروتوكول الـ IP، بسبب الانتشار الواسع للأخير ورخص تجهيزاته، بالإضافة إلى اعتماد بروتوكولات إضافية ملحقة على بروتوكول الـ IP تضمن مزايا منافسة لتلك التي في بروتوكول الـ ATM.

8. تطبيقات نمط النقل غير المتزامن

1.8. تطبيقات الزمن الحقيقي (Real-Time Application):

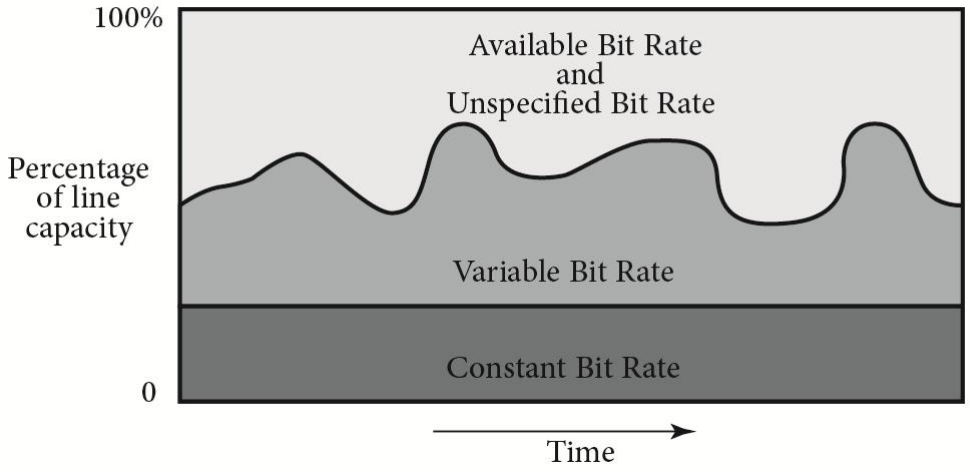
وهي الخدمات التي لا تقبل أي تأخير معتبر في زمن نقل/تراسل البيانات بين المرسل والمستقبل مثل تطبيقات المكالمات الصوتية، محادثات الفيديو (Video conference chat)، وغيرها من التطبيقات التي يؤثر تأخير وصول البيانات على جودة الاتصال. وهي تقسم إلى قسمين:

1. الخدمات ذات معدل النقل الثابت (Constant Bit Rate services "CBR"): تستخدم هذه الخدمات في التطبيقات السمعية والمرئية غير المضغوطة مثل المحادثات التليفونية، المؤتمرات المرئية.
2. الخدمات ذات معدل النقل المتغير (Real-Time Variable Bit Rate Services "RT-VBR"): ويكون التغير في معدل النقل نتيجة لاختلاف حجم البيانات المراد إرسالها، وهذ يحدث في تطبيقات الإرسال المرئي، الذي يعتمد على إرسال سلسلة من الإطارات التي يختلف حجمها نتيجةً لعملية ضغط الإطارات قبل إرسالها، وهذا التغير بالأحجام ينتج عنه معدلات نقل مختلفة.

2.8. خدمات الزمن غير الحقيقي (Non Real Time Services):

كما في الشكل 4-10 تنقسم إلى:

1. خدمات الزمن غير الحقيقي ذات معدل نقل متغير (Non Real Time Variable Bit Rate "NRT-VBR"): مثال ذلك: المعاملات البنكية، حجوزات الطيران.
2. خدمات معدل النقل غير المحدد (Unspecified Bit Rate UBR) مثال ذلك: نقل الصور والنصوص والرسائل الإلكترونية E-Mails.
3. خدمات معدل النقل المتاح (Available Bite Rate ABR): مثال ذلك ربط شبكات LAN مع شبكة ATM.



الشكل 4-10 خدمات الزمن غير الحقيقي

أسئلة وتمارين:

(لكل سؤال 4 علامات غير قابلة للتجزئة وبالتالي تكون العلامة الكلية من 20).

1. طول خلية نمط النقل غير المتزامن ATM:
   a. 46 بايت
   b. 56 بايت
   c. 50 بايت
   d. جميع الإجابات خاطئة

2. يعتبر بروتوكول نمط النقل غير المتزامن من بروتوكولات الطبقة الثالثة، حيث يمكن اعتبار الـ VPI و VCI بمثابة IPs:
   a. صح
   b. خطأ

3. يعتبر الـ ATM مناسب جداً لتطبيقات الزمن الحقيقي لأحد الأسباب التالية:
   a. اعتماده طول خلية صغير
   b. بسبب قصر طول الـ VPI و VCI
   c. لأنه من بروتوكولات الطبقة الأولى
   d. جميع الإجابات خاطئة

4. من مساوئ ATM عدم ضمان تسلسل وصول البيانات:
   a. صح
   b. خطأ

5. وظيفة طبقة AAL هي تكيف أو مواءمة بين الطبقات العليا (Higher Layers) والمزودة ببروتوكولات لنقل البيانات لاتدعم الـ ATM وبين طبقة الـ ATM.
   a. صح
   b. خطأ

رقم السؤال	الجواب
1	d
2	b
3	a
4	b
5	a

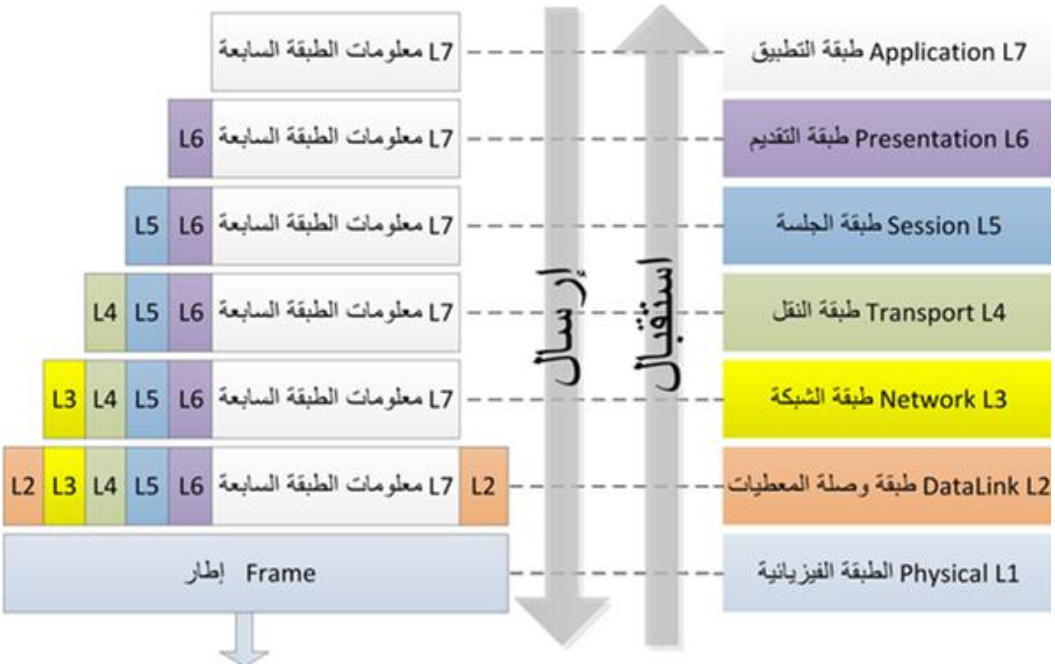
الفصل الخامس
النقل IP Transport

1. مقدمة

نظراً لازدياد متطلبات العالم الرقمي ونمو قطاع الاتصالات بشكل كبير، وانتشار الشبكات التي تؤمن خدمة الاتصال، وكذلك الحاجة لارتباط هذه الشبكات فيما بينها لتبادل البيانات بين مكونات هذه الشبكات، دعت الضرورة لوضع جملة من المفاهيم والمعايير القياسية لتنظيم عمل مكونات الشبكات، وتكريس التفاهم فيما بين هذه المكونات لضمان نقل البيانات بكفاءة عالية، وفي سبيل ذلك عكفت منظمة المعايير الدولية International Standards Organization ISO على وضع نموذج موحد لمعالجة البيانات ابتداءاً من التطبيق نفسه وانتهاءاً بوسائط النقل الفيزيائية. كما قامت منظمة IEEE أيضاً وذلك عبر لجنتها 802 بوضع مفاهيم عامة لتقسيم الشبكات الكبيرة (شبكات الـ WAN) إلى أجزاء صغيرة (شبكات الـ LAN) ترتبط فيما بينها بأجهزة ربط لها وظائف وخصائص محددة، كما عرفت مجموعة من المعايير العامة لضبط عمل هذه التقسيمات كلٍ على حدا.

2. النموذج المرجعي

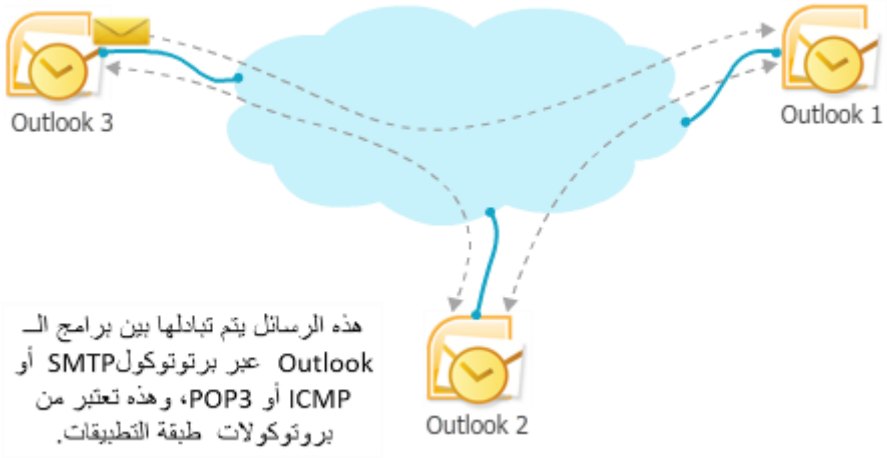
تمّ طرح هذا النموذج من قبل المنظمة الدولية للمعايير (ISO) عام 1983 واعتُبر حينها مرجعًا أساسيًا لكلّ مراكز الأبحاث والشركات التقنية أثناء تطوير الشبكات بمختلف تقنياتها وتجهيزاتها. يتألف نموذج الترابط ضمن النظام المفتوح Open System Interconnection (OSI) من سبع طبقات– الشكل 5–1، تقوم كل طبقة بمجموعة من الوظائف المحددة للتعامل مع البيانات المتبادلة، حيث تمرّ البيانات صعوداً أو نزولاً ضمن هذه الطبقات من طبقة إلى أخرى. يهدف هذا التقسيم إلى تسهيل عمليات التواصل والدمج بين أنظمة الاتصالات باختلاف مزوّديها، كما يهدف إلى تسهيل عمليات تحسين النظام وإضافة آخر ما توصّل إليه العلم من تقنيات وخوارزميات بشكل سلس.



الشكل 5–1: النموذج المرجعي OSI

1.2. طبقة التطبيقات

وهي الطبقة السابعة من طبقات النموذج المرجعي OSI، وكذلك الطبقة الرابعة من نموذج الـ TCP/ IP، وهي تتضمن البروتوكولات المسؤولة عن ضمان تأمين الاتصال الفعال بين البرمجيات التطبيقية ضمن الشبكة، بمعنى آخر هي المسؤولة عن تبادل البيانات بين طرفي الاتصال كما في الشكل 5-2، وهي لا تعني بالضرورة البرنامج بحد ذاته.



الشكل 5-2: كيفية تبادل البيانات بين طرفي الاتصال

ومن أشهر برتوكولات هذه الطبقة:

- بروتوكول نقل النص الفائق (HTTP: Hyper Text Transfer Protocol): يؤمن تصفح صفحات الوب عن طريق تأمين تناقل المعطيات بين مخدم الوب ومتصفح الوب
- بروتوكول نقل الملفات (FTP: File Transfer Protocol): يؤمن تناقل الملفات عبر الشبكة
- بروتوكول إرسال البريد البسيط: (SMTP: Simple Mail Transfer Protocol): يؤمن تراسل البريد الإلكتروني عبر الشبكة

2.2. طبقة التقديم أو التهيئة

تكون مسؤولية هذه الطبقة عند الإرسال والاستقبال هي ضغط/فك ضغط وتشفير/فك تشفير البيانات القادمة من طبقة التطبيقات، وتحويل صيغتها (Format) محارف وأرقام– إلى صيغ قياسية مثل ASCII أو Unicode أو EBCDIC، أي تحويلها من لغة التطبيقات إلى لغة الشبكة، كما تضمن هذه الطبقة أن البيانات المرسلة من طرف الاتصال قابلة للقراءة والفهم من قبل طبقة التطبيقات للطرف المقابل.

الكثير من التطبيقات والبروتوكولات شائعة الاستخدام مثل HTTP لا تُميز بين طبقتي التطبيقات والتقديم، حيث أنها تتم وظيفة طبقة التقديم كتحويل البيانات القادمة من طبقة التطبيقات إلى الصيغ المناسبة ضمن طبقة التطبيقات نفسها، ولهذا في نموذج الـ TCP/IP تُعتبر هذه الطبقتين كطبقة واحدة.

3.2. طبقة الجلسة

تقوم هذه الطبقة بإنشاء وإدارة وصيانة قنوات أو جلسات الاتصال بين التطبيقات على كلا طرفي الاتصال (تطبيقات المستخدم النهائية)، والتي من خلالها يتم إرسال بيانات طبقة التطبيقات بعد ضغطها وتشفيرها في طبقة التقديم إلى طبقة النقل، وكذلك استقبال البيانات القادمة من طبقة النقل لنقلها إلى طبقة التقديم، مع تحديد نمط الإرسال والاستقبال Half duplex أو Full duplex عبر كل جلسة. وتعرف جلسة الاتصال بأنها مجموعة الطلبات والاستجابات التي يتم إرسالها بين التطبيقات.

4.2. طبقة النقل

في هذه الطبقة يتم تجهيز البيانات بعد أن تم ضغطها وتشفيرها وتجهيز جلسة الاتصال تحضيراً لإرسالها، وكذلك ضمان وصول البيانات من الطرف المقابل بدون أخطاء، من أهم وظائف هذه الطبقة:

- تجزئة البيانات: تجزئة البيانات إلى أجزاء صغيرة Segments مع إضافة رقم تسلسلي لكل جزء ليتم تجميعها Reassembly بعد ذلك في طرف المستقبل وفقاً لهذا الرقم التسلسلي
- التحكم بالأخطاء: حيث يتم ترميز البيانات في طرف الإرسال باستخدام إحدى تقنيات الترميز، كي يتمكن الطرف المستقبل من اكتشاف الأخطاء وتصحيحها، وفي حال لم تستطع هذه الطبقة باكتشاف الخطأ أو حتى تصحيحه؛ تقوم هذه الطبقة بإرسال طلب إعادة إرسال لجزء البيانات المعني
- عنونة نقاط الخدمة: حيث أنه من الغالب لجهاز الاتصال أن ينشأ أكثر من قناة اتصال واحدة مع الأجهزة المتصلة بالشبكة فمثلاً: لدينا جهاز حاسب يشغل برنامج متصفح الانترنت (يستخدم بروتوكول HTTP)، وبرنامج نقل الملفات (يستخدم برتوكول FTP)، وبرنامج البريد الإلكتروني (يستخدم برتوكول SMTP)، في هذه الحالة يجب على طبقة النقل التمييز بين هذه الأنواع من البيانات Data streams، لكيلا تخلط مع بعضها وبالتالي فقد الاتصال. يتم هذا التمييز عن طريق إضافة عنوان على جزء البيانات يسمى عنوان نقطة الخدمة (Service Point Address) ويسمى أيضاً بعنوان البوابة (Port Address)، مثلاً يخصص لبروتوكول HTTP البوابة رقم 80، FTP البوابة رقم 20، SMTP البوابة رقم 25. وبالتالي كل البيانات الواردة والصادرة

لنفس البروتوكول يجب أن تحمل نفس رقم البوابة، وإلا فسيتم توجيه البيانات إلى بوابة أخرى وبالتالي ضياع البيانات

وفي حال كان هناك أكثر من قناة اتصال تعمل على نفس البروتوكول يتم التمييز بينها في طبقة الجلسة عن طريق إنشاء أكثر من جلسة اتصال.

- التحكم بالاتصال: وهناك نوعان للتحكم بالاتصال:
  - الاتصال غير المكرس Connectionless: بمعنى أن البيانات لا تسلك طريقاً محدداً بين طرفي الاتصال، وإنما تتعرض هذه البيانات إلى عملية فحص لمعلومات التوجيه في طبقة الشبكة في كل جهاز من أجهزة الشبكة التي سوف تعبر من خلاله، حيث من الممكن لوحدات البيانات التابعة لنفس قناة الاتصال أن تعبر مسارات مختلفة للوصول للوجهة المطلوبة، مما قد يترتب على ذلك اختلاف في أزمنة الوصول لهذه الوحدات، بالتالي يتوجب انتظار وصول البيانات وإعادة ترتيبها حتى يتم فهمها والتعامل معها بعد ذلك.
  - الاتصال المكرس: معناه أن مسار البيانات يتم إنشاؤه أولاً بين طبقتي الإرسال لطرفي الاستقبال، ومن ثم إرسال البيانات وفق هذه المسار، وعند الانتهاء من الإرسال يتم فصل الاتصال.

من أشهر البرتوكولات العاملة في هذه الطبقة والمشرفة على وظائفها بروتوكول التحكم بالنقل Transport Control Protocol TCP، وبروتوكول وحدة بيانات المستخدم User Datagram Protocol UDP، ولكل منهما خصائصه وتطبيقاته.

5.2. طبقة الشبكة

وهي الطبقة المسؤولة عن توجيه وحدات البيانات على شكل رزم Packets ضمن الشبكة وذلك باختيار المسار الأمثل للوصول للوجهة المطلوبة.

ومن أشهر البروتوكولات العاملة في هذه الطبقة هو برتوكول الانترنت Internet Protocol IP. ويعتبر هذا البروتوكول من برتوكولات عديمة الاتصال Connectionless، بمعنى أن هذا البروتوكول لا يقوم مسبقاً بإنشاء قناة اتصال بين المرسل والوجهة المستقبلة؛ وإنما يعمل على مبدأ تبديل الحزم Packet Switching على طول المسار بين المرسل والوجهة المستقبلة.

حيث أنه بعد ضغط البيانات وتشفيرها وتحديد جلسة الاتصال ومن ثم تجزئة البيانات المراد نقلها وترميزها وكذلك تحديد عنوان البوابة الصحيح، يتم الآن إضافة معلومات التوجيه اللازمة لتوجيه البيانات بين عقد الشبكة للوصول إلى طرف الاتصال النهائي. ومن أهم معلومات التوجيه التي تضيفها طبقة الشبكة عنوان IP للمرسل وكذلك عنوان IP للمستقبل بالإضافة إلى بعض الحقول الأخرى لأغراض التحكم، وهذه العناوين يتم مشاركتها مع كل أجهزة الشبكة ومن ثم تخزينها في جداول خاصة تسمى جداول التوجيه Routing Tables، وبناءاً على هذه الجداول تتمكن هذه الأجهزة من اتخاذ القرار المناسب لاختيار المسار الأمثلي لتوجيه المعطيات.

وجهاز الشبكة المسؤول عن القيام بهذه الوظائف يسمى الموجه Router. ومن أشهر منتجي أجهزة الـ Routers شركة سيسكو Cisco.

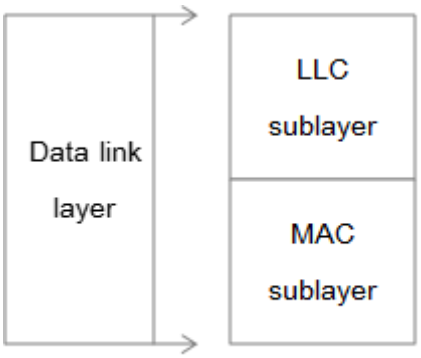
6.2. طبقة وصلة البيانات

تعتبر هذه الطبقة المسؤولة عن نقل الرزم Packets القادمة من طبقة الشبكة بين أجهزة الشبكة المتجاورة عن طريق الطبقة الفيزيائية بعد تغليفها على شكل أطر Frames، أي تشرف على صلة الوصل ما بين مستوى البيانات ومستوى وسائط الشبكة الفيزيائية، وتتجلى وظائف هذه الطبقة بما يلي:

- العنونة الفيزيائية Physical Addressing: بمعنى إضافة العنوان الفيزيائي للمرسل والمستقبل المجاور له (MAC addresses) على حزم البيانات المراد نقلها
- التحكم بالخطأ Error Control: وذلك عن طريق آلية موثوقة لترميز وكشف وتصحيح الأخطاء الناجمة عن الطبقة الفيزيائية أو طلب إعادة إرسال البيانات في حال تعذر تصحيح أخطائها، ولتحقيق ذلك يتم إضافة حقل إضافي على الحزم المراد نقلها
- التحكم بالدفق Flow Control: وذلك لضبط إرسال واستقبال البيانات عند معدلات النقل المتفق عليها
- تسلسل الإطارات Frame sequence: وذلك بإضافة حقل لترقيم الإطارات حتى يتم ترتيبها عند جهة الاستقبال في حال وصولها غير مرتبة
- تشكيل الإطار أو التأطير Framing: وذلك بعد إضافة كل الحقول آنفة الذكر إلى الحزم الواردة من طبقة الشبكة
- التحكم بالوصول إلى الطبقة الفيزيائية Access Control: ومن الآليات المستخدمة في هذه الوظيفة آلية CSMA/CD Carrier Sense Multi-Access / Collision Domain وهي آلية للتحكم بالوصول إلى الوسائط المادية للشبكة بدون حدوث تصادم، وتعتمد في عملها على الاستماع أولاً إلى وسائط الشبكة لترى إن كان هناك أي من الأجهزة يستعمل هذه الوسائط، وتسمى هذه المرحلة بتحسس الحامل (Carrier Sense)، إن كانت الوسائط مشغولة؛ عندها لن ترسل المحطة بياناتها لفترة زمنية محددة، ويستمر هذا الفحص حتى خلو وسائط الشبكة من الإشارات. تسمى هذه المرحلة بالوصول المتعدد Multi Access لأن كل المحطات تتنافس مع بعضها لاستعمال نفس وسائط الشبكة.

وبسبب خطورة وأهمية هذه الطبقة قام معهد IEEE عبر لجنته (802) المكلفة بوضع معايير لشبكات LAN & WAN بتقسيم هذه الطبقة إلى طبقتين كما في الشكل 5-3:

- التحكم بالوصلة المنطقية Logical Link Control LLC: وتعنى بالتحكم بكيفية مشاركة بروتوكولات الطبقات العليا لنفس الموارد الفيزيائية عن طريق إنشاء مسارات منطقية بينهما
- التحكم بالوصول إلى الوسائط Media Access Control MAC: وتعنى هذه الطبقة بالتحكم بالوصول الفعلي إلى الطبقة الفيزيائية: مثل الإشراف على العنونة الفيزيائية، والتحكم بالدفق وكذلك منع حدوث أي تصادم عند البدء بإرسال البيانات وغيرها من الوظائف التي تتعلق باستخدام موارد الشبكة الفيزيائية



الشكل 5-3: طبقة وصلة البيانات

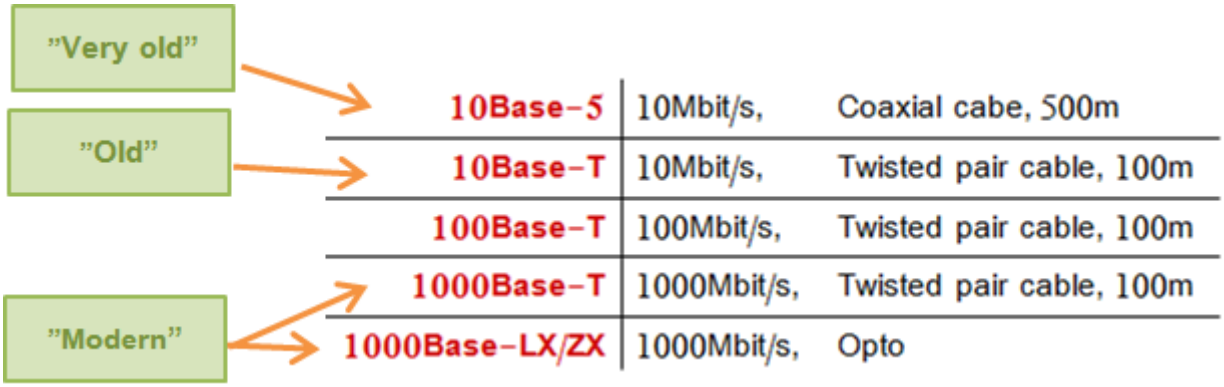
7.2. الطبقة الفيزيائية

هي الطبقة الأولى من نموذج الـ OSI المرجعي، تقوم بتحويل بتّات الإطار القادمة من الطبقة الفرعية MAC إلى إشارات كهربائية سلكية، أو ضوئية، أو لاسلكية بمواصفات معيّنة من الاستطاعة Power والتردّد Frequency وغير ذلك بما يناسب قناة الإرسال. والمقصود بمواصفات الطبقة المادية تلك المشمولة بمعايير الإثرنت والتي تصف أنواع الكبلات التي يمكن استعمالها لبناء الشبكة، وهذه المواصفات معرفة كلياً في المعيار IEEE 802.3، ومن المواصفات الهامة للكابلات ما يلي:

- سرعة نقل البيانات: ويشار إليها عادةً برقم 10 أو 100 أو 1000 وهي تعني 10Mbps أو 100Mbps أو 1000Mbps (1Gbps)
- إن كان الكبل مجدول Twisted أو غير مجدول:
  - مادة الكبل: ليفاً ضوئياً أو كبلاً نحاسياً.
  - المسافة التي يدعمها الكبل Short or Long distance.

- مواصفات أخرى: كالتي يتم ذكرها ضمن الـ Datasheet للكبل مثلاً: ليف ضوئي متعدد الأنماط أو وحيد النمط، وأطوال الموجة التي يعمل عليها، وإن كان مغلف Shielded أو غير مغلف Un-Shielded، كما أن هناك تصنيفات الكبلات إلى فئات Cat 3, 5, 6، وتختلف فيما بينها بسرعة النقل والطول الذي من ممكن الاستفادة منه وكذلك جودة التصنيع

يظهر الشكل 5-4 بعض الأمثلة على ترميز الكابلات في معيار IEEE 802.3



الشكل 5-4: أنماط كابلات الاتصال

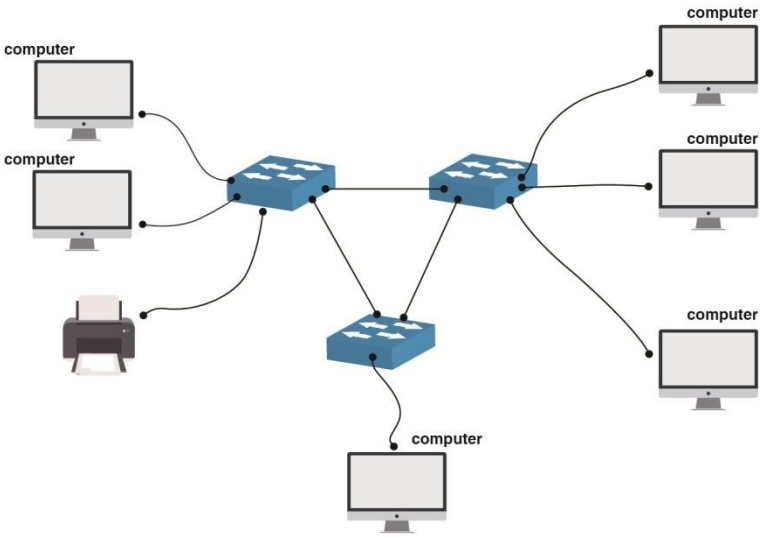
3. أنواع الشبكات

1.3. شبكات الـ LAN

وهي مجموعة من التجهيزات (حواسب، كاميرات، طابعات،...) موجودة قريبة من بعضها البعض ومتصلة فيما بينها من خلال وسائط النقل شائعة الاستخدام (مثل: كبل الشبكة RJ45، وصلات مكروية، ألياف ضوئية،...)، وفي أغلب الحالات يقتصر امتداد شبكة الـ LAN على غرفة أو طابق أو ربما مبنى – الشكل 5-5. وتتميز شبكة الـ LAN بثلاث سمات أساسية:

- طريقة التوصيل (Topology): وهي طريقة ربط التجهيزات مع بعضها البعض كأن تكون نجمي أو حلقي أو خطي أو هجين من أكثر من نوع
- وسائط الربط: حيث ترتبط طرفيات شبكة الـ LAN فيما بينها عن طريق كوابل وتجهيزات ربط مثل الـ Hubs، Bridges، Switches ولكل منها إعداداته الخاصة باستثناء الـ Hub لأنه يعتمد على ربط كل التجهيزات مع بعضها البعض دونما تمييز

- بروتوكولات التخاطب: وهي لغة التخاطب التي تعتمد عليها المبدلات Switches فيما بينها لتأمين عملية ربط التجهيزات ضمن شبكة الـ LAN، ومن أشهر البروتوكولات المستخدمة هنا: برتوكول الإثرنت Ethernet، تبديل الأطر Frame Relay، نمط النقل غير المتزامن ATM، وهذه البروتوكولات تعمل على الطبقة الثانية من طبقات النموذج الدولي OSI



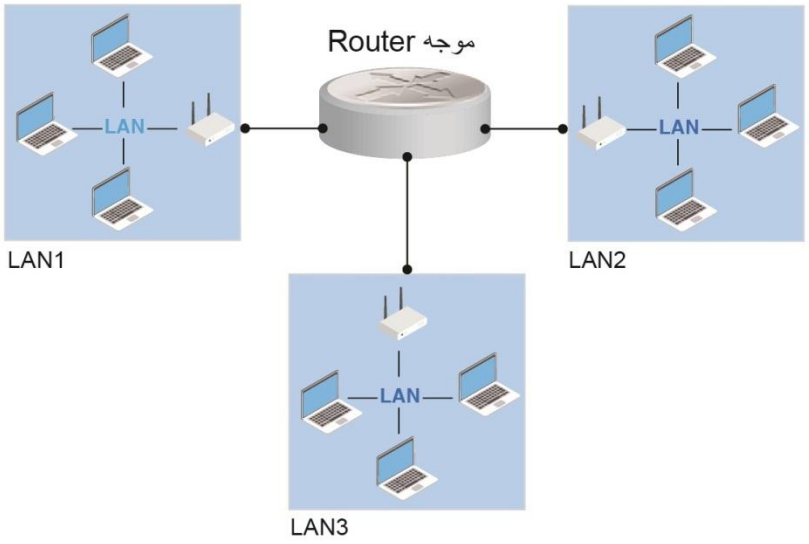
الشكل 5-5: شبكة LAN

وتكون عناوين الـ IPs لشبكة الـ LAN من نفس المجال مثلاً: 192.186.16. x حيث تمثل x عدد التجهيزات التي من الممكن أن تحويها شبكة الـ LAN، في هذا المثال قيم x تتراوح بين 0 و255 أي 256 قيمة، لكن القيمة 0 تكون محجوزة مسبقاً لعنوان الشبكة الكلية وكذلك القيمة 255 تكون محجوزة لعملية التعامل مع كل العناوين دفعة واحدة Broadcast IP، يبقى 254 قيمة تولد 254 IPs، أي 254 طرفية ممكن ربطها مع بعضها البعض ضمن شبكة الـ LAN التي عنوانها 192.186.16.0. وعليه أي طرفية أخرى تحمل عنوان خارج هذه الشبكة لن يتم التواصل معها ضمن هذه الشبكة. كما يمكن استخدام مبدأ الشبكات الفرعية في العنونة Subnetwork، حيث يتم تقسيم مجال العنونة إلى مجالات فرعية مع تحديد القناع Mask المناسب وذلك حسب حجم الشبكة الـ LAN.

كما تشترك كل أجهزة الشبكة المحلية بنفس مجال البث (Broadcast Domain) بمعنى أن كل جهاز ضمن الشبكة المحلية يمكنه التخاطب مع كل باقي أجهزة الشبكة جميعاً في نفس الوقت وباستخدام نفس المعطيات دون الحاجة إلى نسخ وإرسال المعطيات إلى كل جهاز على حدا، وذلك عن طريق استخدام عنوان IP الأخير من المجال المخصص للشبكة المحلية. بينما لا نجد مثل ذلك في شبكات WAN.

2.3. شبكات الـ Wide Area Network WAN

وهي الشبكات التي تقوم بربط شبكات الـLAN التي تتواجد في أماكن متباعدة مع بعضها البعض عن طريق موجهات Routers، ويمكنها الاستفادة من شبكات موجودة مسبقاً كمزود خدمة أو بناء شبكة WAN على عاتق مالك الشبكة.



الشكل 5-6: شبكة WAN

حيث نلاحظ من الشكل 5-6 أن كل حاسب من أي LAN يمكنه التواصل مع أي حاسب من أي LAN أخرى عن طريق الموجهٌ Router.

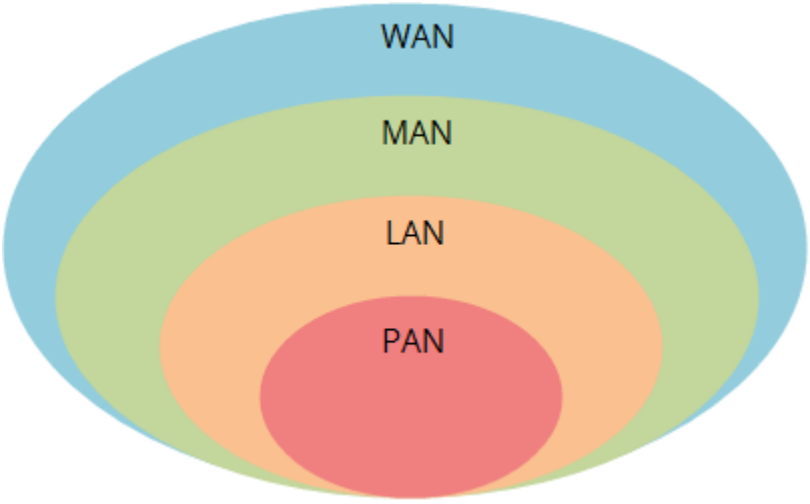
من سمات هذه الشبكات:

- طرق الربط Topology: يغلب على شبكات الـ WAN الربط الهجين ما بين الحلقي والنجمي، أو ما يعرف بـ Mesh topology كلياً او جزئياً
- وسائط الربط: حيث يتم بناء شبكات الـ WANعن طريق ربط شبكات الـ LAN عبر أجهزة التوجيه (Routers)، بواسطة أحد طرق الربط التي سبق شرحها (كابلات، ألياف ضوئية، وصلات مكروية،....)، وتختلف هذه الوسائط فيما بينها حسب المواصفات الفنية التي تدعمها كسرعات النقل وسرعة معالجات البيانات وحجوم الذواكر الداخلية والبروتوكولات المستخدمة لتوجيه البيانات وغيرها من المواصفات التي سيأتي ذكرها تباعاً
- بروتوكولات التخاطب: ومن أشهر البروتوكولات المستخدمة في شبكات الـ WAN: RIP, OSPF، EIGRP، BGP، وغيرها من البروتوكولات العاملة في الطبقة الثالثة من طبقات الـ OSI. وتختلف هذه البروتوكولات فيما بينها في طريقة توجيه البيانات واختيار المسار الأنسب للوصول للوجهة المطلوبة

3.3. شبكات الـ Metropolitan Are Network MAN:

وهي الشبكات التي تغطي منطقة جغرافية أكبر من الـ LAN وأصغر من الـ WAN – الشكل 5-7، وهذا المصطلح غير منتشر كثيراً، كما أنه غير مخصص بنوع معين من الإعدادات، وعادة ما يلحق بالـ WAN.

وهناك أيضاً نوع آخر من الشبكات يسمى شبكة المنطقة الخاصة Private Area Network PAN وهي أيضا غير متداولة.



الشكل 5-7: أنماط الشبكات شائعة الاستخدام

4. برتوكول الاثرنت

هو عبارة عن نمط معياري للتخاطب والتفاهم بين الأجهزة الموصولة ضمن شبكة LAN، بمعنى آخر هي عملية تغليف Encapsulation معيارية للبيانات المرسلة بين تجهيزات الشبكة على شكل إطار Frame بالإضافة إلى العديد من الإضافات التي تفيد في التحكم وضمان سلامة نقل البيانات، يعمل هذا البروتوكول ضمن الطبقة الثانية من طبقات النموذج المعياري OSI، يقدم العديد من الوظائف الهامة في عملية نقل البيانات مثل: التبديل Switching، VLAN، QoS، وغيرها الكثير.

يعود الفضل في ابتكاره إلى شركة Zerox في سبعينات القرن الماضي تحديداً عام 1977، وكان حينذاك يدعم سرعات نقل تصل إلى 10Mbps وتستعمل الكبل RG-8، كان اسمه آنذاك DIX Ethernet، ثم تحول اسمه إلى thick Ethernet بسبب استخدام الكوابل المحورية Coaxial Cables، وفي منتصف الثمانينيات، تمت ترقيته لدعم المزيد من الإمكانيات والسرعات، وسُمِّي وقتها Ethernet 2.

وفي نفس الوقت تقريباً 1980، كان معهد IEEE وعبر لجنة خاصة تُنشِئ معيار دولي لشبكات شبيهة بالإثرنت، معيار لا يكون حكراً لأحد كما كان الحال بالنسبة لمعيار الـ DIX Ethernet، وكانت تطلق على نفسها الرقم 802، وبالفعل أطلقت اللجنة حينذاك معيار 802.3 نسبة لمجموعة العمل التي عملت على توحيد معايير الإثرنت، والذي تم تطويره بعد ذلك أكثر من مرة من قبل نفس المجموعة، وكان ذلك سبباً في انتشاره، بينما توقف تطوير DIX عند الإصدار 2 وقل انتشاره.

ملاحظة:

- 802 هو اسم لجنة من لجان المعهد IEEE مهمتها وضع معايير لشبكات LAN & WAN، وكانت معاييرها تعنى بالطبقة المادية وطبقة وصلة البيانات للنموذج المرجعي OSI
- 802.3: اسم مجموعة العمل ومن كانت مهمتها توحيد معايير الإثرنت
- IEEE 802.3: هو معيار وضعته مجموعة العمل "802.3" ، ويعتبر أحد معايير اللجنة 802

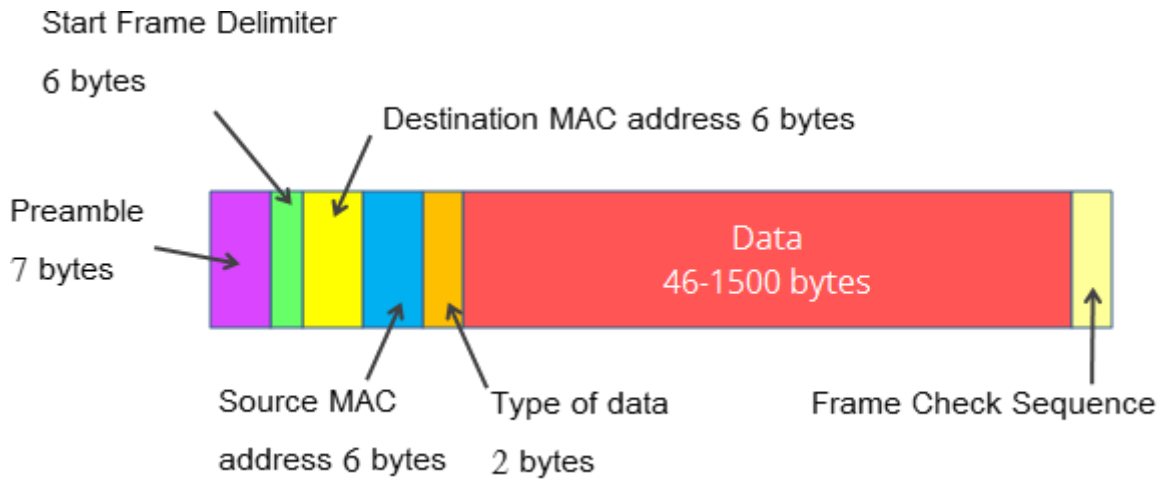
1.4. معيار الإثرنت IEEE 802.3

يتألف معيار الإثرنت IEEE 802.3 من المكونات الرئيسة التالية:

1. تنسيق الإطار: ويحدد حجم وتسلسل الحقول التي تؤلف بمجموعها إطار بروتوكول الإثرنت.
2. آلية الـ CSMA/CD التي تستعملها كل أنظمة الإثرنت لتنظيم الوصول إلى الشبكة من دون تصادم.
3. مواصفات الطبقة الفيزيائية: وهي المكونات المادية التي ستحمل البيانات بعد تحويلها إلى الإشارات الكهربائية.

2.4. بنية إطار برتوكول الإثرنت IEEE 802.3

يبين الشكل 5-8 الأقسام الرئيسة لإطار برتوكول الإثرنت،



الشكل 5-8: البنية العاملة لبروتوكول الاثرنت

حيث يمثل:

1. حقل المقدمة Preamble: حقل تمهيدي يتكون من 7 بايت من الأصفار والواحدات المتناوبة، مهمتها تحديد بداية الإطار وتحقيق التزامن بين المرسل والمستقبل.
2. حقل محدد بداية الإطار (Start Of Frame Delimiter SOF): وهو عبارة عن 1 بايت، ينتهي دوماً بالبتّين 11 لإعطاء إشارة أن البتّات التالية تعبر عن العنوان MAC للمستقبل.
3. حقل عنوان المستقبل (Destination Address DA) وهو عبارة عن 6 بايت، مهمته تحديد الـ MAC Address للمستقبل، وقد يكون المستقبل طرفية وحيدة (Unicast)، أو عدة طرفيات (Multicast)، أو كافة طرفيات الشبكة (Broadcast).
4. حقل عنوان المرسل (Source Address SA): وهو عبارة عن 6 بايت، مهمته تحديد الـ MAC Address للمرسل.
5. الحقل النوع (EtherType): وهو عبارة عن 2 بايت، يعبر عن طول حقل البيانات في معيار IEEE 802.3، أما في معيار Ethernet2 فمهمته تحديد البروتوكول المستخدم في الطبقة الأعلى (طبقة الشبكة) التي ستمرر المعطيات إليها، ويستخدم الترميز السداسي عشر، فمثلاً بفرض كانت قيمته السداسية عشر هي عبارة عن 0800 فهذا يعني أن بروتوكول الطبقة العليا المستخدم هو بروتوكول الإنترنت IP protocol.

إن مجموعة الحقول (Destination Address DA و Source Address SA و Type) تؤلف ما يسمى بالترويسة Header.

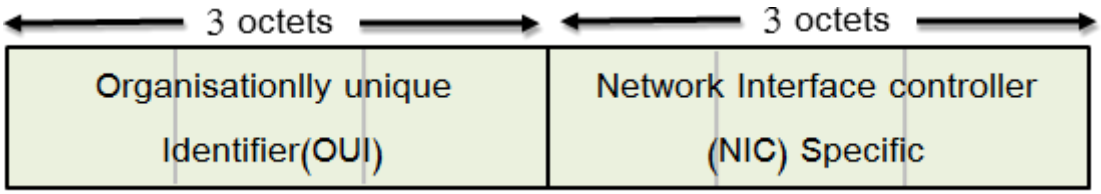
6. الحقل Data: وهو متغير الطول (46 إلى 1500 بايت) ويعبر عن المعطيات الفعلية التي يجري إرسالها والتي تجري عليها عملية التأطير Framing والتي سيجري تمريرها إلى الطبقة التالية. كما يحتوي حقل البيانات على ترويسة 802.2 الخاص بطبقة التحكم بالوصل المنطقي Logical link Control LLC.
7. حقل فحص تسلسل الإطار Frame Check Sequence FCS: وهو عبارة عن 4 بايت، مهمته التأكد من أن إرسال الإطار قد تم بدون أخطاء.

3.4. عنوان الإثرنت Ethernet Address أو ما يسمى Media Access Control MAC

يرتبط كل جهاز بالشبكة الموصول إليها عن طريق ما يسمى بطاقة الشبكة Network Interface Card NIC، ولكل بطاقة NIC عنوان محدد وفريد يسمى عنوان التحكم بالوصول إلى الوسط Media Access Control MAC، وهذا العنوان يجب أن يكون غير مكرر في شبكة LAN، تتم تحديد قيمة الـ MAC من قبل الشركة الصانعة.

يقوم معهد IEEE بإدارة عناوين الـ MAC، ويعتبر التنسيق المعياري IEEE 802 هو التنسيق العالمي المتبع لتحديد قيم الـ MAC للأجهزة، حيث يتألف العنوان من ست مجموعات- الشكل5-9، كل مجموعة مؤلفة من 8 بتات وتسمى Octet، تعطي طولاً كلياً مقداره 48 بت، يتألف كل Octet من رقمين مرمزين بالنظام السداسي عشر، يتم الفصل بين كل Two octets بخط صغير (-) أو بنقطتين (:) وترتب هذه الأرقام بحسب الإرسال. مثال:

مثال1: 01:33:49:27:59:ad أو مثال2 : 01-33-49-27-59-ad



الشكل 5-9: عنوان الـ MAC

حيث يعبر عن أول ثلاث Octets بالمعامل المميز للشركة الصانعة Organization Unique Identifier OUI، أما آخر ثلاث Octets تُحدد من قبل الشركة الصانعة تقريباً، بأي طريقة تريدها وذلك لتمييز كل منتج من منتجاتها عن الآخر.

أما آلية الـ CSMA/CD ومواصفات الطبقة الفيزيائية فقد تم التطرق إليها في بحث طبقات نموذج OSI المرجعي.

5. الشبكات المحلية الافتراضية (VLAN)

تكلمنا في بحث الشبكات المحلية أن أجهزة الربط في الشبكة المحلية الواحدة تشترك فيما بينها بنفس مجال البث (Broadcast Domain)، وهو المجال المنظور من قبل جميع أجهزة الشبكة المحلية الواحدة، ويتضح ذلك عندما يتم التخاطب مع كافة أجهزة الشبكة المحلية دفعة واحدة باستخدام عنوان البث Broadcast Address. ففي حال كان هناك عدد كبير من الأجهزة في الشبكة المحلية الواحدة فإن كمية الـ (Broadcast frames) المتبادلة ضمن الشبكة ستكون كبيرة جداً، وبالتالي فإن أجهزة الشبكة المحلية ستنشغل لفترات طويلة بمعالجة (Broadcast frames) مما يقلل أداء هذه الأجهزة، وبالتالي أداء الشبكة المحلية بشكل عام. لذا لابد من طريقة ما لتقليص مجال البث الذي يفرضه العدد الكبير للأجهزة ضمن الشبكة المحلية.

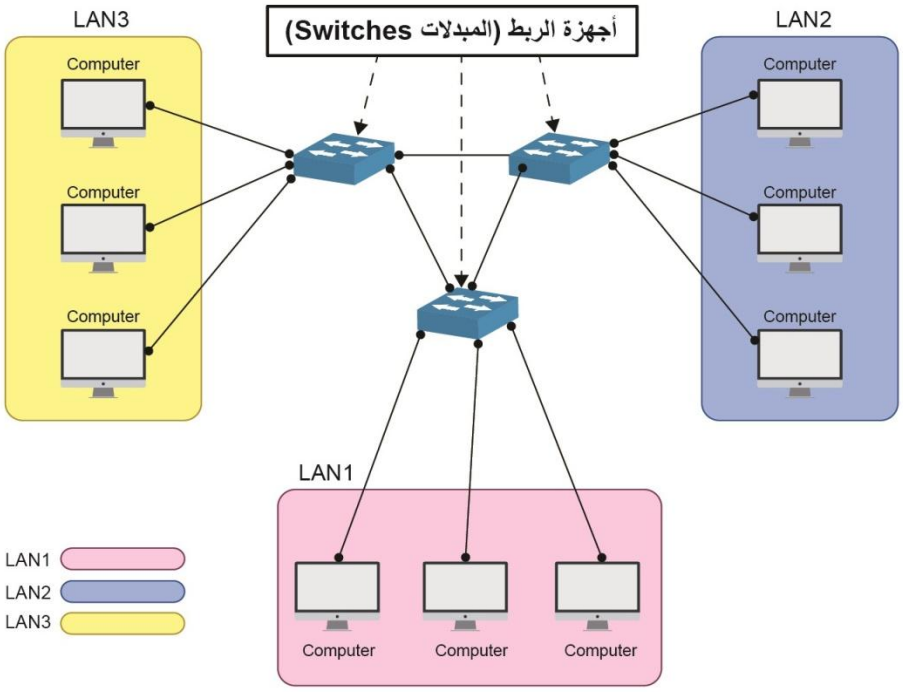
كما أنه من الممكن لأجهزة شبكة محلية ما أن تتداخل جغرافياً مع أجهزة شبكة محلية أخرى، ويكون عندها من الصعب تأمين أجهزة ربط منفصلة لكلٍ من الشبكات المتداخلة، وقد يزداد الأمر خطورة وصعوبة عندما تختص إحدى الشبكات المحلية ببيانات لا يسمح لباقي الشبكات بالوصول إليها لدواعي الأمان Security، ولعل هذا السبب الأخير هو الهدف الرئيسي لعزل بعض شبكات الـ LAN عن غيرها من الشبكات.

نلجأ في هكذا حالات لما يسمى الشبكات المحلية الافتراضية Virtual LANs، والـ VLAN هو تقسيم افتراضي (وهمي) للشبكة المحلية الكبيرة إلى شبكات محلية صغيرة متداخلة فيما بينها تستخدم نفس أجهزة الربط (المبدلات Switches).

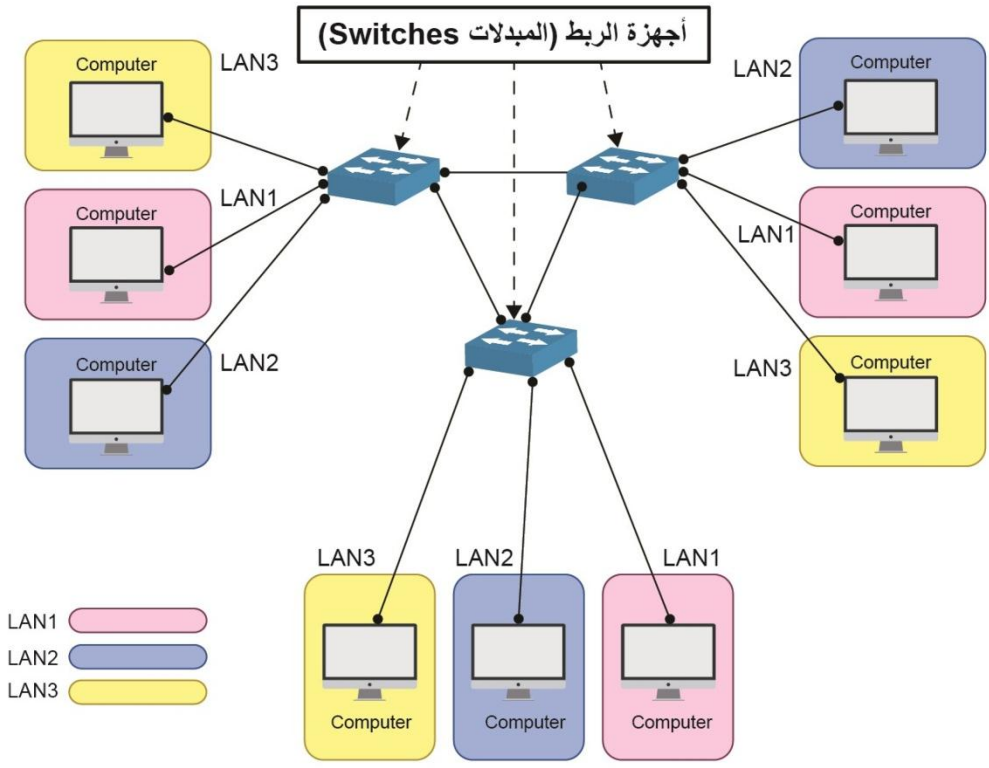
ويكون الهدف من هذا التقسيم أحدَ هذه الأسباب التالية:

- تقسيم مجال البث الكبير للشبكة الكبيرة لتحفيف الضغط الكبير على المبدلات في معالجتها لإطارات البث
- حصر الأجهزة التي لها وظائف مشتركة في شبكات منفصلة افتراضياً Virtually، مثلاً شبكة أجهزة الحواسيب، وشبكة الكاميرات، وشبكة الطابعات،.... إلخ
- لأسباب أمنية Security: مثلاً عزل الأجهزة التي تعالج بيانات حساسة عن الأخرى التي تقل بأهمية بياناتها
- لأسباب أخرى تعود لمشغل الشبكة واستراتيجيته في تقسيم شبكته بما يلائم نوع الخدمة التي يقدمها

ونبين في الشكل 5-10 توزع الشبكات المحلية المستقلة عن بعضها، وكذلك المتداخلة فيما بينها في الشكل 5-11 لنظهر الفرق بينهما.



الشكل 5-10: مثال عن شبكات LANs



الشكل 5-11: مثال عن شبكات VLANs

نلاحظ من الشكل كيف أن الشبكات المحلية الثلاث قد توزعت وتداخلت أجهزتها فيما بينها، ولم تعد محصورةً ضمن حيز جغرافي معين، وهذا الأمر كثير الحدوث في الشركات الكبيرة، ولا يمكن تجنبه للأسباب المذكورة آنفاً.

في هذه الحالة نطلق على هكذا شبكة اسم الشبكة المحلية الافتراضية Virtual LAN أو اختصاراً VLAN.

كما يتم تخصيص كل VLAN بمجال عنونة IP مستقل عن الآخر، وغالباً ما يتم استخدام مبدأ الشبكات الفرعية في العنونة Subnetwork، حيث يتم تقسيم مجال العنونة إلى مجالات فرعية يُخصَّص كل منها لشبكة VLAN مع تحديد القناع Mask المناسب لكل منها.

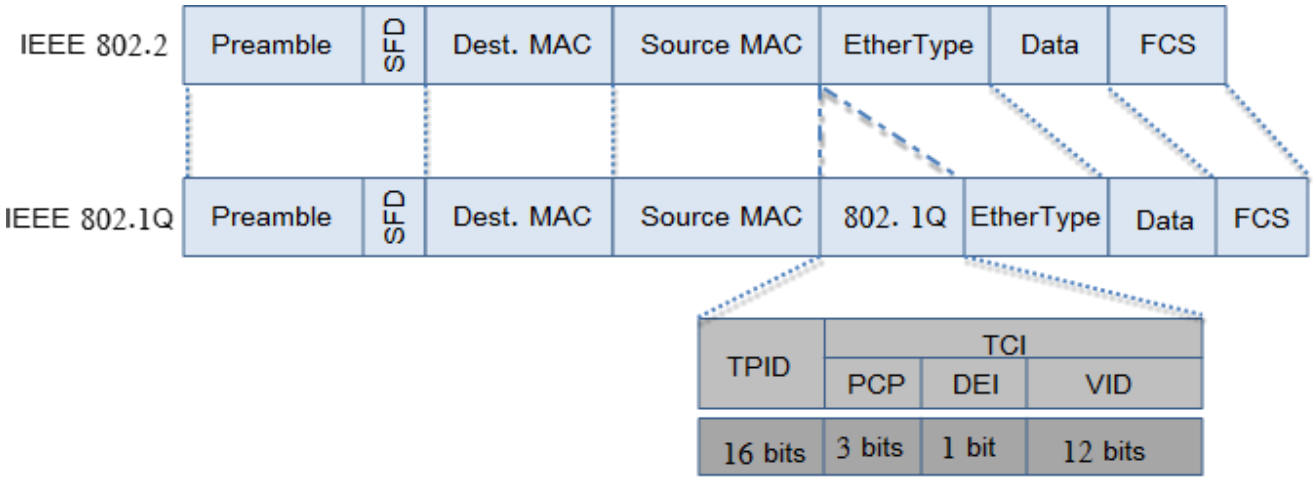
لكن هذا التصميم الجديد واجه مشكلتين رئيسيتين:

1. المشكلة الأولى: التمييز بين بيانات الشبكات المحلية الافتراضية:

بما أن هذه الشبكات الافتراضية VLANs تشترك فيما بينها بنفس أجهزة الربط (المبدلات Switches)؛ فكيف لأجهزة الربط هذه أن تُميِّز البيانات التي تمر عبرها، وإلى أي شبكة افتراضية تنتمي؟ حتى تقوم بتمريرها إلى الوجهة الصحيحة.

بالعودة إلى بنية إطار الإثرنت IEEE 802.3 نلاحظ أنه لا يوجد حقل يمكن أن يستخدم لتحديد تبعية هذه البيانات، وبالتالي لا يمكن اعتماد هذه البنية لإرسال البيانات في الشبكات المحلية الافتراضية.

لحل هذه المشكلة، كان لا بد من إحداث معيار جديد يراعي هذه الحاجة، قادر على تمييز بيانات الشبكات المحلية، بالتالي عزل الشبكات المحلية عن بعضها البعض وهمياً، أما فيزيائياً فستبقى تستخدم نفس أجهزة الربط، وبالفعل تم إحداث المعيار IEEE 802.1Q الذي أضاف على بنية الإطار IEEE 802.3 حقلاً جديداً "802.1Q field" (4 بايت = 32 بت) بين حقل "عنوانMAC للمرسل" وبين حقل "النوع EtherType"، يسمى هذا الحقل بـ VLAN Tag [وَسْم = TAG]، وقيمة هذه الحقل تشير إلى أن هذه الإطار ينتمي إلى VLAN دون أخرى – الشكل 5-12.



الشكل 5-12: بنية إطار الاثرنت يدعم الشبكات الافتراضية

يتألف الوَسْم VLAN Tag من قسمين:

1. محدد وسم البرتوكول Tag Protocol Identifier TPID: طوله 16 بت، ويحمل القيمة 0x8100 للإشارة إلى أن هذا الإطار هو إطار IEEE 802.1Q، بمعنى الإطار الذي يستخدم في الشبكات المحلية الافتراضية VLAN.
2. معلومات التحكم بالوسم Tag Control Information TCI: ويتألف من ثلاث حقول:

- حقل رمز الأولوية Priority Code Point: طوله 3 بت، ويستخدم لأغراض جودة الخدمة Quality of Service QoS، حيث يمكن تقسيم البيانات إلى 8=23 أصناف Classes، كل صنف يمكن إعطاؤه أفضلية أو أولوية معينة عند الإرسال، وهذا بحث طويل يمكن الرجوع إلى أحد المراجع للاستزادة
- مؤشر أهلية الإسقاط Drop Eligible Indicator DEI: طوله بت واحد فقط، ويشير إلى إمكانية إسقاط Drop الإطار في حال حدوث ازدحام Congestion على منافذ الشبكة
- محدد الشبكة الافتراضية VLAN Identifier VID: طوله 12 بت يعطي 4096 قيمة، وهو من أهم الحقول في هذا الوسم Tag، وعليه التعويل في تمييز الإطارات Frames وتحديد إلى أي شبكة VLAN تنتمي هذه الإطارات

وعليه فإن أجهزة الربط (المبدلات Switches) التي تربط أكثر من شبكة محلية يجب أن تكون متوافقة وداعمة للمعيار الجديد IEEE 802.1Q حتى تستطيع عزل الشبكات المحلية المتداخلة عن بعضها.

2. المشكلة الثانية: من المسؤول عن إضافة الوسم VLAN Tag على البيانات؟

أجهزة الحاسب والمخدمات وأجهزة التحكم والطابعات والكاميرات وغيرها من الأجهزة (يطلق على كل ذلك اسم الطرفيات Terminals) التي تتبادل البيانات فيما بينها لا تضيف أي وسم Tag على بياناتها، وبالتالي ستقع مسؤولية إضافة الوسم Tag على جزء الشبكة التي ستمرر هذه البيانات وصولاً للأطراف النهائية. عملياً أول مبدل Switch في الشبكة ستصادفه هذه البيانات هو من سيقوم بهذه الإضافة الضرورية. طبعاً تتصل الأجهزة التي تتبادل البيانات مع المبدلات عن طريق المنافذ Ports، وهذه المنافذ يمكن أن تصنف إلى صنفين:

1. الصنف الأول: حسب طبيعة البيانات الواردة إلى المنفذ:

- المنافذ غير الموسومة Un-Tagged Port:

بمعنى أن إطارات البيانات الواردة إلى هذه المنافذ غير حاوية على وسم VLAN Tag، أي أنها تردد وفق المعيار IEEE 802.3، فإذا كان المنفذ الذي ترد إليه إطارات البيانات ينتمي إلى شبكة VLAN محددة؛ عندها يقوم المبدل بإضافة وسم VLAN Tagعلى كل إطار، ومن ثم يقوم بتمريره بالاتجاه المناسب حسب جدول الـ MAC Addresses وجدول الـ VLANs. كما يطلق على هذه المنافذ: منفذ مستخدم – شبكة User-Network Interface واختصاراً UNI.

- المنافذ الموسومة Tagged ports:

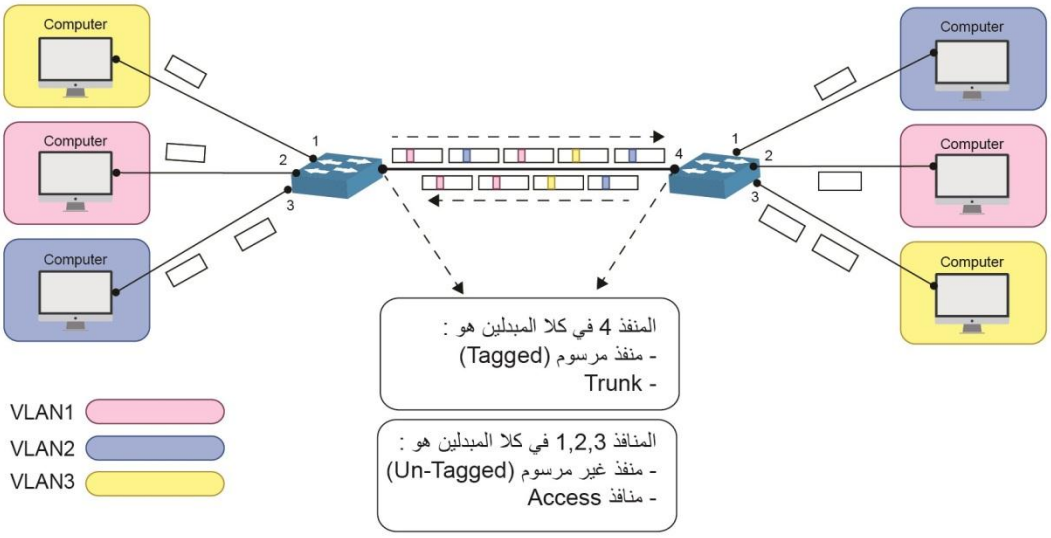
وتعني أن إطارات البيانات الواردة إلى هذه المنافذ تحوي مسبقاً على وسم VLAN Tag مشيراً إلى شبكة VLAN محددة. وهنا المبدل أمام ثلاث خيارات للتعامل مع الإطار:

- إما أن يقوم بتمريره حسب جدولي MAC Addresses و VLANs.
- أو يقوم بتغيير قيمة ال Tag إلى قيمة أخرى
- أو يقوم بحذف حقل VLAN Tag وتمرير الإطار إلى وجهته المطلوبة، وهذا يكون عادة عند أطراف الشبكة النهائية. وكل ذلك يكون تبعاً لبنية الشبكة وطريقة عملها وإعدادات كل مبدل Switch فيها.
- ويطلق أيضاً على هذه المنافذ : منفذ شبكة –شبكة Network–Network Interface واختصاراً NNI. وهذان المصطلحان يستخدمان بشكل كبير في شبكات الإثرنت بنمطيها (Customer Mode و Provider Mode)

2. التصنيف الثاني: حسب وظيفة المنفذ:

- منافذ الوصول Access ports: وهي المنافذ التي ترتبط مباشرة مع المستخدم (حاسوب، مخدم، كاميرا....)، وعادةً يكون هذا المنفذ إما موسوماً Tagged بقيمة واحدة فقط، أو غير موسوماً Un–Tagged
- منافذ الـ Trunk: وهي المنافذ التي تربط المبدلات مع بعضها البعض، ويمر من خلالها إطارات البيانات الموسومة والتي تنتمي إلى أكثر من شبكة VLAN

والشكل 5–13 يوضح هذه التصانيف بشكل مبسط:



الشكل 5–13: تصنيف المنافذ في الشبكات الافتراضية

ومن الأمثلة العملية على استخدام الشبكات المحلية الافتراضية VLANs، الشبكات الخليوية، حيث تقدم شبكات الخليوية خدمة الـ GSM وخدمة الجيل الثالث 3G وخدمة الـ LTE، وكل من هذه الخدمات مستقلة عن الأخرى سواءاً من طرف المستخدم أو من طرف الشبكة المركزية، لكنها وبالرغم من هذه الاستقلالية فإنها تشترك جميعاً بنفس شبكة الربط الفيزيائية (Transport Network)، لكن كيف سيتم التعامل مع هذه الأنواع المختلفة من البيانات؟ وكيف سيتم التمييز بينها وخاصة في الشبكة المركزية حتى يتم توجيه البيانات إلى وحدة المعالجة المناسبة؟

في هذه الحالات تظهر فائدة الشبكات المحلية الافتراضية VLANs بقدرتها على تمييز البيانات عن بعضها البعض بإضافة وسم Tag لكل خدمة على حدا، وبناءاً على قيم هذه الأوسمة Tags يتم فرز البيانات الواردة إلى الشبكة المركزية إلى وحدات المعالجة الخاصة بكل خدمة.

6. برتوكول الانترنت

وهو المسؤول عن إضافة معلومات التوجيه على وحدة البيانات Datagram القادمة من طبقة النقل وتغليفها على شكل رزم Packets حتى تتمكن باقي أجهزة الشبكة من استخدامها في اتخاذ القرار المناسب لاختيار المسار الأمثل وصولاً للوجهة المطلوبة.

1.6. بنية بروتوكول الانترنت

نبين في الشكل 5-14 بنية الحزمة Packet في برتوكول IP:

<table>
<tr><td>Version</td><td>IHL</td><td>Type-of-Service</td><td colspan="2">Total Length</td></tr>
<tr><td colspan="3">Identification</td><td>Flags</td><td>Fragmentation offset</td></tr>
<tr><td>Time-to-live</td><td colspan="2">Protocol</td><td colspan="2">Header Checksum</td></tr>
<tr><td colspan="5">Source Address</td></tr>
<tr><td colspan="5">Destination Address</td></tr>
<tr><td colspan="5">Options (+padding)</td></tr>
<tr><td colspan="5">Data (variable)</td></tr>
</table>

الشكل 5-14: بنية إطار برتوكول الـ IP

- الإصدار Version: 4 بت ويشير إلى إصدار برتوكول IP المستخدم حالياً.
- طول ترويسة برتوكول IP – IP Header Length: 4 بت وهي تشير إلى طول ترويسة بروتوكولIP كعدد صحيح من 32 بت، والقيمة الصغرى لهذا الحقل 5 والتي تعني أن طول الترويسة 20 = 160 bit = 32*5 Bytes، والقيمة العظمى هي 15 والتي تعني أن طول الترويسة 60 bytes = 480 bits =32*15.
- نوع الخدمة Type of Serivce: 8 بت ويستخدم هذا الحقل لأغراض جودة الخدمة Quality of Service QoS، والتي تعمل على إعطاء كل نوع من البيانات (صوت، فيديو، معلومات تحكم، ....) قيمة محددة حتى يتم التعامل مع كل نوع وفقاً لاستراتيجية مزود الخدمة.
- الطول الإجمالي Total Length: 2 بايت = 16 بت وهو يمثل طول الحزمة متضمنة حقل البيانات مع الترويسة.
- الهوية Identification: 2 بايت = 16 بت، عندما ترد وحدة البيانات Datagram من طبقة النقل إلى طبقة الشبكة يقوم برتوكول IP بتقسيمها إلى مجموعة أجزاء صغيرة Group of Fragments، وإعطاء كل جزء منها رقم أو هوية Identification للدلالة على انتماء هذه الاجزاء لنفس المجموعة وبالتالي نفس وحدة البيانات.
- الرايات Flags: 3 بت. وتستخدم للتحكم بتجزئة وحدة البيانات Datagram، حيث يكون البت الأول محجوز مسبقا ويكون دائماً بقيمة 0، بينما يشير البت الثاني إلى "DF: Don't fragment" أي عدم إمكانية تجزئة الحزم، بينما يشير البت الثالث إلى "MF: More fragments" أي إمكانية تجزئة الحزم.
- إزاحة الجزء Fragment offset: 13 بت، يشير إلى موضع بيانات الجزء Fragment بالنسبة إلى **بداية** وحدة البيانات Datagram القادمة من طبقة النقل، وهذا يفيد في إعادة تشكيل وحدة البيانات عند الطرف المستقبل النهائي.
- زمن الحياة Time to live TTL: 8 بت، وهو عداد يتناقص تدريجياً حتى الصفر والتي عنده يتم حذف الرزمة، وهذا يمنع من دوران الرزمة داخل الشبكة إلى ما لانهاية. عملياً يعبر هذه العداد عن عدد الموجهات Routers التي ستمر عبرها الرزمة، حيث كل موجه سينقص من قيمة هذا العداد بمقدار 1، وبالتالي أقصى عدد للموجهات Routers الذي من الممكن أن تعبره الرزمة هو 256 موجهRouter، بعدها سيتم حذف الرزمة إذا لم تجد وجهتها المطلوبة.
- البروتوكول: 8 بت، وتشير إلى بروتوكول الطبقة التالية (طبقة النقل) الذي سيستقبل هذه الرزم بعد انتهاء معالجتها في طبقة الشبكة.
- اختبار الترويسة Header Checksum : 2 بايت = 16 بت، ويضمن خلو ترويسة الرزم من الأخطاء.
- عنوانIP للمرسل IP Source address: 4 بايت = 32 بت
- عنوانIP للمستقبل IP Destination address: 4 بايت = 32 بت
- حقل البيانات Data field: ويعبر عن حقل بيانات الطبقة الأعلى.

2.6. أشهر البروتوكولات العاملة في هذه الطبقة:

تكلمنا في بحث طبقات النموذج المرجعي OSI – طبقة الشبكة (الطبقة الثالثة L3)؛ أن عناوين IPs للمرسل والمستقبل يتم مشاركتها مع كل موجهات الشبكة (ونقصد بالشبكة هنا شبكات الـ WAN)، ومن ثم تخزينها في جداول خاصة تسمى جداول التوجيه Routing Tables، وبناءاً على هذه الجداول تتمكن هذه الموجهات Routers من اتخاذ القرار المناسب لاختيار المسار الأمثلي لتوجيه المعطيات. لكن:

1. كيف تتم عملية بناء جداول التوجيه Routing Tables في كل موجه Router من موجهات الشبكة؟ بمعنى آخر كيف تتم مشاركة عناوين IPs ضمن الشبكة بين جميع الموجهات؟.
2. كيف يتم اختيار المسار الأمثل للوصول لكل العناوين بالنسبة لكل موجه ضمن الشبكة؟ وكلمة الأمثل لا تعني بالضرورة الأقصر، فربما يكون المسار لعنوان ما قصير لكنه ذو مواصفات سيئة مثلاً: المسار مزدحم جداً أو أن سعته قليلة جداً مقارنة بباقي المسارات أو غيرها من الأسباب التي تقلل من أهمية المسار القصير.

هاتين الوظيفتين هما بالحقيقة من الوظائف الأساسية التي لا تعمل شبكات الـ WAN بدونهم. للقيام بهذه المهام تم ابتكار مجموعة بروتوكولات منها ما هو قياسي ومتاح للجميع استخدامه، ومنها ما هو خاص بتجهيزات معينة بحيث لا يعمل على غيرها من الأجهزة. لكل من هذه البروتوكولات مجموعة من الخصائص والمواصفات تمتاز بها عن غيرها، لكن بالنتيجة الهدف الرئيسي منها هو الوظيفيتين اللتين تم ذكرهما سابقاً.

ومن أشهر هذه البروتوكولات:

- برتوكول RIP اختصاراً لـ: Routing Information Protocol بروتوكول معلومات التوجيه.
- برتوكول OSPF اختصاراً لـ: Open Shortest Path First أي "فتح أقصر طريق أولاً" للوصول للعنوان المطلوب.
- برتوكول IGRP اختصاراً لـ: Interior Gateway Routing Protocol برتوكول التوجيه للبوابة الداخلية، وهو خاص بتجهيزات سيسكو Cisco.
- برتوكول EIGRP اختصاراً لـ: Enhanced Interior Gateway Routing Protocol برتوكول التوجيه المحسن للبوابة الداخلية، وهو خاص بتجهيزات سيسكو Cisco.
- برتوكول IS-IS اختصاراً لـ: Intermediate System to Intermediate System بروتوكول النظام الوسيط إلى النظام الوسيط.

ويطلق على هذه البروتوكولات اسماً عاماً Interior Gateway Protocols IGP بروتوكولات البوابة الداخلية، وكلمة البوابة الداخلية تشير إلى أن هذه البروتوكولات تعمل ضمن أو داخل نظام واحد يسمى Autonomous System AS أو النظام المستقل أو الذاتي. والنظام المستقل AS في عالم الشبكات هو عبارة عن مجموعة من الموجهات Routers المتصلة فيما بينها تحت إدارة تقنية واحدة، تستعمل بروتوكول أو أكثر من برتوكولات IGP في عملية توجيه الرزم للوصول إلى الوجهات النهائية. ولكل نظام مستقل رقم (16 bits) يميزه عن باقي الأنظمة الأخرى.

وهناك أيضاً بروتوكولات تعمل بين الأنظمة المستقلة أو الذاتية Autonomous Systems AS ويطلق عليها بروتوكولات البوابة الخارجية Exterior Gateway Protocols EGP، وكمثال عن هذ النوع من البروتوكولات: بروتوكول BGP اختصاراً لـ: Border Gateway Protocol برتوكول البوابة الحدودية.

ولسنا هنا في هذه المادة بصدد الحديث عن كل برتوكول وطريقة عمله وخصائصه واستخداماته، وإنما فقط استعراض لأهم المزايا من كل نوع.

كما وتصنف بروتوكولات التوجيه آنفة الذكر إلى صنفين رئيسيين من حيث طريقة اختيارها للمسار الأمثل:

1. برتوكولات التوجيه حسب المسافة Distance Vector Routing Protocol:

وتعتمد على كلفة (عدد القفزات Hop count أو وزن المسار Path metric) الطريق أو المسار المؤدي للعنوان أو الوجهة المطلوبة. مثال على ذلك: برتوكول RIP،IGRP.

أيضاً لا بد من ذكر أنه في هذا الصنف يقوم كل موجه في الشبكة بمشاركة جدول التوجيه الخاص به مع الموجهات المجاورة له، ثم تقوم الموجهات بتحديث جداول التوجيه بناءاً على النسخ المستقبلة، ومن ثم تعيد مشاركتها مع الموجهات المجاورة، ويستمر هذا التحديث حتى نصل لمرحلة الاستقرار (Convergence state)، ويكون كل موجه لديه جدول توجيه بكل العناوين الموجودة ضمن الشبكة والطريق الأمثل للوصول إليها بناءاً على محدد المسافة مع المنفذ التالي (Next hop) لكل عنوان.

2. برتوكولات التوجيه حسب حالة الوصلة Link State Routing Protocol:

وتعتمد هذه البرتوكولات على بناء خريطة لكامل الشبكة في كل موجه من موجهات الشبكة، ومن ثم حساب أفضل مسار لكل وجهة ابتداءاً من كل موجه. ومن أمثلة هذه المجموعة: برتوكول OSPF و IS-IS.

وهناك برتوكولات تعمل على الصنفين معاً مثل برتوكول: EIGRP.

ومن أهم الأمور الهامة التي تتمايز بها بروتوكولات التوجيه عن بعضها البعض:

- زمن استقرار أو انتهاء تحديث جدول التوجيه (Convergence Time) عند حدوث أي تغيير في الشبكة، فكلما كان أسرع كلما كان البرتوكول أنسب.
- أيضاً بعض البروتوكولات تقوم بالإضافة لاختيار أفضل مسار للوجهة المطلوبة؛ تقوم باختيار ثاني أفضل مسار لهذه الوجهة وذلك كحماية للمسار الأول، حيث في حال حدوث أي عطل على المسار الأول يتم تحويل البيانات إلى المسار الثاني. وهذا ميزة بالغة الأهمية لاستمرار تدفق البيانات من دون انقطاع (برتوكول EIGRP). وبدون هذا المسار يضطر الموجه إلى البحث عن مسار آخر للوصول إلى الوجهة المطلوبة، وقد يستغرق ذلك ما بين عدة ثواني إلى عدة دقائق، وهذا يعتمد على زمن الاستقرار آنف الذكر، طبعاً خلال هذا الزمن يكون تدفق البيانات قد توقف ريثما يتم انتخاب المسار الجديد.

وأخيراً فإن برتوكولات التوجيه وبالاعتماد على جداول التوجيه التي قامت ببنائها تقوم على توجيه رزم البيانات Packets بناءاً على عنوان(32 bits) IP للوجهة المستقبلة الموجود في ترويسة كل رزمة، وذلك لكل رزمة ترد إلى كل منفذ من منافذ موجهات الشبكة، وهذه عطالة كبيرة في أداء الشبكات وبالأخص في أداء البرتوكول بحد ذاته، كما تتطلب معالجة Processing دائمة ومستمرة للرزم حتى يتم فحصها وتوجيهها للمسار المطلوب، وهذا يؤثر على السرعات التي يمكن دعمها باستخدام هذه البرتوكولات.

تجدون أسفلاً جدول (الجدول 5-1) مقارنة بين بعض البروتوكولات لمعرفة بعضاً من مزاياها:

	Type	Convergence	Class	AD	Metric	Routing updates
RIP v1	IGP	Slow	Distance Vector	120	Hop Count (max 15)	every 30 seconds full table Broadcast 255.255.255.255
RIP v2	IGP	Slow	Distance Vector	120	Hop Count (max 15)	every 30 seconds full table multicast address 224.0.0.9
OSPF	IGP	Fast	Link State	110	Cost	only when changes occurs multicast address 224.0.0.5-6
Integrated IS-IS	IGP	Fast	Link State	115	Cost	only when changes occurs
EIGRP	IGP	Very Fast	Hybrid (Advanced Distance Vector)	5 (summary) 90 (internal) 170 (external)	LOWEST BEST Composite (BW + DLY) Hopcount 100 (max 224)	multicast address 224.0.0.10 or unicast (RTP) only when change occurs
BGP	EGP	Average	Path Vector	20 (external) 200 (internal)	Path Attributes (Usually AS-Path)	only when changes occurs (unicast updates)

الجدول 5-1 مقارنة بين بعض البروتوكولات

7. بروتوكول MPLS Multi-Protocol Label Switching

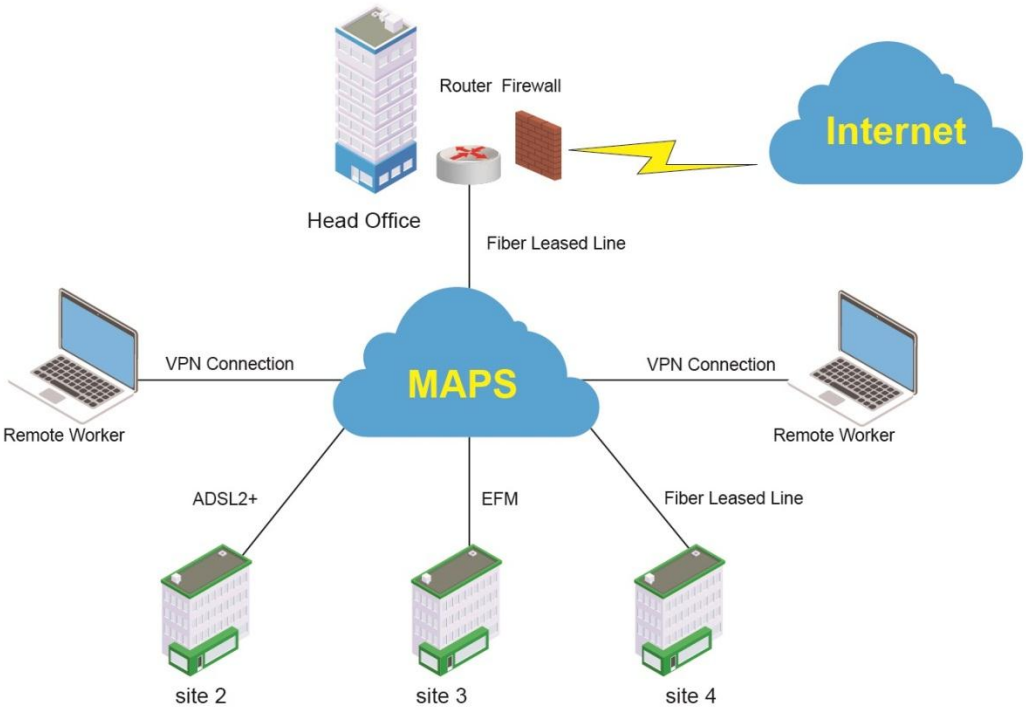
1.7. مقدمة

تكلمنا سابقاً أن الطبقة الثانية من النموذج المرجعي OSI طبقة وصلة البيانات تقوم بتمرير البيانات بناءاً على عناوين الـ MAC addresses الثابتة في كل مبدلات (Switches) الشبكة، بينما تقوم الطبقة الثالثة بتوجيه البيانات بناءاً على الفحص الدائم والمستمر لعناوين الـ IPs (32 bits) للوجهات المستقبلة النهائية ومقارنتها مع جداول التوجيه في كل موجه Router، وذكرنا أن هذه عطالة كبيرة في أداء الشبكات وبالأخص في أداء البرتوكول بحد ذاته، وهذا يؤثر على السرعات التي يمكن دعمها باستخدام هذه البرتوكولات. كما تكلمنا أيضاً عن برتوكول نمط النقل غير المتزامن ATM والذي يعتمد في عمله على توجيه خلايا ثابتة الحجم (Cells 53 bytes) بناءاً على حقلي محدد المسار الوهمي ومحدد القناة الافتراضية VPI & VCI وليس بناءاً على عناوين الـ IPs، وأن الهدف من هذا البرتوكول كان توحيد شبكات الاتصالات وذلك عن طريق نقل البيانات مع مراعاة جودة الخدمة (Quality of Service) متمثلة بمجموعة من المعايير التي تضمن وصول الخدمات المقدمة من الشبكة بأعلى كفاءة، ودعم السرعات العالية جداً حتى مرتبة Gbps أو أكثر.

ورأينا مدى فعالية هذا البرتوكول برتوكول نمط النقل غير المتزامن ATM بالنسبة لبعض التطبيقات وقلة فعاليته بالنسبة للبعض الآخر. كما أنه لم يتم الاتفاق على هذا البروتوكول بشكل كامل من قبل الشركات المنتجة لأجهزة الربط الشبكية (Routers, Switches)، حيث أنه لتطوير شبكات الاتصالات كي تصبح متوافقة مع شبكات ATM يحتاج لتغيير بعض مكونات الشبكة كالموجهات (Routers) والمبدلات (Switches) وغيرها، مما قد يزيد الشبكة تعقيداً (مثلاً إحداث طبقة الموائمة الجديدة بإصداراتها العديدة ATM Adaptation Layer AAL). كل ذلك أفضى إلى عدم انتشار هذا البروتوكول رغم محاسنه الهامة.

كما أن السرعات التي كان مخطط لها أيام ثمانينات القرن الماضي أصبحت غير كافية الآن مع ازدياد متطلبات العالم الرقمي، وأصبح لزاماً التفكير بسرعات أعلى بكثير من ذلك لتلبية تلك الاحتياجات المتزايدة. لذلك كان لابد من التفكير في ابتكار برتوكول يجمع محاسن البروتوكولات السابقة في برتوكول واحد ومتوافق مع جميع أنواع الشبكات السابقة بدون أية إضافات، يمكنه التعامل مع كافة أشكال البيانات (صوت، صورة، فيديو، نصوص،....إلخ) بفعالية عالية وبسرعات عالية جداً. وكان نتاج ذلك أن تم إنشاء برتوكول الـ MPLS اختصاراً لـ: Multi Protocols Label Switching.

يوضح الشكل الشكل **5-1** مخططاً عاماً لشبكة MPLS



الشكل 5-1: مخطط عام لشبكة MPLS

2.7. لمحة عن آلية عمل بروتوكول MPLS

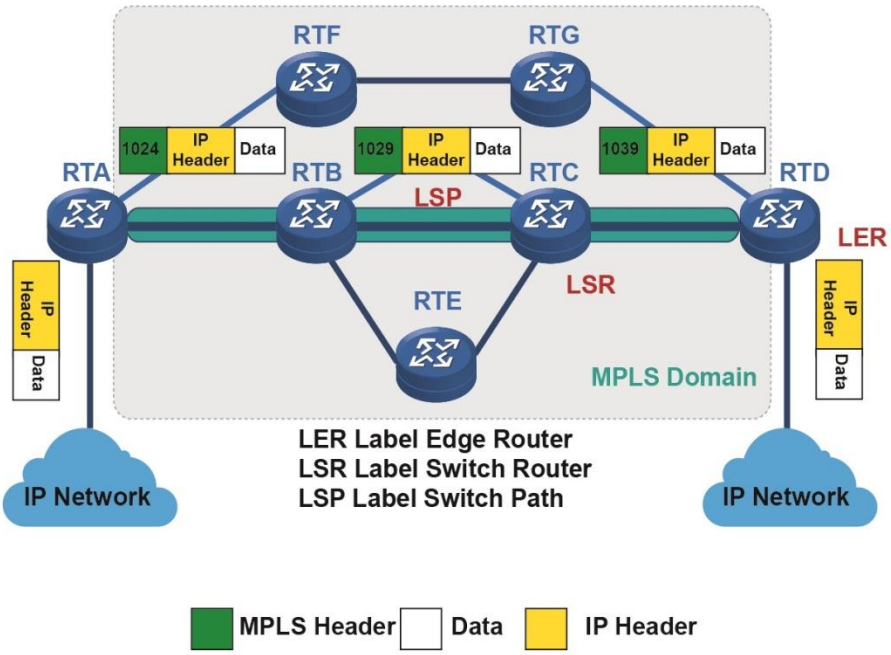
يجمع هذا البروتوكول بين مزايا بروتوكولات IGP وبرتوكول BGP وكذلك برتوكول الطبقة الثانية ATM، وسنذكر فيما يلي تلخيصاً بسيطاً لعمله. نلاحظ بدايةً أن اسم البروتوكول يقسم إلى شقين أساسيين:

1. الشق الأول: Multi-Protocols متعدد البروتوكولات، حيث يعتمد هذا البروتوكول في عمله بدايةً لبناء جداول التوجيه على:
   - أحد بروتوكولات الـ IGP وخصوصاً (OSFP or IS-IS)، وذلك لمعرفة الوصول إلى كل عنوان من عناوين الشبكة.
   - تخصيص مؤشر تعريفي Label (20 bits) لكل عنوان (في الواقع مؤشران تعريفيان Tow labels "In/Out")، وهذه الخطوة مشتقة من برتوكول ATM.
   - بروتوكول نشر أو توزيع المؤشر التعريفي Label Distribution Protocol LDP: يقوم هذا البروتوكول بنشر هذه المؤشرات التعريفية Labels بين موجهات الشبكة (هنا يجب ملاحظة أن نظام التشغيل الداخليIOS للموجه يجب أن يدعم بروتوكول MPLS)، بحيث يصبح كل موجه لديه جدول يحوي كل عناوين IPs مع ما يقابلها من المؤشرات التعريفية المخصصة Labels (In/Out).

- بروتوكول البوابة الحدودي Border Gateway Protocol BGP: وهو المسؤول عن إنشاء مسارات افتراضية بين أطراف الشبكة النهائية End-to-End.
- بروتوكول حجز RSVP Resource Reservation Protocol: وذلك لفحص سعة النقل للمسار قبل اختياره.

وينتج عن مجموعة هذه البروتوكولات مجموعة مسارات افتراضية تربط الأطراف النهائية المتصلة بالشبكة مع بعضها البعض، تعتمد على المؤشرات التعريفية في تحديد طريقها عبر شبكة الـ MPLS، تعرف هذه المسارات باسم المسار المؤَشّر Labeled Switched Path LSP. وهذا يذكرنا بالقنوات الافتراضية Virtual Channels التي ينشؤها برتوكول ATM.

2. الشق الثاني: Label Switching، تبديل المؤشرات التعريفية، أي يعتمد هذا البروتوكول في عملية توجيه البيانات بين طرفي الاتصال على تبديل المؤشرات التعريفية المضافة، بعد إنشاء مسارات الـ LSP – الشكل 5-16، وهذا يشبه إلى حد كبير مبدأ عمل بروتوكول ATM. لذا يعتبر برتوكول MPLS الوريث لبروتوكول ATM.



الشكل 5-16: إنشاء مسارات LSP

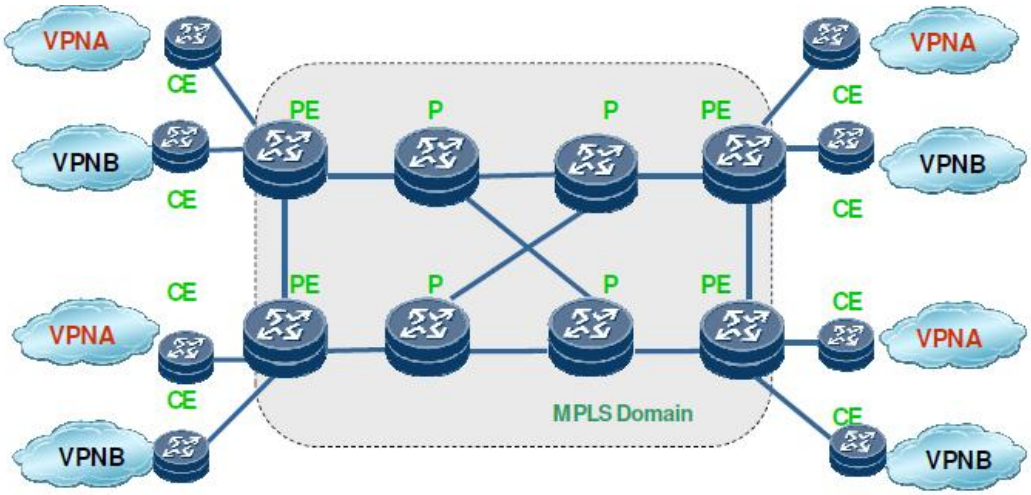
3.7. بنية شبكة MPLS

تتألف بنية شبكة MPLS من نمطين من الموجهات:

1. موجهات المركز وتسمى P-Router اختصاراً لـ Provider: وعادةً تكون هذه الموجهات بخصائص مواصفات عالية حتى تتمكن من معالجة كمية المعلومات المتبادلة.
2. موجهات الحافة PE-Router اختصاراً لـ Provider Edge: وهي الموجهات الطرفية التي تربط شبكة الـ MPLS مع الزبون Client Edge CE (طرف الاتصال)، وهذه الموجهات يجب أن تفهم برتوكول MPLS لارتباطه بشبكة MPLS، وكذلك يجب أن يفهم على البروتوكول الذي يعمل عليه طرف الزبون CE لاشتراكه معه عن طريق منفذ Port.

وهذان النمطان ليسا خاصين بشبكات الـMPLS، وإنما يستخدمان بشكل واسع كالشبكات الفقارية IP-BB IP Backbone، وشبكات مزودي الخدمة Service Provider.

الشكل 5-2 يوضح هذين النمطين:



الشكل 5-2: بنية عامة لشبكة MPLS

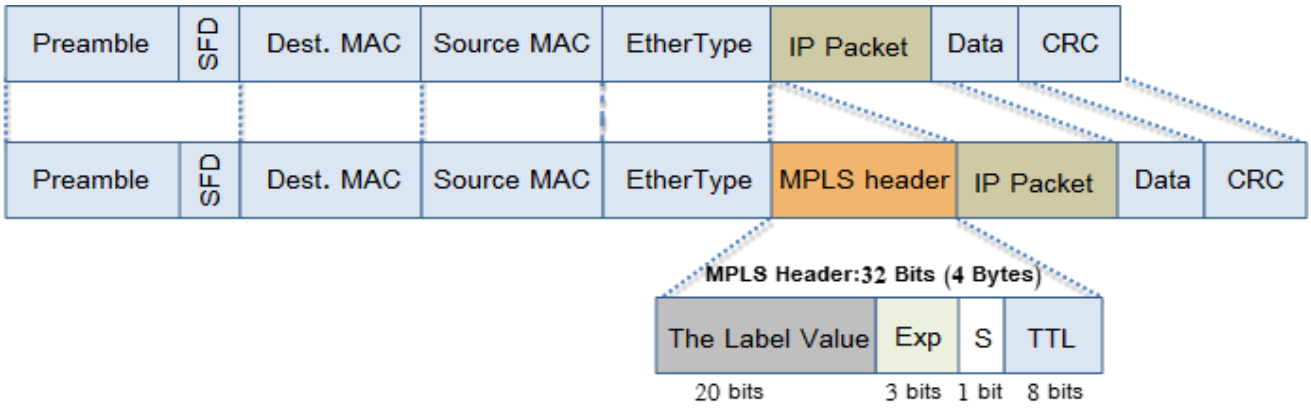
كما تصنف هذه الموجهات شبكة الـ MPLS خاصة إلى:

- موجهات المؤشر التعريفي الطرفية Label Edge Router LER: والتي تقابل موجهات PE في التصنيف السابق، وهي الموجهات التي تربط الزبون الطرفي CE بشبكة الـ MPLS، وعند هذه الموجهات يتم تغليف الرزم (L3) أو إطارات البيانات (L2) القادمة من طرف الزبون بغلاف الـ MPLS، حيث يتم إضافة ترويسة الـ MPLS (بين ترويسة الـ IP وترويسة طبقة البيانات) والحاوية على المؤشر التعريفي الأول بناءاً على جداول المؤشرات التعريفية الخاصة ببرتوكول الـ MPLS، لتبدأ هذه الرزم أو الإطارات مسارها ضمن شبكة الـ MPLS عن طريق تبديل المؤشر التعريفي من موجه لآخر وصولاً إلى الموجه الطرفي الآخرLER، والذي يقوم بدوره بحذف ترويسة الـ MPLS وتمرير الرزم أو الإطارات إلى وجهتها النهائية أي إلى طرف الزبون في طرف الشبكة الآخر
- موجات تبديل المؤشر التعريفي Label Switch Router LSR: والتي تقابل موجهات P في التصنيف السابق، وهي الموجهات التي تقوم بتبديل المؤشرات التعريفية للرزم الواردة بناءاً على جداول المؤشرات التعريفية الخاصة ببرتوكول الـ MPLS، ويستمر هذا التبديل من موجه LSR إلى آخر حتى الوصول إلى الموجه الطرفي LER، والمسار بين موجهين طرفيين Two LERs مرور بعدة موجهات LSRs يسمى كما قلنا سابقاً المسار المؤشر Label Switched Path LSP

4.7. بنية ترويسة الـ MPLS

ذكرنا سابقاً أن موجهات المؤشر التعريفي الطرفية LERs تقوم بإضافة ترويسة الـ MPLS على بيانات الزبون ليتم توجيهها إلى موجهات المؤشر التعريفي في طرف الشبكة المقابل ومن ثم إلى الطرف الزبون الآخر.

يتم إضافة ترويسة الـ MPLS بين ترويسة طبقة الشبكة IP header وترويسة طبقة البيانات Data link header، وهي عبارة عن 4 بايت = 32 بت، وبناءاً على هذا الموضع يصنف برتوكول الـ MPLS كبرتوكول طبقة 2.5، الشكل 18-5



الشكل 5-18: بنية إطار اثرنت يدعم برتوكول MPLS

تتألف هذه الترويسة من الحقول التالية:

- قيمة المؤشر التعريفي Label Value: وهي عبارة عن 20 بت، تمثل قيمة المؤشر التعريفي حيثث يتم تخصيص كل عنوان IP في شبكة الـ MPLS بمؤشر تعريفي محدد في حالة الإرسال وكذلك مؤشر تعريفي للاستقبال، ليتم توجيه البيانات الخاصة بهذا العنوان وفقاً لهذه القيمة. والذي يترجم أو يربط عنوان IP بالمؤشر التعريفي هو الموجهات LER.
- حقل EXP: طوله 3 بت، يستخدم لأغراض جودة الخدمة QOS، للتعامل مع حالات الازدحام Congestion في الشبكة. ويعود التحكم في هذا الحقل إلى مشغل الشبكة.
- الحقل S اختصاراً لـ Stack أي المكدس: حيث في بعض الحالات يتم إضافة أكثر مؤشر تعريفي واحد على بيانات الزبون، في هذه الحالة تسمى مجموعة المؤشرات التعريفية بالمكدس Stack، فإذا كان قيمة هذا الحقل واحد، فهو يشير إلى أن هذا المؤشر هو آخر مؤشر ضمن المكدس. [ملاحظة: لكل ترويسة MPLS مؤشر تعريفي واحد، ففي حالة مؤشران تعريفيان يكون هناك ترويستان MPLS].
- زمن حياة Time To Live TTL: طوله 8 بت، وهو رقم متناقص تريجياً كلما مرت رزمة البيانات على موجه من موجهات الشبكة، أطول قيمة له 256، بعدها يتم التخلص من الرزمة كي لا تبقى تدور في الشبكة إلى مالانهاية.

5.7. المميزات الرئيسة لبروتوكول MPLS

سنتعرض خلال ذكر المزايا كيف استطاع هذا البروتوكول الاستفادة من البروتوكولات السابقة. من مزايا هذا البرتوكول الجديد:

- التوافق الكامل مع برتوكول الإنترنتIP بدون إحداث أي تغيير يذكر على مكونات الشبكة، على خلاف لما تطلبه ذلك في شبكات ATM، ما جعل الشركات المنتجة لأجهزة التشبيك تتبنى هذا البرتوكول دونما تردد.
- الاستفادة من فكرة بروتوكول ATM بإنشاء مسار وهمي بين طرفيات الشبكة، ومن ثم توجيه البيانات بناءاً على تبديل مايسمى بـالمؤشر التعريفي Label، والتي تقابل VPI & VCI في بروتوكول ATM. وهذا يفيد بشكل كبير في عملية توجيه الرزم.
- دعمه الكامل لربط أجزاء أي شبكة (L2 or L3) مع بعضها البعض، وذلك باستخدام تقنية الـ Virtual Private Network VPN والتي تعتمد أسلوب الـ Tunneling النفقية، حيث تستخدم L2VPN لربط أجزاء شبكة عاملة على بروتوكولات الطبقة الثانية L2، وL3VPN لربط أجزاء شبكة عاملة على بروتوكولات الطبقة الثالثة L3.
- القدرة على التحكم بتدفق البيانات عبر الشبكة، وذلك لتحقيق توازن على جميع المسارات وتجنب ازدحام أحد المسارات بينما هناك مسارات غير مشغولة أو مشغولة جزئياً، وهذا يسمى هندسة حركة مرور البيانات Traffic Engineering TE، ويستخدم لذلك برتوكول Resource Reservation Protocol RSVP
- القدرة على تأمين مسارات احتياطية للمسارات الهامة.
- القدرة الكبيرة على عزل أي نوع من البيانات عن الآخر باستخدام الـ VPNs بالإضافة إلى محددين آخرين هما: محدد المسار Route Distinguisher RD وهدف المسار Route Target RT.

6.7. المساوئ الرئيسة لبروتوكول MPLS

- تحتاج الشبكات العاملة على MPLS إلى فريق عمل مؤهل علمياً وعملياً للتعامل مع هكذا بروتوكولات (Configuration, Troubleshooting)
- زمن التحديث أو الاستقرار الطويل نسبياً وذلك عند حدوث أي تغيير (إضافة، حذف، تغيير) في طريقة ربط الشبكة، لأن ذلك يعني أنIGP سيعمل ليستوعب هذا التغيير ويحدِّث جداول التوجيه، وكذلك برتوكول الـ LDP سيعمل لتخصيص مؤشرات التعريف المناسبة ومن ثم توزيعها ضمن الشبكة، وكذلك برتوكول الـ BGP سيعمل لإنشاء المسارات النهائية، وكل ذلك يستغرق وقت للوصول لمرحلة الاستقرار Convergence state، لكن ما أن يتم الوصول لهذه المرحلة فإن أداء شبكة الـ MPLS سيكون ذو كفاءة عالية جداً، وهذا أثبتته محددات الأداء التي تقيس أداء الشبكات
- التعقيد الكبير في الإعدادات لمثل هكذا شبكات

ومن أشهر تطبيقات بروتوكول الـMPLS الشبكات الفقارية (IP-BackBone (IP-BB، [لكن ذلك لا يعني بالضرورة أن كل شبكة فقارية IP-BB يجب أن تستخدم برتوكول الـ MPLS]، حيث أن الشبكات الفقارية تقوم بربط أجزاء الشبكة المركزية ببعضها، وتكون حجوم البيانات المتبادلة كبيرة جداً وكذلك معدلات النقل تكون عالية، وكلما زادت حجوم البيانات ومعدلات النقل كلما كانت الحاجة لاستخدام برتوكول الـ MPLS أكبر. بالإضافة إلى ميزة الـ MPLS في توفير مسارات حماية للبيانات بين أجزاء الشبكة المركزية، وكذلك تأمين قدرة عزل كبيرة للبيانات الهامة رغم تداخلها مع البيانات الأخرى واستخدامها نفس شبكة الربط الفيزيائية.

أسئلة وتمارين:

(لكل سؤال 4 علامات غير قابلة للتجزئة وبالتالي تكون العلامة الكلية من 20).

1. تعتمد الشبكات المحلية على عنوان الـ IP لتوجيه البيانات.
   a. صح
   b. خطأ

2. تعتمد الطبقة الثالثة في نموذج الـ OSI على عنوان MAC عند التخاطب مع باقي أجهزة الشبكة.
   a. صح
   b. خطأ

3. الهدف الرئيسي من شبكات الـ VLAN:
   a. الأمان
   b. تقسيم مجال البث
   c. عزل الأجهزة التي تقوم بنفس الأعمال
   d. جميع ماذكر

4. بروتوكول الـ IP يعتبر من أهم البروتوكولات في بناء شبكات الWAN:
   a. صح
   b. خطأ

5. برتوكول الـ MPLS لا يختلف عن بروتوكول ATM:
   a. نفسه تماماً
   b. ATM أكثر تعقيداً من MPLS
   c. MPLS مختلف تماماً عن ATM
   d. جميع ما ذكر خطأ

رقم السؤال	الجواب
1	b
2	b
3	d
4	a
5	d

الفصل السادس
الوصلات المكروية (Microwave links)

نتناول في هذه الفصل الحديث عن الوصلة المكروية ، حيث سنبدأ بتعريف الوصلة المكروية مع لمحة عن مزاياها وعيوبها واستخداماتها ثم ننتقل للحديث عن البنية الفيزيائية للوصلات المكروية كأجزائها وأنواعها وعوامل اختيارها. بعدها ننتقل لكيفية التخطيط للوصلات المكروية ونختتم الفصل بطرق حماية الوصلة المكروية ولمحة عملية.

1. مقدمة Introduction:

1.1. تعريف الوصلة المكروية Microwave link definition :

الوصلة المكروية من أهم أنواع نظام تراسل (Transmission) اللاسلكي وتستخدم لنقل البيانات بين نقطتين تفصل بينهما مسافة جغرافية محددة باستخدام أمواج كهرطيسية ذات ترددات مكروية ضمن النطاق 1–100 GHz، والنطاق المستخدم عملياً هو 4–80 GHz. في هذا النوع من التراسل يكون الانتشار إما مباشراً؛ عندها تحتاج الوصلة المكروية لخط نظر واضح (Clear line of sight) بين النقطتين، أو عن طريق الانعكاس في حال وجود عائق يمنع خط النظر بين نقطتي الاتصال، ويتم في هذه الحالة استخدام تجهيزات محددة لتجاوز العائق تسمى المكررات (Repeaters).
تتألف الوصلة المكروية بشكلها الأبسط من مرسل ومستقبل في الطرف الأول يتراسلان مع مرسل ومستقبل من الطرف الآخر.

2.1. مزايا وعيوب الوصلة المكروية Microwave link advantages & disadvantages:

تمتاز الوصلات المكروية بالميزات التالية:

- تكلفة الإنشاء المنخفضة.
- سرعة التركيب.
- إمكانية تركيبها في الأماكن التي يتعذر فيها الربط سلكياً.
- نقل أنواع وأحجام مختلفة من البيانات.

بالمقابل تعاني الوصلات المكروية من العيوب التالية:

- محدودية معدلات النقل مقارنة بالألياف الضوئية.
- التعرض للتداخل والتشويش
- التأثر بالعوامل الجوية وعيوب/ظواهر الانتشار (الخفوت Fading، الامتصاص Absorption)، والتضاريس (Multi–Paths).
- صعوبة معايرة طرفي الوصلة في حالة المسافات الطويلة.

3.1. استخدامات الوصلات المكروية Microwave links application:

للوصلات المكروية العديد من الاستخدامات الهامة وخصوصاً عند غياب البنية التحتية للربط السلكي (كالألياف الضوئية ونحوها) بسبب بعد المسافة وطبيعة التضاريس بين المحطات المراد ربطها (وعورة الأرض، حواجز مائية، مناطق غير مرخص العمل فيها...إلخ)، نذكر من هذه الاستخدامات:

- ربط المحطات الثابتة Base stations (BS) بالمقاسم المركزية ضمن نظام الاتصالات الخلوية.
- ربط مقاسم الهاتف الثابت المنتشرة في الأرياف.
- النقل التلفزيوني بين المحطة الرئيسية ومحطات التقوية.
- ربط الفروع المختلفة للمنشآت الاقتصادية والخدمية مثل : المصارف، المؤسسات، الجامعات، وحقول النفط وغيرها.
- حالات الطوارئ والكوارث التي قد تتسبب بانقطاعات للربط السلكي.

2. البنية الفيزيائية للوصلات المكروية Microwave link architecture:

1.2. أجزاء الوصلة المكروية Microwave link components:

تتألف الوصلة المكروية بشكل مبسط من طرفيتين يتم وضعهما في الموقعين المراد ربطهما مع بعض، وكل طرفية تتألف من وحدة داخلية (مسؤولة عن تهيئة البيانات قبل إرسالها) وأخرى خارجية (تحوي المرسل والمستقبل) ، ولكل منهما أجزاء ووظائف ومواصفات محددة.

يمثل الشكل البنية الرئيسة للوصلة المكروية، وتكون الوحدة الداخلية مفصولة عن الوحدة الخارجية في هذا التصميم ويسمى (Split design) وهو الأكثر انتشاراً واستخداماً في عالم الاتصالات اللاسلكية. لكن تلجأ بعض الشركات الصانعة إلى تغيير طريقة تصميمها لبعض أنواع الوصلات المكروية وذلك تبعاً لظروف معينة يفرضها الغرض من استخدام الوصلة؛ فمنها من يدمج الوحدة الداخلية بالوحدة الخارجية لينتج تصميماً خارجياً بالكامل يسمى (Fully Outdoor)، ويستخدم هنا الكبل (Cable) لربط الوحدة الخارجية بمصدر البيانات، ومنها من يلجأ إلى دمج الوحدة الخارجية (باستثناء الهوائي) بالوحدة الداخلية لينتج تصميماً داخلياً بالكامل (Fully Indoor) وتُربط الوحدة الداخلية بالهوائي عن طريق دليل موجة (Waveguide). ولكل من هذه التصاميم الجديدة إيجابياتها وسلبياتها، وصممت لتناسب حالات محددة أثناء تركيب الوصلات المكروية. يستخدم التصميم الداخلي بالكامل على سبيل المثال في حالة الرغبة بالإرسال لمسافات بعيدة جداً باستخدام ترددات منخفضة واستطاعات إرسال عالية جداً. أما التصميم الخارجي بالكامل فيستخدم في حال عدم توفر مكان لتركيب التجهيزات الداخلية كما هو الحال عند تركيب محطات الخدمة الصغيرة الحجم (Small cells). وسنركز فيما يلي على التصميم الذي تكون فيه الوحدة الداخلية مفصولة عن الوحدة الخارجية (Split design).

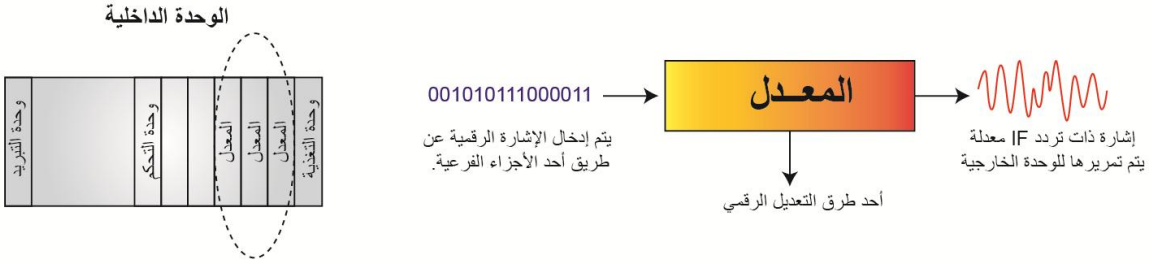
1.1.2. الوحدة الداخلية (Indoor unit):

تتألف الوحدة الداخلية من أجزاء رئيسة، وأخرى فرعية تستخدم إذا دعت الضرورة لذلك.

1. الأجزاء الرئيسية Main components:

وهي الأجزاء التي لا يمكن الاستغناء عنها عند استخدام الوصلات المكروية. وتتضمن:

- المعدل (Modulator): وهو المسؤول عن تعديل التردد الوسيط IF بإشارة المعلومات الرقمية (IF: Intermediate Frequency) باستخدام إحدى طرائق التعديل الرقمي المعروفة (FSK, ASK, PSK, 4QAM, 16QAM, 32QAM.....). ينتج في خرج المعدل إشارة التردد الوسيط التماثلية المعدَّلة، وهذه الإشارة بدورها يتم تمريرها إلى الوحدة الخارجية لاستكمال إرسالها إلى الطرف المقابل (انظر الشكل6-1).



الشكل 6-1 وظيفة المعدل

- وحدة التحكم (Control unit): وهي المسؤولة عن التحكم بكامل الوصلة المكروية (إعدادات Configuration، وإدارة Management)
- وحدة التغذية (Power unit): تزود الوحدة الداخلية والخارجية بالطاقة اللازمة للتشغيل
- وحدة التبريد (Fan Unit): تبريد الوحدة الداخلية في حال ارتفاع درجة حرارتها عن حد معين

2. الأجزاء الفرعية Sub-components:

وهي عبارة عن وحدات إضافية تستخدم داخل الوحدة الداخلية لإدخال أو إخراج أو تحويل/تنضيد البيانات داخل الوحدة الداخلية، فيما يلي أمثلة عن أكثر الوحدات شيوعاً:

- وحدات الـ PDH: وتستخدم لإدخال أو إخراج البيانات المرسلة بطريقة التراتبية الرقمية قرب المتزامنة PDH من الوحدة الداخلية.
- وحدات الـ SDH: وتستخدم لإدخال أو إخراج البيانات المرسلة بطريقة التراتبية الرقمية المتزامنة الـ SDH من الوحدة الداخلية.
- وحدات الـ Ethernet: وتستخدم لإدخال أو إخراج البيانات المرسلة بتقانة Ethernet من الوحدة الداخلية.

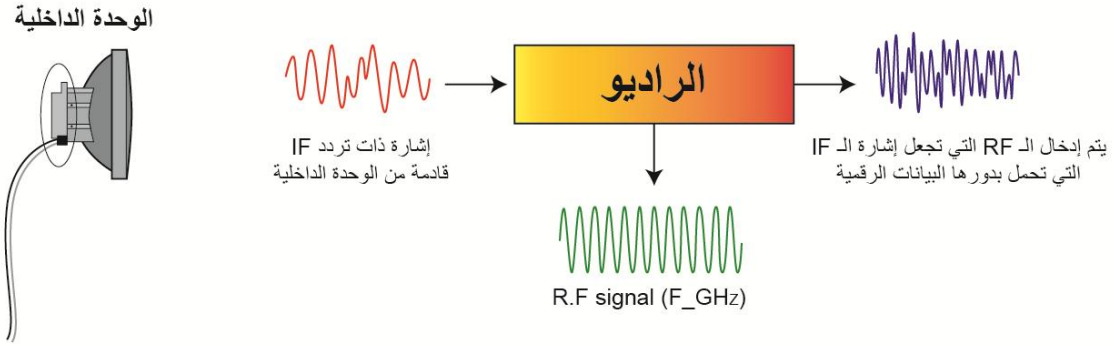
وهناك وحدات أخرى تستخدم لأغراض مختلفة يمكن تركيبها داخل الوحدة الداخلية مثل وحدة الإنذارات ووحدة تبديل طريقة تغليف البيانات مثلاً من PDH إلىEth أو بالعكس.

2.1.2. الوحدة الخارجية (Outdoor Unit):

تتألف الوحدة الخارجية أيضاً من الأجزاء الرئيسة التالية:

- الوحدة الراديوية أو الراديو (Radio Unit):

تقوم الوحدة الخارجية بدور المرسل الراديوي RF transmitter، أي توليد الحامل ذي التردد الراديوي RF carrier (عن طريق ضارب + مرشح) وتعديله بإشارة التردد الوسيط الحامل للبيانات المراد إرسالها، ومن ثم تكبير الإشارة الناتجة (عن طريق مكبر راديوي RF power amplifier) إلى مستوى استطاعة إرسال محدد مسبقاً (يحدد عند دراسة ميزانية الوصلة التي سنراها لاحقاً) ليتم بعد ذلك تغذية هوائي الإرسال الموجه بها وبثها باتجاه الطرف المقابل. تجري عمليات مماثلة عندما يتم البث من الطرف المقابل باتجاه الطرف الأول، وبالتالي فإن كل راديو (Radio) في كل طرف سيعمل كمرسل ومستقبل في آن واحد. أنظر الشكل 6-2



الشكل 6-2 وظيفة الوحدة الراديوية

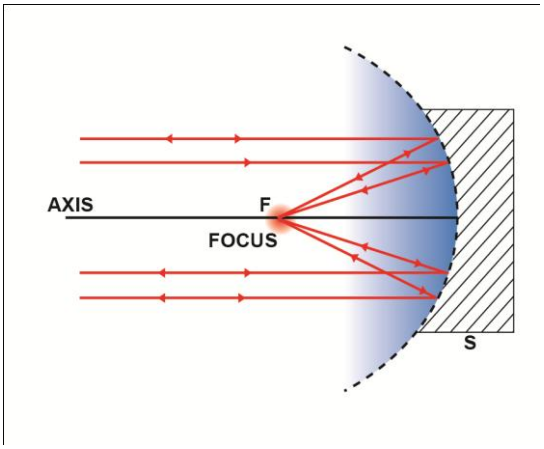
والجدير بالذكر هنا؛ بما أننا نتكلم عن ترددات الـ IF و RF، أن تردد الـ IF هو تردد ثابت (حسب الشركة المصنعة للوصلة المكروية) ويستخدم فقط بين الوحدة الداخلية والوحدة الخارجية، ويأخذ نفس القيمة في الوصلات التابعة لنفس الشركة، أما تردد الـ RF، فهذا التردد سيتم بثه في الهواء محملاً بالبيانات كما أسلفنا سابقاً، وهو تردد قابل للضبط ضمن مجال محدد لتجنب حدوث تداخل (Interference) إذا ما تم تركيب هذه الوصلة بهذا التردد بجوار وصلة أخرى تعمل على نفس التردد أو تردد مجاور. نستنتج من هذه الملاحظة أن أحد محددات الراديو (Radio unit) هو التردد RF (Radio Frequency)، وهذا الأمر سوف يتم التطرق له عند الحديث عن تخصيص الترددات.

- الهوائي (Antenna):

وهو عبارة عن وحدة غير فعالة (أي لا تحتاج لتغذية تيار كهربائي مستمر) تستخدم لتحويل الإشارات الكهربائية إلى أمواج كهرطيسية في حالة الإرسال والاستقبال، يستخدم الهوائي في الوصلات المكروية شكل القطع المكافئ (Parabolic shape) للحصول على تركيز أكبر للموجة المرسلة أو المستقبلة.

إن بث الإشارة باتجاه محدد وكذلك تجميعها وتركيزها من اتجاه محدد باستخدام القطع المكافئ يزيد من استطاعة الإشارة المرسلة والمستقبلة ، وهذا ما يعبر عنه بـ " ربح الهوائي (Gain) ".

الشكل 6-3 يوضح كيف يتم تركيز الموجة باستخدام القطع المكافئ.

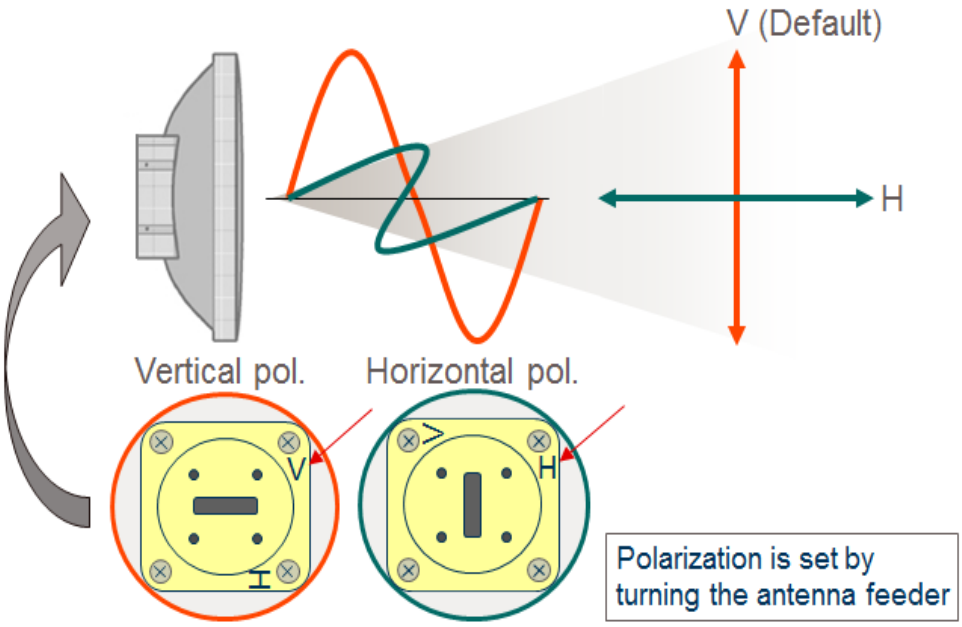


الشكل 6-3 تركيز الموجة باستخدام القطع المكافئ

محددات الهوائي Antenna parameters:

أي هوائي يستخدم في الوصلات المكروية يمتاز بثلاثة محددات رئيسية:

- التردد (GHz): وذلك لبث الموجة الراديوية RF wave القادمة من الراديو (Radio)، وكذلك استقبالها من الطرف المقابل.
- القطر (Diameter [m]): يختلف قطر الهوائي بشكل رئيسي تبعاً للمسافة المراد نقل البيانات عبرها، فهناك أقطار تبدأ بـ 0.1 م، 0.2 م، 0.3 م، ..... وهكذا ، ويمكن أن يصل أحياناً إلى بضعة أمتار في بعض التطبيقات مثل الـ VSAT. وكلما كبر قطر الهوائي كلما زاد تركيز الإشارة وبالتالي زاد ربح (Gain) الهوائي.
- القطبية (Polarity): كما نعلم أن انتشار أي موجة كهرطيسية يتم إما بشكل شاقولي (Vertical) أو بشكل أفقي (Horizontal) ، أو بشكل دائري (Circular) ، وهذا ما يعبر عنه بالقطبية. الذي يتحكم بالقطبية الشاقولية والأفقية هو شكل فتحة الهوائي التي سيرتبط بها الراديو وطريقة تركيب الهوائي، وغالباً ما يتم تحديد الاتجاه الشاقولي والأفقي من قبل الشركة المصنعة وذلك على الهيكل المعدني للهوائي، كما هو مشار إليه في الشكل 6-4



الشكل 6-4 قطبية الهوائي

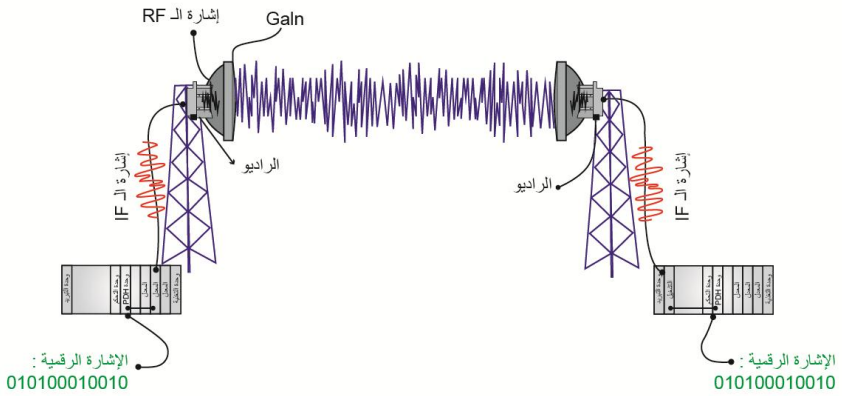
- الأجزاء الفرعية المرتبطة بالهوائي وتدعى أحياناً بالإكسسوارات (Accessories):

وهي الاجزاء التي تستخدم في حالات محددة مثل وصلة مكروية مع وجود حماية لها ، أو وصلتين مكرويتين تعملان على نفس الهوائي أو أكسسوارات مخصصة لتركيب الهوائي على السارية. وتشمل أيضا مرشدات موجه (Wave Guide) قصيرة تستخدم أحيانا لوصل الراديو مع الهوائي في حالة تعذر التركيب المباشر.

- الكبل (Cable):

ترتبط الوحدة الداخلية بالوحدة الخارجية بواسطة كبل (Cable) يسمى عادةً IF cable ، وذلك لنقل إشارة الـIF بينهما. طبعاً طول هذا الكبل يسبب تخامد استطاعة إشارة الـ IF ومقدار هذا التخامد يتبع لطبيعة المواد التي تصنع منها الكوابل وغالباً ما يتم تحديده من قبل الشركة المصنعة.

تلخيصاً لما سبق، يوضح الشكل 6-5 رحلة البيانات خطوة بخطوة مرورا بكل المراحل التي تم شرحها سابقاً:



الشكل 6-5 مخطط عام لوصلة مكروية

2.2. أنواع الوصلات المكروية Microwave links types:

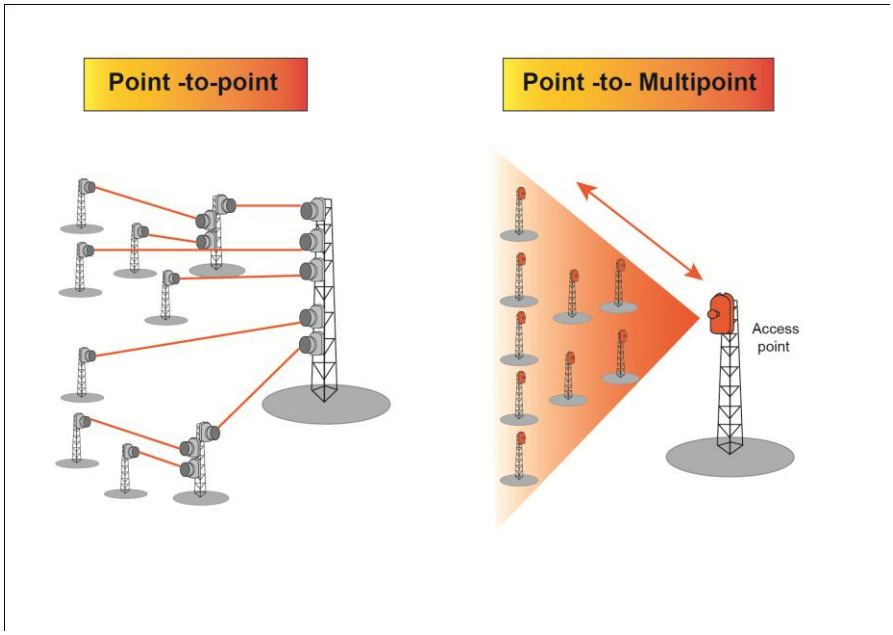
1.2.2. وصلة الربط المباشر (PTP: Point to Point):

وهو النوع الأكثر انتشاراً. وهذا النوع من الوصلات يربط موقعين مع بعضهما باستخدام مرسل ومستقبل من الطرف الأول مع مرسل ومستقبل من الطرف المقابل.

2.2.2. وصلة الربط المتعدد (PMP: Point to Multi points):

وفي هذا النوع من الوصلات ترتبط مجموعة مواقع مع موقع واحد باستخدام مرسل ومستقبل من كل أطراف المواقع البعيدة تتراسل جميعها مع مرسل ومستقبل واحد من طرف الموقع القريب.

يوضح الشكل 6-6 الفرق بين النوعين. وسنركز في الفصول التالية على النوع الأول لأنه الأعم.



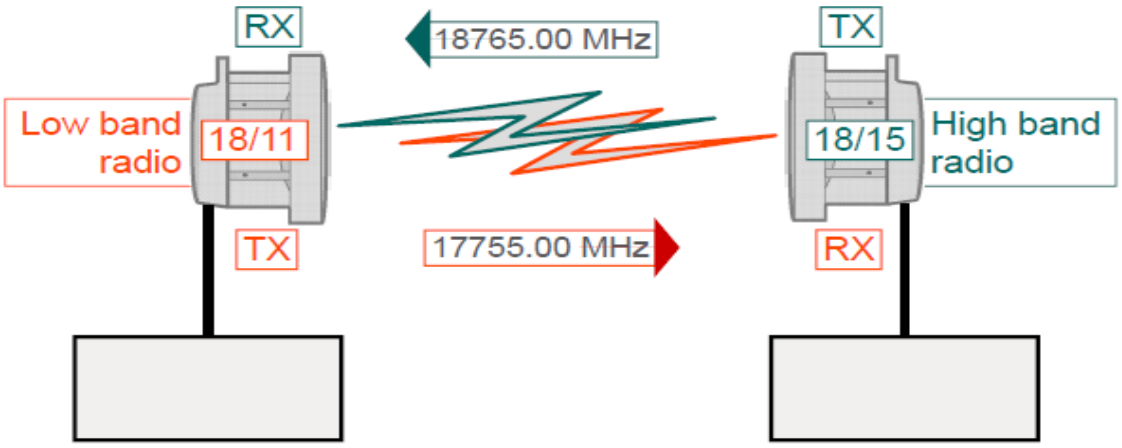
الشكل 6-6 أنواع الوصلات المكروية

3.2. محددات الوصلة المكروية (Microwave link parameters):

توصَّف أي وصلة مكروية بمجموعة محددات أساسية حتى تكون قادرة على نقل البيانات لاسلكياً، سنستعرضها بشيء من الإيجاز:

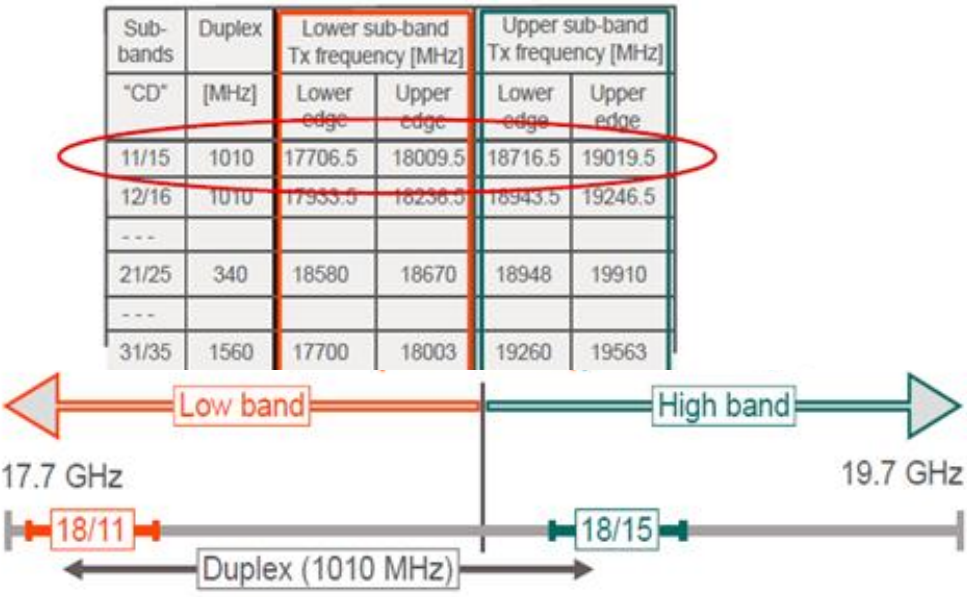
1. التردد (Frequency): وهو تردد إشارة الحامل (Carrier) الذي سيحمل إشارة الـ IF القادمة من المعدل (كما ذكرنا آنفاً) ويشار إليه عادةً بـ RF (Radio frequency). وهو الذي يتم بثه في عن طريق الهوائي باتجاه الطرف المقابل. هذا التردد يتم توليده داخل جهاز الردايو الذي سيعمل كمرسل لإشارة RF باتجاه الطرف المقابل، وكذلك كمستقبل لإشارةRF قادمة من الطرف المقابل في آن واحد، لكن إن كانت هاتين الإشارتين (إشارة الإرسال وإشارة الاستقبال) تعملان على نفس التردد فسيحدث تداخل بين الإشارتين عند كل طرف؛ وبالتالي ستشوش كل من هاتين الإشارتين على الأخرى، مما يؤدي إلى نشوء أخطاء (Errors) عند استقبال الإشارة في كل طرف، وتكون هذه الأخطاء أكبر وأكثر عندما يكون تردد الإشارة المرسلة مطابق لتردد الإشارة المستقبلة، ويقل تأثيره كلما ابتعد تردد الإشارة المرسلة عن تردد الإشارة المستقبلة.

لمنع حدوث مثل هذه التشويش فإن الراديو في الوصلات المكروية سيعمل على تردد RF_1 عندما يعمل كمرسل ، وسيعمل على تردد RF_2 عندما يعمل كمستقبل، وجهاز الراديو في الطرف المقابل سيعمل بالعكس، كمرسل على تردد RF_2، وكمستقبل على تردد RF_1. ويكون أحد ترددي الإرسال أكبر من الثاني فيسمى التردد العالي High ويكون الآخر التردد المنخفض Low. الشكل 6-7 يظهر رسماً توضيحياً لما سبق:



الشكل 6-7 ترددي الرسال والاستقبال

تمتد الترددات المستخدمة في الوصلات المكروية –عملياً– من 4GHz وتصل إلى 80GHz كما ذكرنا سابقاً. لقد اهتم الاتحاد العالمي للاتصالات (ITU: International Telecommunication Union) بموضوع الطيف الترددي، حيث قُسّم المجال الترددي إلى مجموعات ترددية مستقلة، وكل مجموعة قُسمت إلى مجالين: المجال العالي (High band) والمجال المنخفض (Low band) تفصل بينهما مسافة ترددية ثابتة تسمى الـ Duplex، وتسمى هذه الطريقة بالتقسيم الترددي المزدوج (FDD: Frequency Division Duplex)، بعد ذلك تم تقسيم كل مجال من المجالين العالي والمنخفض إلى مجالات فرعية (Sub–bands)، وإعطاء أرقام محددة وثابتة لكل مجال فرعي. يوضح الشكل 6–8 تفاصيل عملية التقسيم عند التردد 18GHz:



الشكل 6–8 كيفية تقسيم التردد /18GHz/

18/11: 18 يعني التردد 18GHz ، 11 يعني رقم المجال الفرعي من المجال المنخفض من التردد 18 GHz.

18/15: 18 يعني التردد 18GHz ، 15 يعني رقم المجال الفرعي من المجال العالي من التردد 18 GHz.

وبناءاً عليه فإن كل راديو في كل طرف من الوصلة المكروية يجب أن يعمل على مجال فرعي محدد منخفض أو عالي (Low or High).

وهكذا فإن الراديو يحدد بمحددين أساسيين: التردد والمجال الترددي الفرعي (L or H) ويمكن ضبط تردد الوصلة على أي تردد ضمن المجال الفرعي لهذا الراديو.

2. التعديل (Modulation): وهو يعني طريقة تحميل الإشارة الرقمية على إشارة الـIF التماثلية. حيث يتم تغيير أحد محددات/خصائص الإشارة التماثلية (تردد، مطال، طور) تبعاً لإشارة المعلومات الرقمية. ومن أنواع التعديل الرقمي المستخدم في الوصلات المكروية:
   - التعديل بإزاحة الطور المتعامد (QPSK: Quadrature Phase Shift Keying).
   - التعديل المطالي المتعامد (QAM: Quadrature Amplitude Modulation)، وهذا النوع يتفرع عنه عدة أنواع تبعاً لعدد البتات ضمن الرمز الواحد (Symbol)، من هذه الأنواع: 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM, 256QAM,..... وللاستزادة أكثر في معرفة تفاصيل طرق التعديل يمكن الرجوع إلى أحد المراجع المعنية بذلك.
3. عرض الحزمة (Bandwidth): ومعناه الجزء من الطيف الكهرطيسي الذي تشغله إشارة الـRF عند إرسالها في الهواء بعد تحميلها بإشارة الـ IF المعدلة بإشارة المعلومات الرقمية. ويزيد عرض الحزمة أو ينقص تبعاً لسرعة نقل البيانات الرقمية وطريقة التعديل الرقمي المستخدم.

وكلما كان عرض الحزمة أكبر كلما كانت إشارة الـRF أكثر عرضة للضجيج والتشويش، وكان تخطيط الوصلات المكروية أصعب،

4. السعة (Capacity): وهي تعني سعة (سرعة نقل) الوصلة المكروية وتقاس عادة بـ Mbps، وهي تتبع بشكل أساسي لعرض الحزمة وطريقة التعديل الرقمي المستخدمة. والجدير بالذكر هنا أن عرض الحزمة وطريقة التعديل المستخدمة وسعة الوصلة هي عبارة عن ثلاثية، بمعنى أن أي تغيير في أحد عناصر الثلاثية سيؤدي بالضرورة إلى تغيير باقي عناصر الثلاثية، والجدول التالي يوضح العلاقة بين عناصر هذه الثلاثية لإحدى الشركات المصنعة للوصلة المكروية:

Modulation	Capacity in Mbps and Modulation Channel Bandwidth				
	7 MHz	14 MHz	28 MHz	40 MHz	56 MHz
16 QAM	21	43	• 91/94 • 182/188 w XPIC(1)	• 133 • 266 w XPIC(1)	• 189 • 378 w XPIC(1)
32 QAM			• 115 • 230 w XPIC(1)	• 167 • 334 w XPIC(1)	• 237 • 474 w XPIC(1)
64 QAM	31	63	• 134/138 • 268/276 w XPIC(1)	• 197 • 394 w XPIC(1)	• 285 • 570 w XPIC(1)
128 QAM	35	72	• 154/160 • 308/320 w XPIC(1)	• 229 • 458 w XPIC(1)	• 326 • 652 w XPIC(1)
256 QAM	41	81	• 172/180 • 344/360 w XPIC(1)	• 257 • 514 w XPIC(1)	• 369 • 738 w XPIC(1)
512 QAM			• 200 • 400 w XPIC(1)	• 286 • 572 w XPIC(1)	• 406 • 812 w XPIC(1)

الجدول 6-1 جدول السعات مقابل عرض المجال ونوع التعديل المستخدم

5. استطاعة الإرسال (Transmit power): وهي تعبر عن قوة/استطاعة إشارة الـRF المرسلة، وهذه الاستطاعة يتم توليدها في جهاز الراديو عن طريق دارة تضخيم. وقوة الإشارة هذه يجب ان تكون بالقدر الكافي لضمان وصول الإشارة إلى الطرف المقابل بمستوى مقبول يمكّن الراديو في الطرف المقابل من استخلاص الإشارة من الضجيج الذي تتعرض له في وسط الانتشار.

تقاس الاستطاعة بالواط (W) أو الميلي واط (mW)، لكن يعبر عنها رياضياً بالـdbW أو dbm، والعلاقات الرياضية التالية توضح العلاقة بين الـW و mW وبين dbW و dbm:

- $dB_w = P_{dbw} = 10 * log(P_w)$;
- $dB_m = P_{dbm} = 10 * log(P_{mw})$; $P_{mw} = \frac{P_w}{1000}$
- $dB_m = P_{dbm} = 10 * log\left(\frac{P_w}{1000}\right) = 10 * (log(P_w) - 3) = 10 * log(P_w) - 30$
- $dB_m = 10 * log(P_w) - 30 = dB_w - 30$
- $dB = dB_m - dB_m = dB_w - dB_w$

كما يجب أن لا ننس أن هذه استطاعة الإشارة الخارجة من الراديو تخضع لعملية تضخيم بسبب مرورها عبر الهوائي الموجه ذي الربح (Gain) نتيجة لتركيز الإشارة باتجاه واحد (باتجاه الطرف المقابل). بعد ذلك تتعرض هذه الإشارة إلى تخامد كبير نتيجة لانتشارها في الهواء لتصل إلى الطرف المقابل بقيمة صغيرة جداً، تتضخم هذه القيمة الصغيرة بفعل ربح الهوائي في الطرف المقابل ، تدخل بعدها إلى جهاز الراديو الذي سيعمل حينها كمستقبل. سيتم بحث هذا بالتفصيل عند حديثنا عن ميزانية الوصلة لاحقا.

4.2. عوامل اختيار الوصلة المكروية Microwave link selection factors:

بناءً على ما تم ذكره يختلف اختيار الوصلة المكروية تبعاً لعدة عوامل نذكر أهمها بشكل مختصر:

1. البيانات المراد نقلها:
   - نوع التغليف المستخدم (Encapsulation) مثال: SDH, PDH, Ethernet, ATM ....إلخ.
   - معدل النقل المطلوب : 2Mbps; 100Mbps

2. المسافة بين المحطتين (Distance): التي تتراوح ما بين عشرات الأمتار إلى عشرات الكيلومترات، وهذا الاختلاف بالمسافة يؤثر بشكل كبير في اختيار مواصفات الوصلة المكروية، فهي تؤثر على:
   - تردد الوصلة المكروية.
   - استطاعة الإرسال.
   - قطر الهوائيات المستخدمة.
   - نوع التعديل المناسب.

كما يبين الجدول التالي مدى تأثير المسافة من حيث طولها أو قصرها على المحددات المذكورة أعلاه:

المحدد	المسافات القصيرة	المسافات الطويلة
التردد (GHz)	80, 70, 38,.....	..., 15, 13, 11, 6,...
استطاعة الإرسال	منخفضة	عالية
قطر الهوائي المستخدم	20, 30, ...	..., 120, 180, 240,...
نوع التحديل المناسب	High QAM (1024 QAM)	16 QAM, CQPSK

الجدول 6-2 علاقة المسافة مع محددات الوصلة المكروية

3. تخطيط الوصلة المكروية Microwave link planning:

1.3. انتشار الموجة الراديوية (Radio Wave propagation) :

نبدأ بحثنا في تخطيط الوصلة بمقدمة نظرية نتكلم فيها عن العوامل المؤثرة في انتشار الموجة الراديوية ، وكذلك آلية انتشارها في الهواء.

1.1.3. العوامل الأساسية التي تؤثر في انتشار الأمواج الراديوية:

1. تأثير التردد (Frequency Effect):

كما ذكرنا سابقا الوصلات المكروية تعمل الوصلات المكروية على ترددات من 4GHz إلى 80GHz. تختلف الترددات عن بعضها البعض حسب درجة تخامدها عند انتشارها في الهواء، حيث تبدي الترددات المنخفضة تخامداً اكبر من الترددات العالية. وبالتالي نستخدم تددات منخفضة نحو 6GHz في حالة الحاجة لوصل نقطين بعيدتين جغرافيا (أكثر من 50 Km) والعكس بالعكس.

2. تأثير التضاريس (Terrain Effect): عندما تنتشر الأمواج الراديوية بالقرب من سطح الأرض؛ فإن خصائصها تحكم بالخصائص الكهربائية للأرض وبشكل التضاريس بما فيها المزروعات والأبنية.
3. التأثير الجوي (Tropospheric Effect): العناصر الغازية ودرجة حرارة الغلاف الجوي يؤثران على انتشار الموجة الراديوية وذلك بامتصاص طاقة الموجة، كما أن اختلاف معامل (قرينة) انكسار طبقات الجو تؤدي إلى انعكاس وانكسار وتبعثر الموجة الراديوية. وقيم هذه التأثيرات تختلف تبعاً للتردد.
4. تأثير تعدد المسارات (Multipath Effect): نتيجة لطبيعة الأرض التي تنتشر فيها الموجة الراديوية وكذلك تغيرات طبقات الجو من الليل إلى النهار ومن الصيف إلى الشتاء قد تتعرض الموجة الراديوية إلى انكسارات وانعكاسات عدة قد يصل عدد منها إلى الطرف المستقبل بأطوار ومطالات مختلفة مسببة خفوت (Fading) الإشارة المستقبلة، مما يؤدي إلى انخفاض جودة الخدمة. يظهر تأثير الخفوت بشكل واضح على الوصلات الطويلة (أكثر من 20 Km).

2.1.3. آليات الانتشار (Propagation Mechanisms):

نظراً لاختلاف الظروف الجوية وكذلك الطبيعة الجغرافية، فإن الأمواج المكروية يمكن أن تنتشر بأشكال مختلفة يمكن تصنيفها إلى خمس فئات:

1. الانتشار المباشر (Free Space Propagation/Line of sight): يعني انتشار الإشارة بشكل مباشر من المرسل باتجاه المستقبل بدون انكسارات ولا انعكاسات. تعتمد الوصلات المكروية على الإنتشار المباشر.
2. الانكسار (Refraction): وهذا يحدث في طبقات الجو نتيجة لعدم تجانسها ولعوامل عدة منها الرطوبة ودرجة الحرارة وكذلك الضغط، حيث يكون انتشار الإشارة في الجو أبطأ منها في الطبقات السفلى (Free space).
3. الانحراف (Diffraction): وهذا يحدث عندما تكون أبعاد أي عائق متموضع بين المرسل والمستقبل أكبر من طول موجة الإشارة المرسلة، مسبباً تخامداً للإشارة المستقبلة، لذا يجب عند دراسة الوصلة المكروية التأكد من عدم وجود أي عائق ضمن حزمة (Beam) الإشارة المرسلة أو بكلمة أخرى ضمن منطقة فرينل الأولى للإشارة المرسلة.
4. الانعكاس والتبعثر (Reflection and Scattering): وهذا يعتمد على شكل السطح العاكس وأبعاده وكذلك معامل الناقلية وأيضاً معامل الانعكاس للسطح العاكس.
5. الامتصاص (Absorption): كما نعرف أن الهواء مؤلف بشكل رئيسي من عنصرين أساسيين وهما النتروجين والأوكسجين وبخار الماء!، لحسن الحظ النتروجين لا يُظهر أي تأثير على انتشار الأمواج الراديوية، وبالتالي فإن التخامد الحاصل نتيجة الامتصاص يكون بسبب الأوكسجين الذي يُظهر تأثيراً كبيراً على المجال الترددي الممتد بين50GHz و70GHz مع بلوغه الذروة عند التردد 60GHz. إن الامتصاص من العوامل الرئيسية المؤثرة على الوصلات المكروية، لذلك لا نستخدم الوصلات العاملة على المجال الترددي الممتد بين50GHz و70GHz والذي يعرف ب V-Band إلا للمسافات القصيرة جدا من مرتبة بضعة عشرات الى مئات الأمتار.

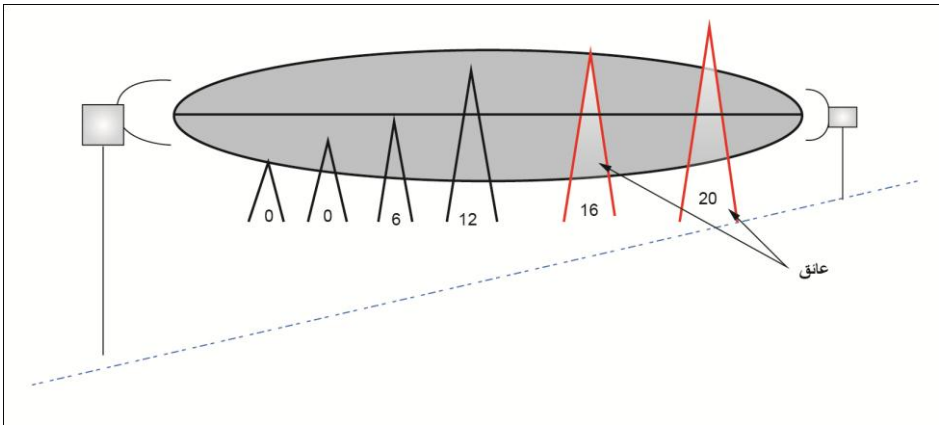
2.3. تخطيط المسار (Path Planning):

إن الهدف من تخطيط المسار للوصلة المكروية هو تأمين بعض المعلومات الهامة المتعلقة بتضاريس الأرض وكذلك مناخ المنطقة الممتدة بين طرفي الاتصال، وضمان خط نظر واضح بين الطرفين مع عدم وجود عوائق من أنواع مختلفة ضمن حزمة الانتشار (مثل تلال، أشجار، أبنية، خزان مياه، .....إلخ).

ولتأمين ذلك يتم إجراء عملية مسح ميداني للمنطقة بين طرفي الاتصال، باستخدام أدوات ومعدات قياس لقراءة معطيات المنطقة بشكل دقيق، يتم خلال عملية المسح التأكد من الأمور التالية:

1.2.3. خط النظر (Line of Sight):

من أهم شروط عمل الوصلات المكروية وجود خط نظر واضح بين المحطتين المراد وصلهما مع بعضهما البعض، وأن لا يعترض خط النظر أي عائق، حيث أن اعتراض خط النظر بعائق ما قد يؤثر على استقرار الوصلة المكروية ، وفي بعض الأحيان قد يقطع الاتصال بين المحطتين ، وهذا يتبع إلى أبعاد العائق وكذلك طبيعة المواد المصنوع منها (انظر الشكل 6-9).



الشكل 6-9 خط النظر

كما يؤثر الغلاف الجوي على انتشار الأمواج الراديوية بأشكال مختلفة، حيث تنتشر الموجة الراديوية بسرعات مختلفة في أجزاء الغلاف الجوية تبعاً لتغير الخصائص الكهربائية لهذه الأجزاء مسببة ما يسمى بالانكسار، وهذا الانكسار يختلف مقداره تبعاً لاختلاف قرائن الانكسار لطبقات الجو مما يسبب انحناء الموجة الردايوية باتجاه الأسفل. ما يجعل مسار الموجة الراديوية نتيجة لهذا الانحناء أطول من المسار المباشر بين الطرفين، وهذا ما يسمى بخط النظر الضوئي الراديوي ، وهو مختلف عن خط النظر الجغرافي كما أسلفنا (الشكل6-10).

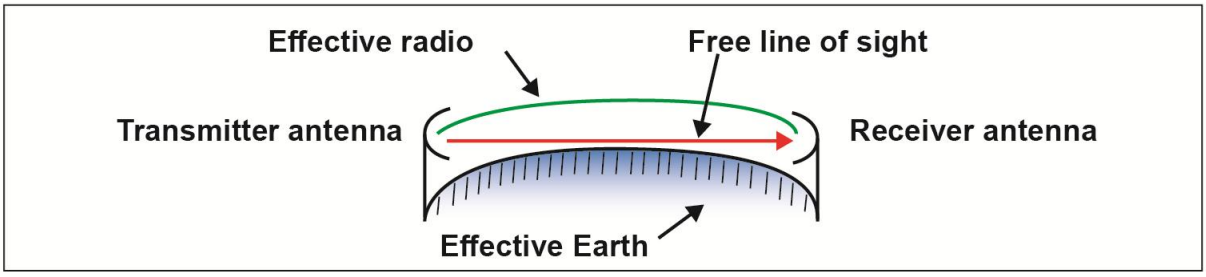
إن نسبة نصف قطر انحناء خط النظر الضوئي إلى نصف قطر الأرض الحقيقي يعبر عنه بالمعامل K:

$$K = \frac{Re}{R}$$

Re: نصف قطر الأرض الراديوي الضوئي : وهذه القيمة تختلف باختلاف الخصائص الكهربائية لطبقات الجو، لذا فهي تختلف بين الليل والنهار وكذلك بين الصيف والشتاء.

R : نصف قطر الأرض الحقيقي 6370 km.

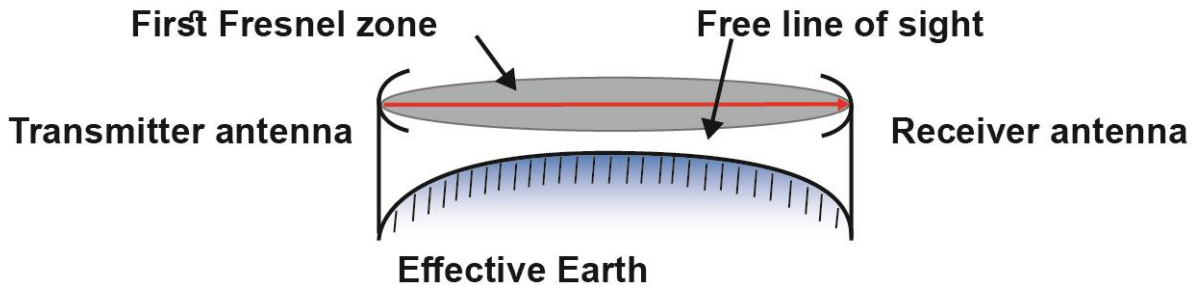
K : معامل نصف قطر الأرض الفعال.



الشكل 6-10 خط النظر الراديوي وخط النظر الجغرافي

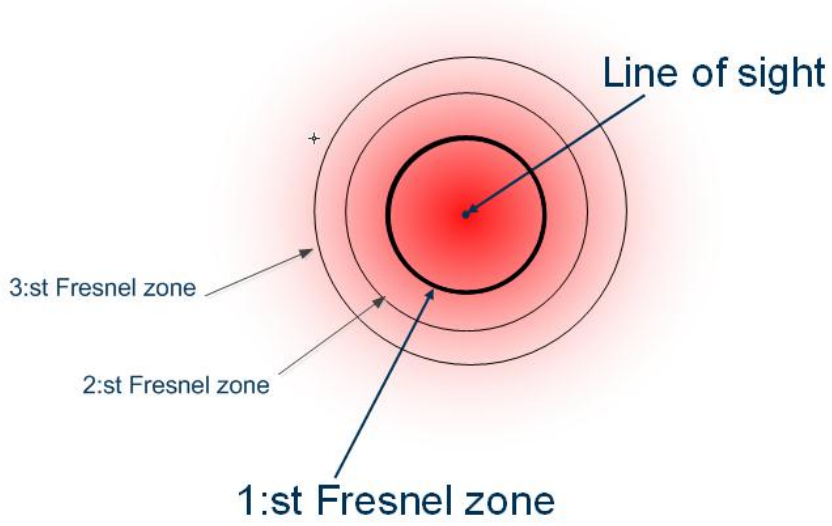
2.2.3. وضوح خط النظر (Clearance):

قد يتوافر بين طرفي الاتصال خط نظر، لكن اقتراب العوائق بقدر كافٍ من خط النظر المباشر قد تتسبب بتخامد الإشارة المرسلة، لذا خلال عملية المسح الميداني يجب ضمان وضوح خط النظر مع عدم وجود أية عوائق قريبة من مركز خط النظر بين طرفي الاتصال.وتسمى المنطقة المحيطة بمركز خط النظر والتي يجب ضمان خلوها من العوائق التي قد تتسبب في تخامد الإشارة المرسلة بمنطقة فرينيل الأولى (first Fresnel Zone)، انظر الشكل 6-11



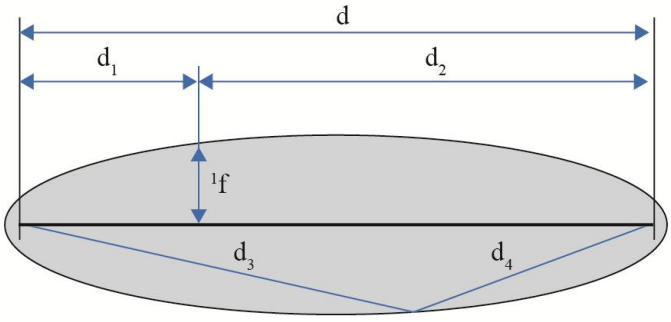
الشكل 6-11 منطقة فرنيل

كما يشار إلى منطقة فرينيل بمنطقة فرينيل الأولى والثانية والثالثة ... عمليا يهمنا ضمان خلو منطقة فرينيل الأولى من أية عوائق محتملة. يمثل الشكل 6-12مقطعاً عرضياً لحزمة الانتشار التي تشكل إهليلجاً بين طرفي الاتصال وذلك لتبيان منطقة فرينيل الأولى والثانية والثالثة.



الشكل 6-12 منطقة فرنيل الأولى والثانية والثالثة

والجدير بالذكر أن قطر منطقة فرينيل الأولى تنقص بازدياد التردد وتزداد بانخفاضه، كما تحسب منطقة فرينيل الأولى وفق المعادلة التالية (أنظر الشكل6-13):



الشكل 6-13

$$r_F = 17.3\sqrt{\frac{d_1.d_2}{f.d}}$$

r_F: نصف قطر منطقة فرينيل الأولى(م).

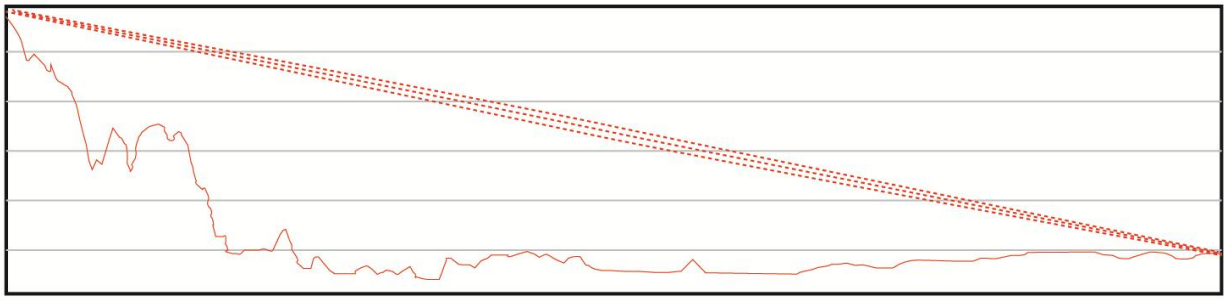
d: المسافة بين طرفي الاتصال(كم).

F: التردد المستخدم في الوصلة المكروية GHz.

d_1, d_2: بعد النقطة المدروسة عن طرفي الاتصال (م).

3.3. رسم جانبي / مسقط المسار (Path Profile):

وهو يعبر عن شكل تضاريس الأرض ارتفاعاً وانخفاضاً بين طرفي الاتصال ، وهذا يفيدنا في معرفة وجود خط نظر واضح بين الطرفين يأخذ بعين الاعتبار نصف قطر الأرض الفعال، كما يبين وضع منطقة فرينيل الأولى من حيث خلوها من العوائق (انظر الشكل 6-14).



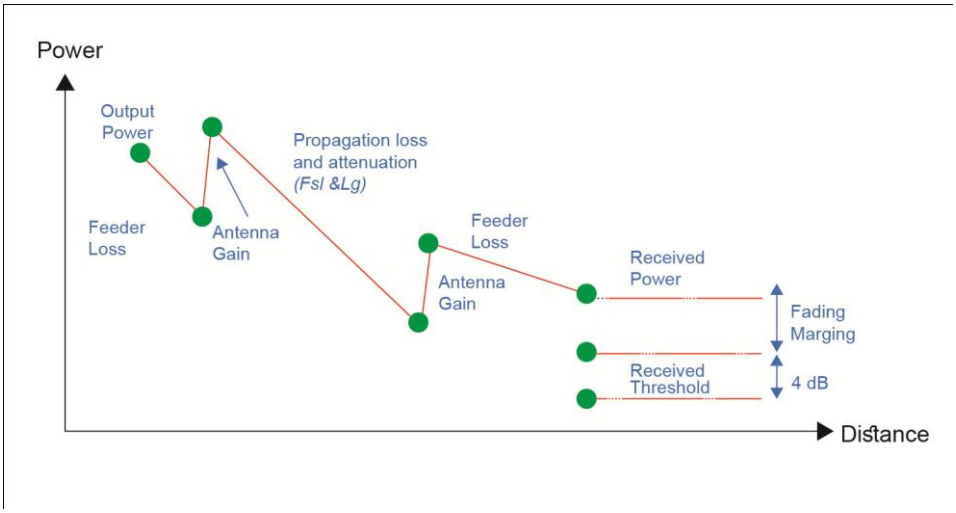
الشكل 6-14 رسم جانبي / مسقط المسار لوصلة ميكروية

قديما كانت عملية الحصول على ملف المسار شديدة التعقيد وتستلزم الرجوع لخرائط طبوغرافية وحتى اجراء مسح طبوغرافي.
أما حاليا فيمكن الحصول على ملف المسار بكل سهولة بإعتماد برمجيات تعتمد على خرائط رقمية.

4.3. ميزانية الوصلة المكروية (Microwave link budget):

إن هدف حساب ميزانية الوصلة المكروية هو حساب استطاعة الإرسال اللازمة (P_{out}) للحصول على استطاعة إشارة مستقبلة (P_{in}) يستطيع المستقبل استقبالها (أي فوق العتبه التي يستطيع المستقبل التحسس لها) بحيث نضمن معدل خطأ مقبول. عادة ما يكون معدل الخطأ 10^{-3} – 10^{-6} حسب حساسية التطبيق. مثلا نستخدم 10^{-3} في حالة إرسال إشارة صوت والتي تتقبل معدل خطأ عال نسبيا مقارنة بإشارة المعطيات والتي تحتاج معدل خطأ أقل عادة ما يكون من مرتبة 10^{-6}.

للحصول على إستطاعة الإرسال اللازمة يجب الأخذ بالاعتبار كل عمليات التضخيم والتخامد التي قد تطرأ على استطاعة الإشارة المرسلة بين خرج المرسل ودخل المستقبل في الطرف المقابل، وهذا يمكن تمثيله بالشكل 6–15:



الشكل 6–15 ميزانية الوصلة

بناءاً على الشكل أعلاه؛ يمكن حساب استطاعة الإشارة المستقبلة من خلال المعادلة التالية:

$$P_{in} = P_{Out} - L_t + G_t - FSL - L_g - G_R - L_R$$

حيث:

- P_{in}: P_R استطاعة الإشارة المستقبلة (dBm) وتقاس عادة عند دخل المستقبل بعد الكبل والهوائي. وهي قيمة متغيرة تبعاً لباقي المحددات.
- P_{out}: P_T استطاعة الإشارة المرسلة (dBm) وتقاس عادة عند خرج المرسل (المضخم) قبل الكبل والهوائي. وهي قيمة متغيرة ضمن مجال الاستطاعة المحدد من قبل الشركة الصانعة، وعادة ما يتراوح بين : min : −5 dBm → max : 30 dBm
- L_t: تخامد الكبل واكسسوارات هوائي الإرسال (dB)، وهي قيمة محددة وثابتة تبعاً للشركة الصانعة للاكسسوارات ولطول الكبل.
- L_R: تخامد الكبل واكسسوارات هوائي الإستقبال (dB)، وهي قيمة محددة وثابتة تبعاً للشركة الصانعة للاكسسوارات ولطول الكبل.
- G_t: ربح هوائي الإرسال (dbi) باتجاه الاستقبال، وهي قيمة محددة وثابتة تبعاً للشركة الصانعة للهوائي.

- G_R: ربح هوائي الإستقبال (dbi) باتجاه الإرسال، وهي قيمة محددة وثابتة تبعاً للشركة الصانعة للهوائي.
- FSL: (Free Space Loss)، تعبر عن فقد المسار الحر، وهي قيمة متغيرة تبعاً للمسافة بين الطرفين، وكذلك التردد المستخدم في الوصلة المكروية.
- L_g: الفقد الناتج عن امتصاص الغاز (Absorption) والمطر. ويشمل الفقد الناتج عن الهواء، الغيوم، الضباب، المطر، الثلج وكلها تتعلق بالتردد والمنطقة الجغرافية. بالنسبة للمطر وهو الأكثر تأثيراً، تم تقسيم العالم لـ 16 مناطقة حسب الغزارة المطرية. تقع الجمهورية العربية السورية ضمن المنطقة (E & K).

إن قيمة الإشارة المستقبلة التي تم حسابها عن طريق ميزانية الوصلة لا تأخذ الخفوت بعين الاعتبار، لكن عملياً قيمة الإشارة المستقبلة تتغير مع الزمن بسبب الخفوت الذي يختلف تأثيره باختلاف أحوال الطقس والمناخ وكذلك تضاريس المنطقة، فإن كان الخفوت كبيراً، فمن المحتمل أن يؤدي ذلك إلى فقدان الاتصال بين طرفي الاتصال، لذلك يجب مراعاة ذلك عند دراسة ميزانية الوصلة، وترك هامش معتبر بين قيمة الإشارة المستقبلة وبين العتبة (Threshold) التي يكون المستقبل بعدها غيرَ قادرٍ على استخلاص الإشارة الأصلية من بين الإشارات المستقبلة، ويسمى هذا الهامش بهامش الخفوت (Fade Margin "FM")، وعملياً تختار قيمته بين35−45dB حسب حساسية الوصلة.

عملياً إن المجال المقبول لاستطاعة الاشارة المستقبلة في منطقتنا يكون عادةً بين ($-30\ dB_m \rightarrow -45\ dB_m$) وتجب زيادته في المناطق المطيرة كإفريقيا مثلاً وخاصة للوصلات الطويلة.

5.3. التباين (Diversity):

قد تتعرض الإشارة المرسلة اثناء انتشارها بين المرسل والمستقبل إلى العديد من الانعكاسات (بسبب الاسطح المستوية، الأبنية، تلال، بحيرات، وأحياناً عن طبقات الجو)، مسببة تعدد في المسارات بحيث يصل بعضها إلى طرف المستقبل بأطوار مختلفة وينتج عن هذا ظاهرة الخفوت آنفة الذكر، ويظهر هذا الأمر جلياً عند استخدام وصلات مكروية طويلة، وهذا الخفوت قد يستمر لفترات طويلة إن كان المسبب للخفوت ثابت لا يتحرك (مثل: المسطحات المائية، الأبنية)، لذا نلجأ في هذه الحالات إلى ما يسمى التباين (Diversity)، هناك أنواع للتباين:

- التباين الفراغي/المكانيSpace Diversity: وفيه يتم العمل على نفس التردد ويتم استخدام طرفي استقبال في آن واحد مع وجود مسافة مدروسة بحيث تكون تأثير تعدد المسارات والخفوت على أحد طرفي الاستقبال في أوجه، بينما على الطرف الأخر في أقله، وبالتالي يتم اعتماد الإشارة الأقوى في طرف الاستقبال.
- التباين الترددي Frequency Diversity: الذي يعني أن طرفي الاستقبال لا يتم فصلهما بمسافة وإنما يتم جعل كل منهما يعمل على تردد مختلف، في هذه النوع من التباين يتم إرسالالبيانات على ترددين مختلفين بحيث إن تعرض أحد الترددين للتشويش يتم اعتماد الإشارة ذات الجودة الأعلى.

سيتم التطرق لكلا النوعين بمزيد من التفصيل في بحث حماية الوصلة.

6.3. التواجدية (Availability):

قد تتعرض الإشارة المرسلة كما ذكرنا سابقاً إلى التشويش أو الخفوت أو الأعطال، مما يؤدي إلى توقف استقبال الإشارة المرسلة لبعض الثواني وأحياناً قد تستمر لبعض الدقائق والساعات، وهذا يؤثر سلباً على تواجدية الإشارة والتي تعتبر من أهم محددات الأداء (Key Performance Indicators "KPI") للوصلة المكروية. لذا لا بد من توفير ظروف انتشار جيدة تضمن استمرار استقبال الإشارة المرسلة، من هذه الظروف:

- التباين الفراغي (Space Diversity).
- التباين الترددي (Frequency Diversity).
- تأمين ظروف حماية على مستوى المسار Path أو التجهيزات Hardware.
- دراسة ميزانية الوصلة مع مراعاة هامش خفوت مقبول.

7.3. تخطيط التردد (Frequency Planning):

يتم اختيار الترددات بين الوصلات تبعاً للمسافة بين طرفي الاتصال، وكذلك بحيث يكون التشويش أقل ما يمكن للحصول على تواجدية عالية للوصلات المكروية. حيث تستخدم الترددات العالية 38GHz, 42GHz, 60GHz, 70-80GHz للمسافات القصيرة، بينما الترددات المنخفضة للمسافات الطويلة.

بسبب ندرة الترددات يعاد استخدام التردد في الوصلات المكروية، إن الهدف الرئيسي لتخطيط التردد هو ضمان عدم وجود تداخل (Interference) من وصلات مجاورة. إن عملية تخطيط التردد معقدة ولكنها أصبحت سهلة نسبياً بوجود البرمجيات والخرائط الرقمية. سنكتفي هنا بذكر قواعد عامة:

- أعد استخدام التردد ما أمكن.
- استخدم هوائيات ذات توجيهية عالية وفصوص جانبية صغيرة ما أمكن. بالطبع هذا سيكون على حساب سعر أكبر للهوائي.
- حاول تركيب الهوائيات على أخفض ارتفاع ممكن.
- حاول خفض إستطاعة الإرسال ما أمكن مع ضمان تحقيق المستوى المطلوب لميزانية الوصلة.
- ان كان هناك ضرورة لاستطاعة استقبال أعلى فيمكن بزيادة استطاعة الإرسال أو قطر الهوائيات. من الأفضل دائما الإعتماد على هوائيات أكبر إن سمحت البنية الإنشائية بذلك حيث أن الهوائيات الأكبر تمتلك عرض فص رئيسي أضيق (توجيهية عالية) مما يقلل التشويش على أطراف الوصلة.

4. حماية الوصلة المكروية (Microwave link Protection):

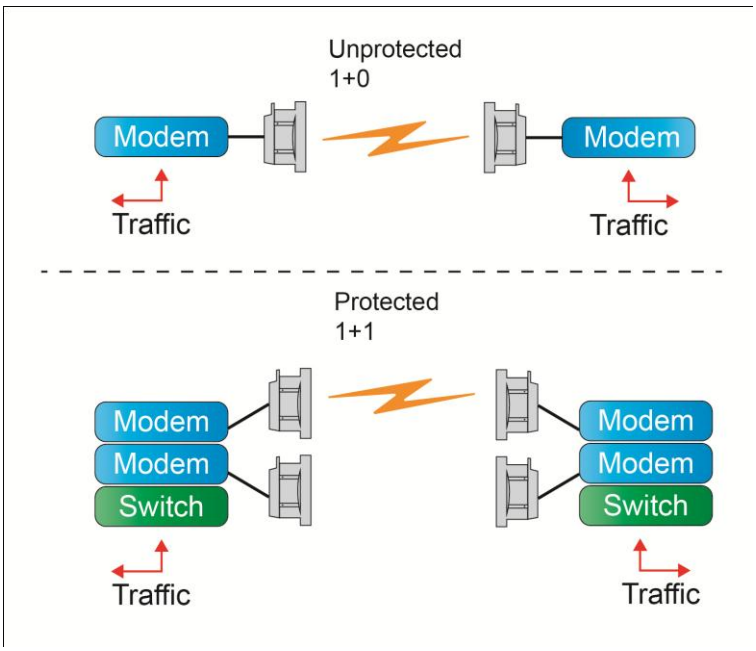
قد تكون البيانات المراد نقلها ضمن الوصلة المكروية من الأهمية بمكان، إما من حيث الأهمية (Criticality) (مثلاً : البيانات البنكية، معلومات التحكم، معلومات عسكرية، ...)، أو من حيث حجم البيانات (مثلاً: مرور عدد كبير من محطات الخدمة ضمن وصلة مكروية محددة)، في هذه الحالات لا بد من تأمين شروط حماية للوصلة المكروية لتجنب احتمالية حدوث أي أمر طارئ ممكن أن يؤثر على نقل البيانات.

ومن العوامل التي يمكن أن تؤثر على نقل البيانات:

1. الأعطال (Hardware Faults): حيث يمكن للأجهزة الالكترونية أن تتعطل في أي وقت نتيجة لأسباب تتعلق بالكهرباء أو خصائص البيئة المحيطة (Environment parameters) أو التحميل الزائد (Overload).
2. التشويش (Interference): من جهات غير مرخص لها باستخدام الترددات المستخدمة في الوصلات المكروية، أو التشويش المحتمل من وصلات مكروية مجاورة عاملة على ترددات متداخلة أو متجاورة.
3. اعتراض خط النظر بعائق ما (Line of Sight blocking): كظهور عائق بين طرفي الوصلة المكروية (مثل بناء، خزان مياه،....إلخ).
4. الخفوت بسبب تعدد المسارات (Multi-Path Fading).

1.4. الحماية باستحدام تقنية أهبة الاستعداد (Hot Stand-by HSB):

للحماية من الأعطال نقوم ببساطة بمضاعفة التجهيزات الأكثر عرضة للعطل (الالكترونية مثلاً)، مثل الراديو والمعدل، حيث تعمل هذه الأجزاء الإضافية كأجزاء حماية للأجزاء الأساسية. تبقى أجهزة الحماية هذه في حالة استعداد تام للعمل في حال تعطل الأجزاء الأساسية وهذا ما يسمى بـ أهبة الاستعداد HSB: Hot Stand By ويشار إليه بـ (HSB 1+1)، في هذه الحالة تعمل الوصلة الأساسية وكأن لها وصلة أخرى مستعدة دائماً للعمل.الشكل 6-16 يبين الفرق بين الوصلة المكروية بدون حماية وبين الوصلة المكروية مع وجود الحماية:

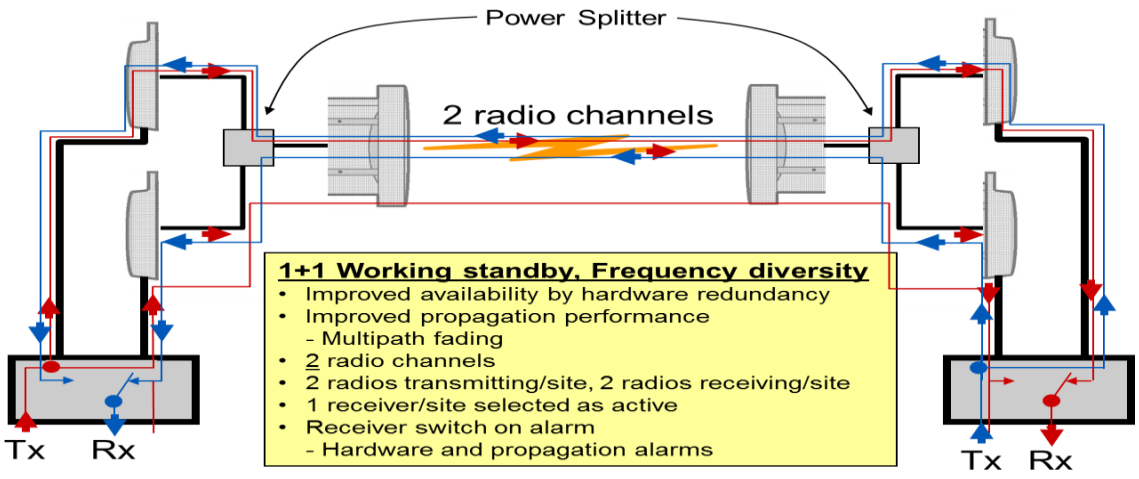


الشكل 6-16 الفرق بين 0+1 وHSB

2.4. التباين الترددي (Frequency Diversity "FD"):

يفيد للحماية من التشويش والخفوت بسبب تعدد المسارات وحتى من الأعطال. حيث يتم إرسال البيانات باستخدام ترددين مختلفين بفاصل ترددي محدد مع إعطاء أفضلية عند الاستقبال للإشارة ذات الجودة الأفضل (أي استقبال التردد الأنظف)، تسمى هذه الطريقة بالتباين الترددي (FD: Frequency Diversity). فعند حصول تشويش أو خفوت على التردد الأول يزيد ما يسمى معدل الخطأ، ونتيجة لذلك يتم في الطرف المقابل الانتقال إلى التردد الثاني للاستقبال، يشار لطريقة الحماية هذه بـ (1+1 FD). إن هذه الطريقة هي من أفضل الطرق ولكن مشكلتها الرئيسية هي ضعف الفعالية الطيفية للوصلة Spectral efficiency بسبب استخدام قناتين تحملان نفس البيانات.

يوضح الحماية بطريقة التباين الترددي: الشكل 6-17

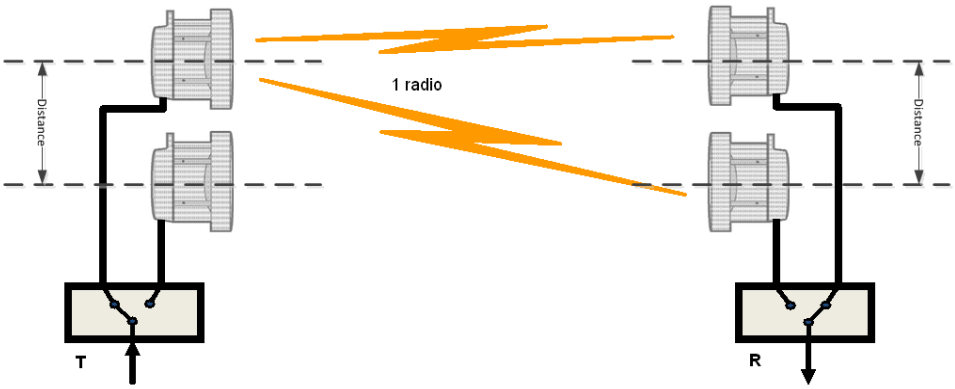


الشكل 6-17 التباين الترددي

3.4. التباين الفراغي (Space Diversity "SD")

يفيد للحماية من الخفوت بسبب تعدد المسارات ومن الأعطال. كما نعلم أن طبيعة الأرض بين طرفي الوصلة المكروية تختلف من منطقة لأخرى (سهول، جبال، أنهار، بحر، منطقة ذات أبنية....إلخ) ، وهذا الاختلاف ينتج عنه اختلاف في انعكاس الإشارة الكهرطيسية الواردة إليها، فهناك اناطق التي تعكس الإشارة بالكامل تقريباً، ومناطق تعكس جزء من الإشارة وتمتص الجزء الباقي وأخرى تبعثر الإشارة نتيجة لطبيعة سطح المنطقة العاكسة، ينتج عن ذلك مسارات متعددة تصل للطرف المستقبل بأطوار مختلفة قد يسبب بعض التخامد/الخفوت الآني للإشارة المباشرة.

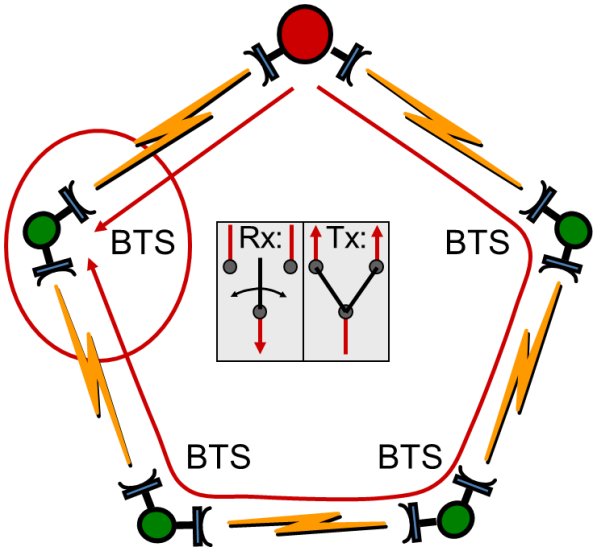
تعتمد هذه التقنية على طرفي استقبال في آن واحد مع وجود مسافة مدروسة بحيث يكون تأثير تعدد المسارات والخفوت على أحد طرفي الاستقبال في أوجه، بينما على الطرف الأخر في أقله، وبالتالي يتم اعتماد الإشارة الأقوى في طرف الاستقبال. يوضح الشكل 6-18 طريقة عمل هذه التقنية:



الشكل 6-18 التباين الفراغي

4.4. الحماية الحلقية (Ring Protection):

يفيد للحماية من التشويش والخفوت بسبب تعدد المسارات ومن الأعطال وحتى للحماية من ظهور عائق بين طرفي الوصلة المكروية (مثل بناء، خزان مياه، لوحات إعلانية.....إلخ)، وعادة ما تشترك به عدة وصلات. حيث يتم وصل الطرف البعيد لآخر وصلة مع الطرف القريب لأول وصلة عبر مسار جديد وذلك لضمان استمرار نقل البينات من دون أي انقطاع (الشكل 6-19).



الشكل 6-19 الحماية الحلقية

5. لمحة عملية Practical glance:

نستعرض فيما يلي أهم مصنعي الوصلات المكروية، وكذلك أهم البرمجيات المستخدمة سواء لتخطيط الوصلات أو لمراقبتها والتحكم بها:

1.5. شركة إريكسون Ericsson:

تعتبر شركة إريكسون من الشركات التي لها تاريخ طويل في عالم الاتصالات، حيث كانت بداياتها عام 1878، بدأت بإنتاج الوصلات المكروية عام 1980، نذكر أهمها:

- الوصلات العاملة على نظام الـ PDH بسعات منخفضة (Mini-Link E: 2E1s, $4E_1$, $8E_1$,$16E_1$,$32E_1$)،
- الوصلات العاملة على نظام الـ SDH (Mini-Link HC: High Capacity 1-STM1).
- الوصلات العاملة على نظام الـ Ethernet أو الهجينة والتي تعمل على أكثر من بروتوكول (Mini-Link TN, PT, SP)،

كما قدمت شركة أريكسون أدوات برمجية بسيطة لحساب ميزانية الوصلة المكروية بحد ذاتها منها الأداة Mini-Link Perf لحساب استطاعة الاستقبال وكذلك هامش الخفوت وغيرها من المحددات الهامة للوصلة المكروية.

قدمت أيضاً شركة إريكسون أدوات برمجية خاصة بها لمراقبة أداء الوصلات المكروية وكذلك التحكم بها عن بعد، نذكر منها:

- MLC Mini Link Craft: يستخدم للتحكم بالوصلات المكروية عن بعد.
- SO-EM Sevice on Element Manager: يستخدم لقراءة أداء الوصلات المكروية، وكذلك لحفظ نسخ احتياطية للإعدادت والتجهيزات والإنذارات لكل وصلة مكروية على حدا.
- ENIQ Ericsson Netwrok Intelligence Quotient: وهو عبارة عن نظام لإعداد تقارير عن حالة الشبكة ككل بالإضافة إلى بعض الوظائف مثل تحليل الشبكة وتبيان مؤشرات الأداء (KPI) وإرسال رسائل قصيرة عند تجاوز عتبة معينة وغيرها من الوظائف الكثيرة التي تفيد في تحليل الشبكة الخلوية.

2.5. شركة هواوي Huawei:

تعتبر من الشركات الرائدة في عالم الاتصالات، بدأت مؤخراً بانتاج الوصلات المكروية، لكنها وبزمن بسيط أصبحت تضاهي الشركات العالمية بالنسبة لانتاج الوصلات المكروية من حيث النوعية والجودة والمواصفات.

من أشهر الوصلات المكروية التي تنتجها هذه الشركة عائلة OPTIX، التي تعتمد تقنيات PDH و SDH و Ethernet.

لم يشتهر عن شركة هواوي أنها أنتجت برامج لتخطيط الوصلات المكروية، أما بالنسبة لبرامج التحكم والمراقبة فقد قدمت شركة هواوي برنامج U2000 للتحكم بشكل كامل بالوصلات المكروية عن بعد مع إمكانية قراءة محددات الأداء وكذلك حفظ/توليد نسخ احتياطية للإعدادات والمحددات، مع إمكانية تحديث الوصلات المكروية أيضاً عن بعد.

3.5. شركات أخرى:

مثل شركة NEC اليابانية، وشركة Aviat الأميركية. أما بالنسبة للبرمجيات فقد ظهرت عدة شركات تخصصت ببرمجيات تخطيط الوصلات المكروية فقط، نذكر بعضاً من هذه البرمجيات على سبيل المثال لا الحصر:

- Pathloss
- Aircom Enterprise “CONNECT”
- Atoll
- Mentum Ellipse

أسئلة وتمارين:

(لكل سؤال 4 علامات غير قابلة للتجزئة وبالتالي تكون العلامة الكلية من 20).

1. الربط المكروي يعتبر من إحدى وسائل الربط اللاسلكي والذي يعتمد على انتشار الضوء في الهواء :
   a. صح.
   b. خطأ.

2. يتأثر الربط المكروي بما يلي:
   a. البعد بين المحطتين المراد وصلهما.
   b. كمية البيانات المراد نقلها.
   c. عوامل الجو.
   d. وجود خط نظر بين المحطتين.
   e. جميع ما ذكر.

3. من عوامل اختيار الوصلة المكروية التردد، قطر الهوائي:
   a. صح
   b. خطأ

4. طرق حماية الوصلة المكروية:
   a. Hot Sand-By
   b. Space Diversity
   c. Frequency Diversity
   d. Ring Topology
   e. جميع ما ذكر.

5. ميزانية الوصلة تعني تحديد استطاعة الاستقبال المقبولة:
   a. صح.
   b. خطأ.

رقم السؤال	الجواب
1	b
2	e
3	a
4	e
5	a

الفصل السابع
الوصلات الضوئية (الليزرية) Free Space Optic

1. مقدمة

تعتبر الوصلات الضوئية إحدى تقنيات التراسل اللاسلكية والتي بدأت تنتشر مؤخراً في شبكات النقل، تعتمد في عملها على انتشار الضوء بين المرسل والمستقبل، حيث تتطلب وجود خط نظر (Line of sight) بين طرفي الاتصال، يمتد طول موجة الضوء المستخدم في هذه الوصلات بين 750 nm و1550nm (أشعة تحت الحمراء).

عادة ما تستخدم الوصلات الضوئية عندما يتعذر الربط السلكي بواسطة الكوابل (النحاسية او الضوئية)، أو اللاسلكية كالوصلة المكروية.

تدعم هذه التقنية معدلات نقل تتجاوز 1Gbps، كما تعمل على مسافات قد تصل إلى 5 km.

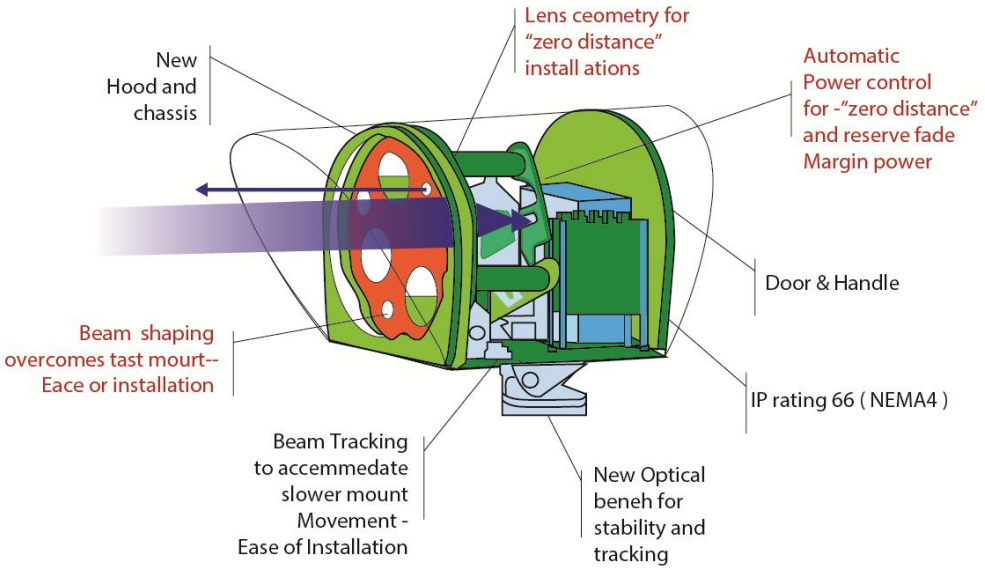
2. مزايا وعيوب الوصلات الضوئية

- المزايا Advantages:
  - سهولة التركيب مقارنة بالوصلات المكروية.
  - العمل على ترددات لا تحتاج إلى تراخيص على عكس ترددات الوصلات المكروية.
  - دعم معدلات نقل تتجاوز 1Gbps.
  - مناعة عالية للتداخل (Interference)، حيث لا يمكن حدوث تداخل نظرياً حتى لو تم تركيب وصلتين متجاورتين وبنفس الاتجاه، لأن شعاع الضوء ضيق الحزمة جداً (ينتشر بخط نظر مستقيم).
- العيوب Disadvantages:
  - يعاني من الخفوت بسبب الامتصاص عند انتشاره في الهواء.
  - يتأثر انتشار الضوء كثيراً بالعوامل المناخية (الضباب، الأمطار، الثلوج، الدخان، العوائق، الغيوم المنخفضة....).
  - يتأثر بأشعة الشمس المنعكسة عن سطح الأرض.
  - تواجدية متدنية (Low availability) نسبياً لا يمكن مقارنتها بتواجدية الوصلات المكروية.

3. البنية الفيزيائية للوصلات الضوئية

تتألف تقنية الإرسال باستخدام الفضاء الضوئي الحر من الأقسام التالية (الشكل 7-1):

- مرسل ومستقبل ضوئي ليزري في كل طرف.
- عدسات لإرسال الضوء في الفضاء ليتم استقباله بواسطة عدسات أخرى في الطرف المقابل، ترتبطان بمستقبل ضوئي عالي الحساسية.

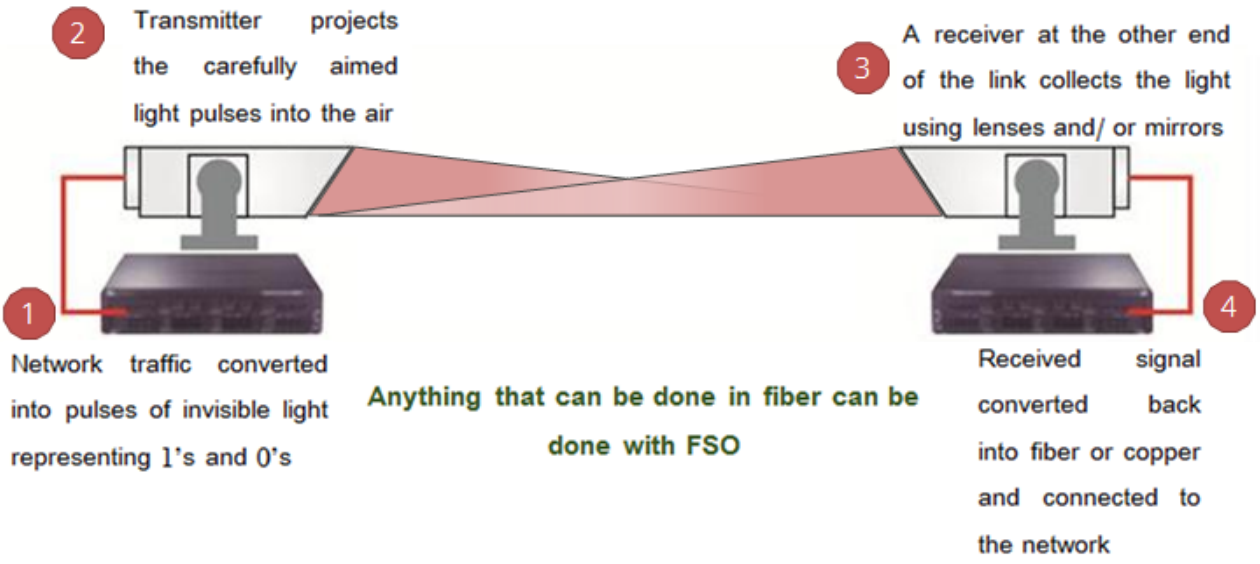


الشكل 7-1: البنية العامة لمرسل/ مستقبل ليزري

4. آلية عمل للوصلات الضوئية

يتم إرسال البيانات باستخدام تقنية الفضاء الضوئي الحر وفق المراحل التالية (انظر الشكل 7-2):

- بداية يتم تحويل إشارة البيانات الرقمية إلى نبضات ضوئية غير مرئية تمثل واحدات وأصفار.
- المرسل الضوئي يبث هذه النبضات الضوئية في الفضاء عبر العدسات.
- في الطرف المقابل يتم تجميع الضوء المرسل من الطرف الأول باستخدام العدسات أو المرايا.
- يتم تحويل الضوء المستقبل إلى إشارات رقمية كهربائية واحدات وأصفار ممثلة إشارة البيانات.
- يتم وصل هذة البيانات إلى كبل ضوئي أو نحاسي ليتم التعامل معها بعد ذلك عن منفذ مناسب (E1, STM-1, FE, GE).



الشكل 7-2: مراحل إرسال البيانات باستخدام الوصلة الليزرية

5. لمحة عملية

أهم مصنعي الوصلات الضوئية:

- شركة Artolink – روسيا: أشهر منتجاتها (10 Gbit/s ARTOLINK model) الذي يوفر سعة نقل 10 Gbps

الشكل 7-3

- شركة FSONA – كندا: أشهر منتجاتها (SONAbeam ® 2500-Z) الذي يوفر سعة نقل 2.5 Gbps

الشكل 7-4

- شركة PAV – انكلترا
- شركة Lightpoint- الولايات المتحدة الأمريكية

أسئلة وتمارين

(لكل سؤال 4 علامات غير قابلة للتجزئة وبالتالي تكون العلامة الكلية من 20).

1. الميزة الهامة في الوصلات الضوئية استخدامها للمسافات البعيدة من رتبة 10 كم وما فوق:
   a. صح
   b. خطأ

2. تستخدم الوصلات الضوئية الألياف الضوئية في عملية نقل البيانات.
   a. صح
   b. خطأ

3. تتأثر الوصلات الضوئية بالعوامل الجوية التالية:
   a. الدخان
   b. أشعة الشمس
   c. الضباب
   d. كل ماذكر

4. تمتاز الوصلات الضوئية بضيق عرض حزمة الإشعاع:
   a. صح
   b. خطأ

5. من مزايا الوصلات الضوئية دعمها للمسافات البعيدة جداً لأنها تعتمدعلى الضوء في نقلها للبيانات.
   a. صح
   b. خطأ

رقم السؤال	الجواب
1	b
2	b
3	d
4	a
5	b

الفصل الثامن
الاتصالات الساتلية
Satellite Communication

1.مقدمة (Introduction)

تعتبر الاتصالات عبر السواتل الصنعية (السواتل جمع ساتل) من أهم تقنيات التراسل وخصوصاً عند الحاجة للتراسل بين نقاط متموضعة على مسافات متباعدة جداً. تعتمد هذه التقنية على وضع جهاز في مدار فضائي حول الكرة الأرضية يعرف بالساتل الصنعي (الساتل) والذي بدوره يتصل بمحطة أو عدة محطات أرضية موزعة في أماكن متباعدة جغرافياً.

نبدأ بالتقديم للاتصالات عبر السواتل الصنعية حيث نتحدث عن مزاياها ومداراتها والترددات المستخدمة، ثم ننتقل للحديث عن التجهيزات وبالتحديد أنواع السواتل الصنعية والمحطات الأرضية، ونختم الموضوع بلمحة عن ميزانية الوصلة للاتصالات عبر السواتل الصنعية.

2. ميزات ومساوئ الاتصالات الساتلية (Advantages and Disadvantages):

للاتصالات عبر السواتل الصنعية الميزات التالية:

- التغطية الجغرافية الواسعة مقارنة بالوصلات المكروية والألياف الضوئية حيث يمكن لساتل واحد أن يغطي مساحة أكثر من ثلث الكرة الأرضية.
- التجوال (Mobility): حيث ليس بالضرورة أن تكون المحطة الأرضية ثابتة على سبيل المثال السفن.
- تغطية المناطق الريفية الوعرة والنائية : حيث يصعب أو يستحيل الوصول لتمديد كوابل ضوئية أو حتى تركيب وصلات ميكروية.مثلاً : أدغال، بحار ....

بالمقابل تعاني الاتصالات عبر السواتل الصنعية من المساوئ التالية:

- التكلفة المرتفعة سواء لناحية تصنيع الساتل نفسه او لرفعه إلى مداره.
- الحاجة إلى وقود للتوجيه حتى يظل ثابتاً في مداره، وبعدها يصبح الساتل غير مستقر ويتحرك حركة دورانية دورية كل يوم على شكل رقم (8) وهذا يجعل الساتل إما غير صالح أو بحاجة لمحطات أرضية معقدة قادرة على تتبعه.
- عرضة للإنقطاع لأسباب متعددة منها :
  - العواصف الشمسية.
  - العواصف النيزكية.
  - اصطدام بنفايات فضائية على سبيل المثال بقايا أقمار صنعية قديمة.
  - انقطاعات بسبب أعطال بالتجهيزات.

3. مدارات السواتل الصنعية (Satellite Orbits):

المدار هو المسار الذي يسلكه الساتل الصنعي خلال دورانه حول الكرة الأرضية. هناك العديد من أنواع المدارات نوجزها فيما يلي:

1.3. المدار المستقر (Geostationary Earth Orbit GEO)

في هذا المدار يكون الساتل ثابتاً بالنسبة لمراقب من الأرض وهذا يلغي الحاجة لتعقب هوائيات المستقبل للساتل (Tracking System) حيث يكفي المعايرة لمرة واحدة عند التركيب، عادة ما يوضع الساتل في هذا المدار فوق خط الاستواء وعلى ارتفاع 3500 km. ويمكن للساتل تغطية مساحة كبيرة قد تتجاوز ثلث مساحة الكرة الأرضية، لعل السيئة الوحيدة لهذا المدار هو تأخر الإشارة بمقدار 0.5 Sec.

إن هذا المدار هو الأكثر استخداماً ونجده مثلاً في السواتل الحاملة للبث التلفزيوني.

2.3. المدار المتوسط الارتفاع (Medium Earth Orbit "MEO")

وهو الأقل استخداماً ويوضع فيه الساتل على ارتفاع 10000 – 20000 KM.

3.3. المدار المنخفض (Low Earth Orbit "LEO")

ويستخدم بشكل خاص للاتصالات الساتلية النقالة/المحمولة، مثال: هواتف الثريا، ويوضع فيه الساتل على ارتفاع أقل من 5000 km.

من المزايا الأساسية لهذا المدار هو التأخير الزمني القليل بالإضافة للاستطاعة المحدودة المطلوبة من الجهاز الأرضي، وهذا يناسب بشكل خاص الاتصالات الهاتفية. أما سيئة هذا المدار فهو مساحة التغطية المحدودة بسبب القرب من سطح الأرض مما يفرض استخدام العديد من السواتل للحصول على التغطية العالمية. والسيئة الثانية أنه غير مستقر أي لايستطيع نفس الساتل تغطية نفس الرقعة وإنما تتناوب السواتل على التغطية، وهذا لا يشكل مشكلة بالنسبة للهواتف العاملة بهذه التقنية حيث أنها بالطبع لا تستخدم هوائيات موجهة أصلاً مستفيدة من قرب السواتل من الأرض.

4. ترددات السواتل الصنعية (Satellite frequency bands):

هناك العديد من المجالات الترددية المخصصة للسواتل، وقبل الحديث عنها يجدر التنويه أنه يخصص لكل ساتل نوعين من المجالات:

- المسار الصاعد (Uplink): وهو مجال مخصص للإرسال من الساتل الصنعي إلى المحطات الأرضية. بالعكس
- المسار الهابط (Downlink): وهو مجال مخصص للإرسال من الساتل الصنعي إلى المحطات الأرضية.

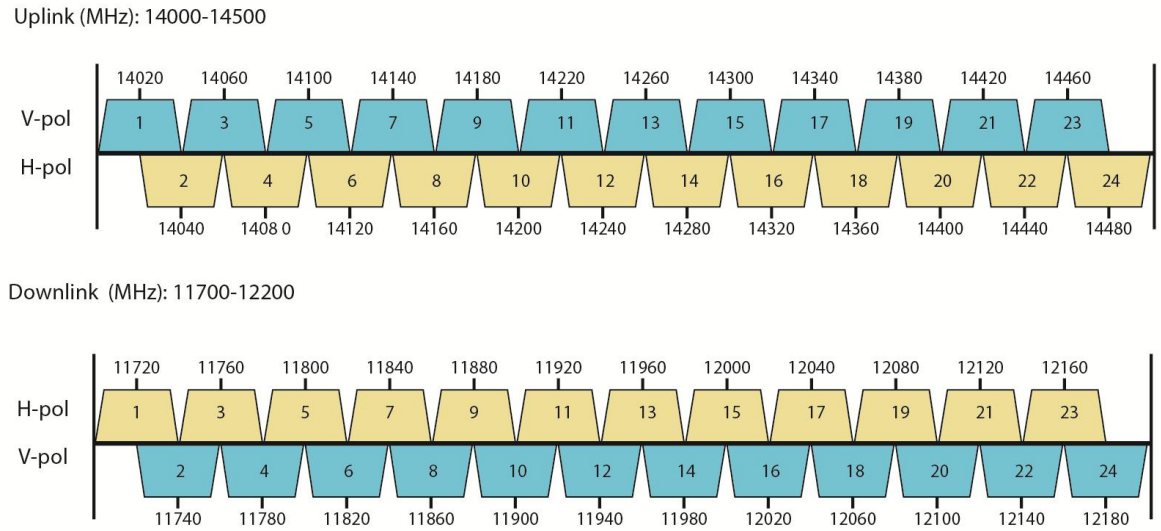
عادة ما تكون ترددات الوصلة الصاعدة أعلى من تلك للوصلة الهابطة، لأن الضياعات تزداد مع ازدياد التردد، وبالتالي نستخدم الترددات الأدنى للوصلات الهابطة للتقليل من الضياعات (فقد المسار بشكل أساسي path loss) ما أمكن، حيث نحتاج للتعويض عن الضياعات إما لاستطاعة إرسال أعلى وبالتالي استطاعة تغذية كهربائية أعلى، أو لهوائيات ذات حجم أكبر، وكلا الأمرين صعب التحقيق على متن الساتل الصنعي بينما هو ممكن ببساطة على المحطات الأرضية.

تخصص النطاقات الترددية التالية للاتصالات الساتلية:

إسم المجال	المجال الترددي (GHZ)
L	1 – 2
S	2 – 4
C	4 – 8
X	8 – 12
Ku	12 – 18
K	18 – 27
Ka	27 – 40
O	40 – 50
V	50 – 75

الجدول .Error! No text of specified style in document-**1 النطاقات الترددية للاتصالات الساتلية**

يقسم عادة كل نطاق إلى مجالات جزئية، عرض المجال الواحد منها 36MHz مع فواصل بينها (أنظر **Error! Reference source not found.**) مثلاً: يتوفر على المجال Ku، 12 مجالاً جزئياً حسب ما هو موضح بالشكل أدناه مع ملاحظة أننا نعيد استخدم المجال بقطبيتين مختلفتين عامودية وأفقية لضمان إستثمار أمثلي للتردد.



الشكل 8-1 المجالات الجزئية للنطاقات الترددية

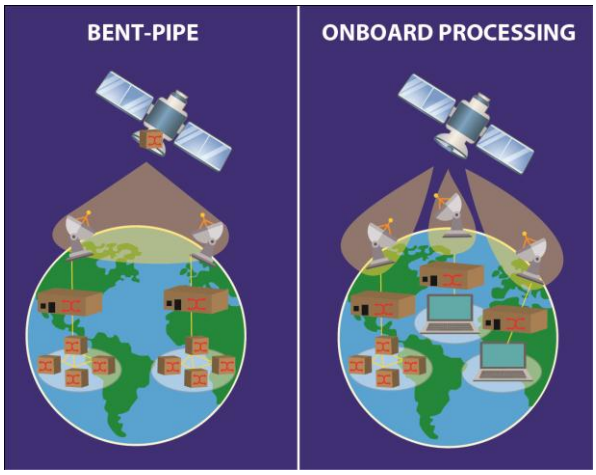
إن أكثر المجالات استخداماً هو المجال Ku والذي يمتاز بالحاجة لهوائيات صغيرة نسبياً مقارنة بالمجالات الأدنى، ولعل عيبه الأبرز هو تأثره بالتخامد الناتج عن الهطل المطري.

5. أنواع السواتل الصنعية (Satellite Types):

هناك العديد من التصنيفات لأنواع السواتل الصنعية نوجزها فيما يلي.

1.5. تصنيف حسب بنية الساتل الصنعي (Based on Architecture):

- المكرر (Bent Type): حيث يعمل الساتل كمكرر للإشارة فقط دون أي معالجة
- المعالج (On- Board Processing): في هذا النوع يقوم الساتل بتفكيك ومعالجة الإشارة القادمة من المحطات الأرضية قبل إعادة إرسالها (أنظر الشكل 8-2).

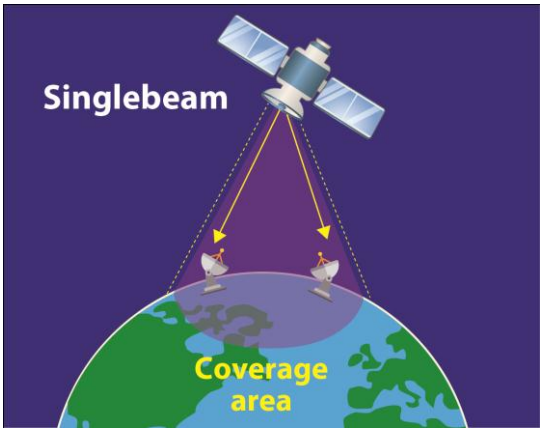


الشكل 8-2 الفرق بين نمطي المكرر والمعالج On- Board Processing

2.5. حسب تغطية الساتل (Based on Beam):

- تغطية عامة (Global beam):

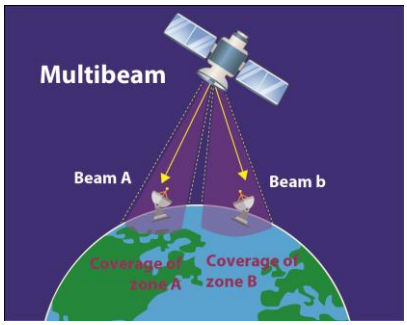
وفيه يغطي الساتل حوالي ثلث الكرة الأرضية وربما يصل إلى 42% من مساحتها وهذا النوع يحتاج إلى هوئيات استقبال كبيرة ويستخدم خاصة في بث القنوات التلفزيونية كما هو موضح بالشكل 8-3



الشكل 8-3

- تغطية منطقة (Zone):

يغطي هذا النوع منطقة محددة نسبياً، حيث يستخدم هوائيات متعددة ذات زاوية إشعاع صغيرة نسبياً، ويسمى أحياناً بالساتل المتعدد الحزم الإشعاعية (multi-beam)، ويمكن لهذا النوع تغيير توجيه الهوائي لتغيير منطقة التغطية (أنظر الشكل 8-4). يتيح هذا النوع إمكانية إعادة استخدام نفس التردد في مناطق مختلفة والذي بدوره يؤدي إلى كفاءة استخدام الطيف وهذا جيد خاصة للاتصالات الهاتفية.



الشكل 8-4

3.5. حسب نوع الخدمة (Based on Service Type).

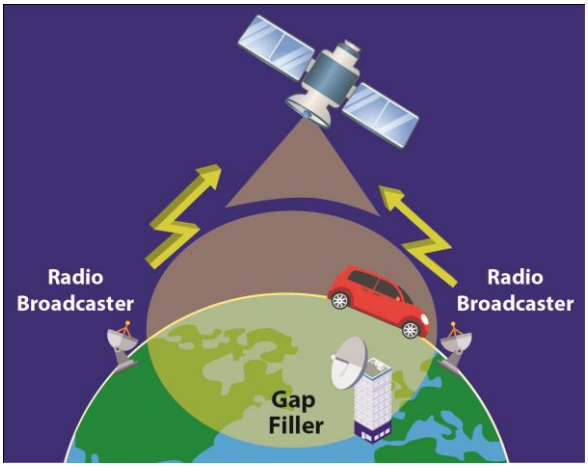
- السواتل الخاصة ببث الفيديو الرقمي (Digital Video Broadcasting Satellite DVB-S):

ومن اسمها تعنى بالبث التلفزيوني بشكل رئيسي وتوضع على المدارات المستقرة كما تم الذكر سابقاً. عرض المجال الجزئي على السواتل الصنعية هو 63MHz ويستخدم جهاز إرسال / استقبال واحد للبث على هذا المجال الفرعي (قناة) ويدعى بال (Transponder). ويمكن إرسال معدلات نقل حتى (38 Mbps) على مجال فرعي (قناة) واحدة.
عادة ما يمتلك الساتل الواحد ما مجموعه 18 مرسل وبالتالي فإن معدل النقل الكلي للساتل هو 684 Mbps.

- السواتل الخاصة ببث الصوت الرقمي (Digital Audio Broadcasting DAB):

وتعنى ببث البرامج الإذاعية (الراديو) عندما يكون مطلوب تغطية مساحات واسعة جداً. يلزم أن تكون هذه السواتل ذات استطاعات بث عالية حيث أن المستقبل قد يكون مذياع في سيارة مثلاً وبالتالي فإن هوائي الاستقبال ذو ربح منخفض (أنظر الشكل **8-3**-5).

عادة ما يستخدم المجال (L Band) في هذه السواتل.



الشكل 8-3 السواتل الخاصة ببث الصوت الرقمي

- السواتل الخاصة بالبث باستخدام بروتوكول IP (DVB – IP)

هذا الصنف هو الأكثر تعقيداً ويستخدم لتأمين خدمة الأنترنت. يمتاز بمرونة من حيث التعامل مع عدم التناظر بين الوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة بما يتماشى مع طبيعة حركة النقل (Traffic) للإنترنت حيث تفوق حركة التنزيل (Download) تلك للتحميل (Upload) بأضعاف بالعادة.

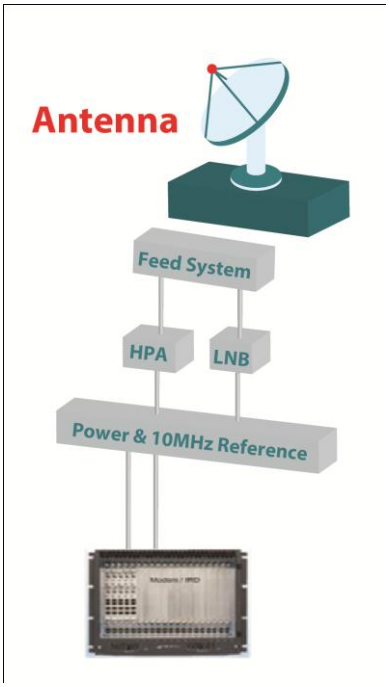
المحطات الأرضية (Earth Stations):

سنستعرض فيما يلي نوعين من المحطات الأرضية. نبدأ بالنوع الأكثر عمومية المعروف بمحطات السواتل الصنعية الأرضيّة الصغيرة (Very Small Aperture Terminal VSAT) ومنه ننتقل للنوع الأكثر خصوصية والمتعلق باستقبال البث التلفزيوني TV Receiver.

4.5. المحطات الأرضية (Earth Stations)

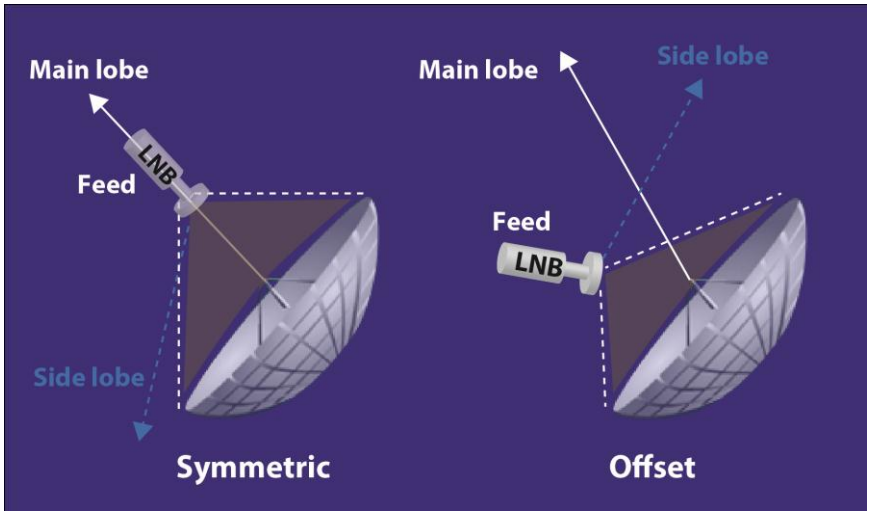
1.4.5. المحطات الأرضية (Very Small Aperture Terminal VSAT)

وتتكون من الأجزاء التالية كما هو موضح بالشكل 8-6:



الشكل 8-6 بنية المحطات الأرضية VSAT

- هوائي: يستخدم للإرسال والإستقبال. يجب أن يكون الهوائي عالي الربح بسبب بعد الساتل الصنعي عن الأرض. عادة ما نستخدم هوائي القطع المكافئ أو الصحن (Dish) والذي هو عبارة عن هوائي بوقي الشكل (Feed horn) مع عاكس على شكل قطع مكافئ وله نوعان رئيسيان كما في الشكل8-7:
  - النوع المتناظر: حيث يوضع البوق (Horn) في محرق القطع المتكافئ، وعادة ما يستخدم للمجال الترددي c، ولا يستخدم للمجالات ذات الترددات الأعلى كمجال (Ku) لأن الفص الجانبي للهوائي البوقي يكون موجهاً للأرض مما يؤدي لالتقاط ضجيج منها والذي له تأثير كبير وظاهر في حالة الإشارات الضعيفة كحالة الترددات العليا (Ku).
  - النوع المزاح: وفيه يتم وضع البوق بشكل جانبي لتوجيه الفصوص الجانبية نحو السماء مبتعدة عن الأرض مما يؤدي لإنقاص الضجيج. وكما ذكرنا مسبقاً فإن هذا النوع هو الأكثر استخداماً في المجال (Ku).



الشكل 8-7 أنواع هوائي الارسال والاستقبال في أنظمة السواتل الصنعية

تجدر الإشارة هنا أنه يوجد محددان رئيسيان لتوجيه الهوائي:

a. زاوية السمت (Azimuth) أي اتجاه الساتل الصنعي في المستوى الأفقي ويعبر عنها بدرجات الانحراف عن الشمال الحقيقي.

b. زاوية الارتفاع (Elevation) أي ارتفاع الساتل فوق الأفق مقدراً بالدرجة.

- معدل التردد الراديوي ومكبر عالي الاستطاعة (Block up converter "BUC"):

يوضع باتجاه الإرسال ويتكون من معدل (ضارب) للإرسال على التردد الراديوي ومكبر عالي الاستطاعة لتأمين استطاعة الإرسال باتجاه الساتل الصنعي (الوصلة الصاعدة)

- مستقبل منخفض الضجيج (Low noise block down-converter LNB):

وهو مايعرف بين العوام "بالإبرة" وهو أهم جزء من طرف الاستقبال ومهمته تكبير الإشارة الكهرطيسية المستقبلة من الهوائي ومن ثم تحويلها إلى ترددات وسيطة (Intermediate frequency IF) والتي يسهل نقلها عبر كابلات محورية رخيصة نسبياً (coaxial cable)

- المودیم (Modem): وهي الوحدة التي تحتوي المآخذ الرئيسية وتعنى بكل ماهو له علاقة بالعمليات القاعدية (Baseband) نحو التعديل الرقمي (Digital Modulation) للإشارة القاعدية للحصول على التردد الوسيط (IF) باتجاه الإرسال وبالعكس فك التعديل باتجاه الاستقبال

أنواع المحطات الأرضية (Very Small Aperture Terminal VSAT)

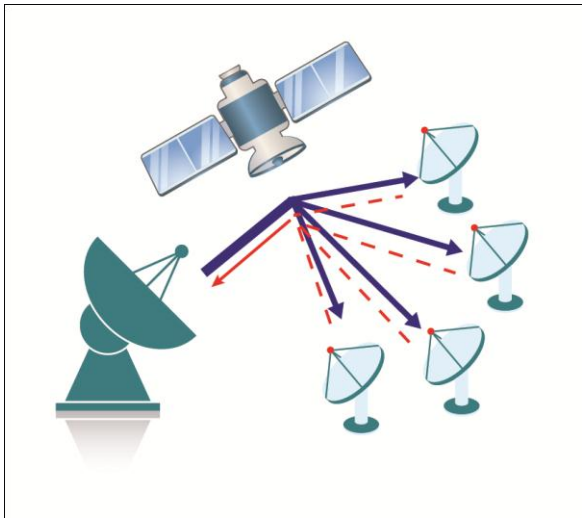
هناك نوعان رئيسيان للمحطات الأرضية:

- نقطة لنقطة (Point to Point PTP):

وفيه يتم وصل نقطة أرضية وحيدة بالساتل الصنعي وتمتاز بالبساطة ولكنها غير فعالة (Not efficient) عندما يكون المطلوب وصل عدة نقاط مع الساتل الصنعي لأنه يلزم تخصيص عرض حزمة (Band width) ثابت لكل نقطة دون إمكانية التشارك مع باقي النقاط. عادة ما يستخدم هذا النوع موديمات تعرف ب SCPC اختصاراً (Single carrier per channel).

- متعدد النقاط باستخدام موزع (HUB):

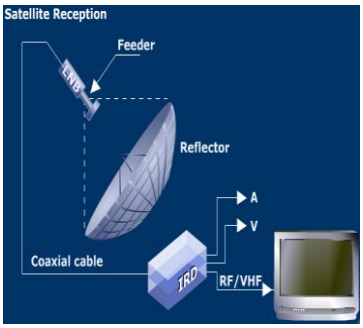
يمكن لهذا النوع وصل عدة نقاط بآن واحد بفعالية (Efficiency) أكبر ولكنه يحتاج إلى موزع رئيسي HUB معقد وذكي وذو هوائي كبير يتحكم بمحطات أرضية طرفية صغيرة موزعة في النقاط المطلوبة (الشكل 8-8). تأتي فاعلية هذه الطريقة من عدم الحاجة لتخصيص عرض حزمة (Bandwidth) ثابت لكل محطة طرفية، حيث يقوم الموزع بتوزيع المجال حسب حاجة الطرفيات باستخدام تقنية النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن (TDMA).



الشكل 8-8 كيفية وصل أكثر من محطة أرضية مع نفس الساتل

2.4.5. مستقبل البث التلفزيوني (Integrated receiver and decoder)

وهو عملياً شكل مبسط لمحطة أرضية حيث يوجد طرف استقبال فقط دون طرف إرسال ويتألف من هوائي وLNB بالإضافة إلى موديم استقبال مبسط يعرف ب IRD اختصاراً لـ Integrated receiver and decoder والذي كما هو واضح من التسمية مسؤول عن فك تعديل التردد الوسيط IF للحصول على الإشارة القاعدية (Baseband) ومن ثم فك الترميز إن كانت الإشارة مشفرة والنتيجة هي إشارة الصوت والصورة (A/V) والتي توصل إلى مدخل التلفاز (الشكل8-9).

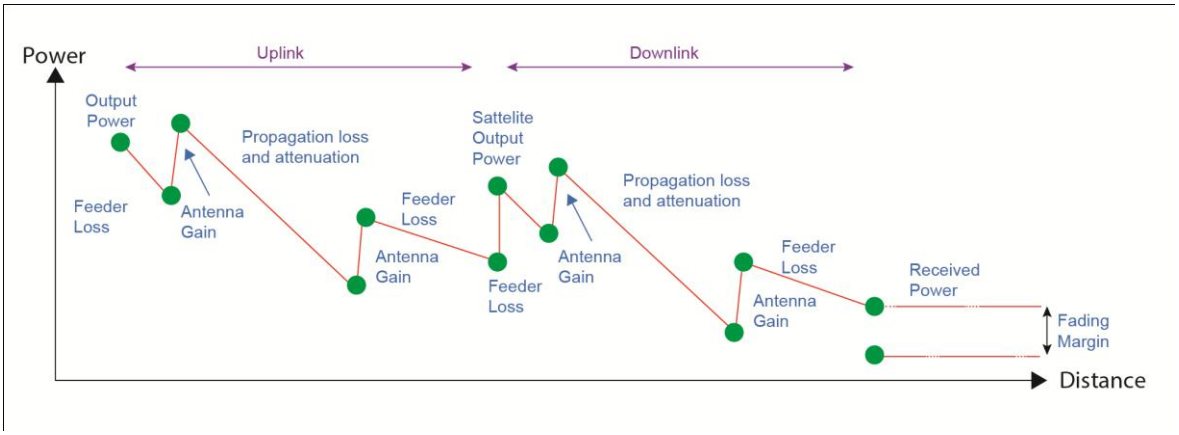


الشكل 8-9 مستقبل البث التلفزيوني

6. ميزانية الوصلة للسواتل الصنعية (Satellite Link Budget)

تماماً كحالة الوصلات المكروية إن هدف حساب ميزانية الوصلة هو حساب استطاعة الإشارة المستقبلة بالأخذ بالاعتبار كل عمليات التضخيم والتخامد التي قد تطرأ على استطاعة الإشارة المرسلة بين خرج المرسل ودخل المستقبل في الطرف المقابل. إن ميزانية الوصلة للأقمار الصنعية تتطابق مع تلك للوصلات المكروية مع فارق أن الحساب يتم على مرحلتين، مرحلة للوصلة الصاعدة (Uplink) وأخرى للوصلة الهابطة (Downlink)

وهذا ما يمكن تمثيله بالشكل 8-10 (ميزانية الوصلة للسواتل الصنعية)، ولن نتطرق هنا لتفاصيل أكثر حيث تم شرح ذلك بالتفصيل في بحث الوصلات المكروية.



الشكل 8-10 ميزانية الوصلة للسواتل الصنعية

7. لمحة فنية (Practical Overview)

نستعرض فيما يلي أهم مصنعي المحطات الأرضية (Very Small Aperture Terminal VSAT) وكذلك أهم مزودي الخدمة (مشغلي السواتل الصنعية)

1.7. تجهيزات المحطات الأرضية (VSAT Equipment)

أشهر مصنعي تجهيزات المحطات الأرضية للاتصالات الفضائية هما شركتا COMTECH الأمريكية وNewtec البلجيكية. كلتا الشركتان توفران تجهيزات تدعم المحطات الأرضية بنوعيها نقطة لنقطة (Point to Point PTP) أو متعددة النقاط (TDMA) باستخدام موزع (HUB). فيما يلي لمحة عن بعض التجيزات

- موديم COMTECH MODEM (CDM-625):

من أشهر الأنواع التقليدية. يدعم تقنية نقطة لنقطة (Point to Point PTP) حصراً بمعدلات نقل تصل حتى 25Mbps وبمنافذ مختلفة ... ,E1, Ethernet (الشكل8-11)

الشكل 8-11 تجهيزات المحطات الأرضية - موديمات

- موديم Newtec MDM3100

من أحدث الأنواع ويدعم المحطات الأرضية بنوعيها نقطة لنقطة (Point to Point PTP) أو متعددة النقاط (TDMA) باستخدام موزع (HUB) بمعدلات نقل تتجاوز 45. Mbps (انظر الشكل8-12)

الشكل 8-12 تجهيزات المحطات الأرضية - موديمات

- معدل التردد الراديوي ومكبر عالي الاستطاعة (Block up converter "BUC") نوعCOMTECH CEFD:

ويعمل على مجالات C, X, Ku وبربح حتى 70dB. (الشكل8-13)

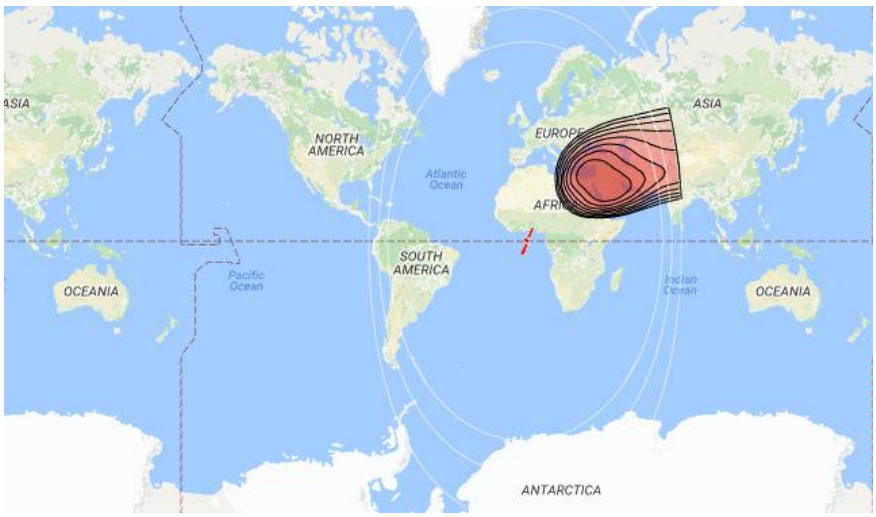
الشكل 8-13 معدل التردد الراديوي ومكبر عالي الاستطاعة

2.7. مزودو الخدمة (مشغلو السواتل الصنعية(Satellite Service providers)

الشركات التالية هي من أشهر مزودي الخدمة (مشغلي السواتل الصنعية):

- Eutelsat
- Arabsat Badr
- Intelsat

الشكل 8-14 يبين تغطية الساتل Intelsat 1002 على المجال Ku وللمنطقة التغطية (Zone) الثانية. وهذه المعلومات متوفرة على الانترنت بمواقع مزودي الحدمة أو بمواقع مختصة بقواعد بيانات السواتل نحو https://www.satbeams.com/



الشكل 8-14 مثال عن تغطية الساتل الصنعي

أسئلة وتمارين:

(لكل سؤال 4 علامات غير قابلة للتجزئة وبالتالي تكون العلامة الكلية من 20).

1. من مساوئ السواتل الصنعية تأثره بالعواصف الشمسية.
   a. صح.
   b. خطأ

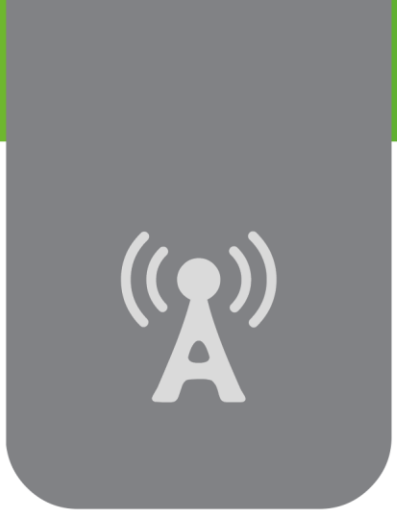
2. مدارات السواتل الصنعية هي :
   a. المدار المستقر.
   b. المدار المتوسط.
   c. المدار المنخفض.
   d. جميع ما ذكر.

3. من أهم ترددات التي تعمل عليها وصلة السواتل الصنعية :
   a. المجال Ku والذي يمتاز بالحاجة لهوائيات صغيرة نسبياً مقارنة بالمجالات الأدنى.
   b. المجال V
   c. المجال O
   d. جميع ما ذكر خطأ.

4. تصنيفات السواتل الصنعية حسب :
   a. بنية الساتل الصنعي.
   b. تغطية الساتل الصنعي.
   c. نوع الخدمة المقدمة.
   d. جميع ما ذكر صحيح.

5. ميزانية السواتل الصنعية تهدف إلى حساب استطاعة الإشارة المستقبلة دون الأخذ بالاعتبار كل عمليات التضخيم والتخامد.
   a. صح.
   b. خطأ.

رقم السؤال	الجواب
1	a
2	d
3	d
4	d
5	b



الفصل التاسع
الاتصالات عبر الألياف الضوئية

1. مقدمة

الاتصالات عبر الألياف الضوئية (الزجاجية) هي طريقة للتراسل السلكي وتستخدم لنقل البيانات بين نقطتين جغرافيتين عبر وصلهما بليف ضوئي. يتم بهذه الطريقة نقل المعطيات بعد تحويلها من إشارات كهربائية إلى نبضات ضوئية على الليف.

عند حديثنا عن الضوء هنا لا نقصد الطيف المرئي منه وحسب بل نتعداه للمعنى الإجمالي الذي يشمل أشعة غير مرئية بالعين المجردة كالأشعة تحت الحمراء. في الواقع ما تراه العين المجردة هو فقط جزء بسيط من كامل الطيف الضوئي. يقابل الطيف المرئي أطوال موجة من 400nm حتى 700nm، وكامل الليف الضوئي يمتد من 1mm حتى 10^{-6}.

تمتاز هذه الطريقة بالقدرة على نقل سعات عالية جداً قد تصل لمرتبة البيتا بت (Petabit Pbit = 10^5 bit) ولمسافات بعيدة جداً من مرتبة آلاف الكيلو مترات (عبر البحار على سبيل المثال) كما وأنها تمتاز بصعوبة الاختراق / الاعتراض (Interception) والمناعة ضد التشويش مقارنة بالطرق اللاسلكية. بالمقابل فإن العيب الرئيسي لهذا النوع من التراسل هو التكلفة العالية جداً وصعوبة تمديد الألياف وخصوصاً في المناطق النائية (غابات مثلاً).

2. مميزات ومساوئ الألياف البصرية

1.2. المميزات

1. دعم معدلات نقل كبيرة جداً من مرتبة الـ Tera (Tbps).
2. أخف وزنا فيمكن استبدال أسلاك نحاسية وزنها 94.5 كجم بأخرى من الألياف الضوئية تزن فقط 3.6 كجم.
3. فقد أقل لاستطاعة الإشارات المرسلة مقارنة بالإرسال عبر الكابلات النحاسية.
4. استهلاك قليل للطاقة عند الإرسال.
5. أكثر استقرارية ووثوقية منها في الكابلات النحاسية.
6. عدم إمكانية تداخل الإشارات المرسلة من خلال الألياف المتجاورة في الحبل الواحد مما يضمن وضوح الإشارة المرسلة سواء أكانت محادثة تلفونية أو بث تلفزيوني. كما أنها لا تتأثر بالحقول التحريضية.
7. غير قابلة للإشتعال مما يقلل من خطر الحرائق.
8. لا يحتاج إلى إكسسوارات التأريض Earthing والحماية من التيارات العالية Over Voltage Protection OVP.
9. سرعة وأقل تكلفة أثناء التركيب.
10. العمر الافتراضي للألياف الضوئية أكبر منه في الكبلات النحاسية.
11. إمكانية معرفة مكان قطع الليف عن طريق موجات الضوء المرتدة.

2.2. المساوئ

1. الحاجة إلى فريق متخصص ومؤهل للتعامل مع الألياف الضوئية.
2. الحاجة إلى معدات دقيقة وغالية لعملية وصل وقطع الليف الضوئي.
3. التكلفة العالية للتجهيزات المستخدمة على طرفي الليف الضوئي، وهذا يعتمد على السرعات المطلوب نقلها.
4. الحاجة إلى الحفر في معظم الحالات، وقد تصل مسافة الحفر إلى عشرات الكيلومترات وعادة ما يكون ذلك ذو تكلفة عالية جداً.
5. الحاجة إلى درجة نقاء عالية أثناء تصنيع الليف الضوئي بالإضافة إلى طبقات حماية.

3. مكونات نظام الاتصال الضوئي

يتكون نظام الاتصال الضوئي من ثلاث وحداث رئيسة- انظر الشكل 9-1.

1. **وحدة الإرسال (Transmitter Unit):**

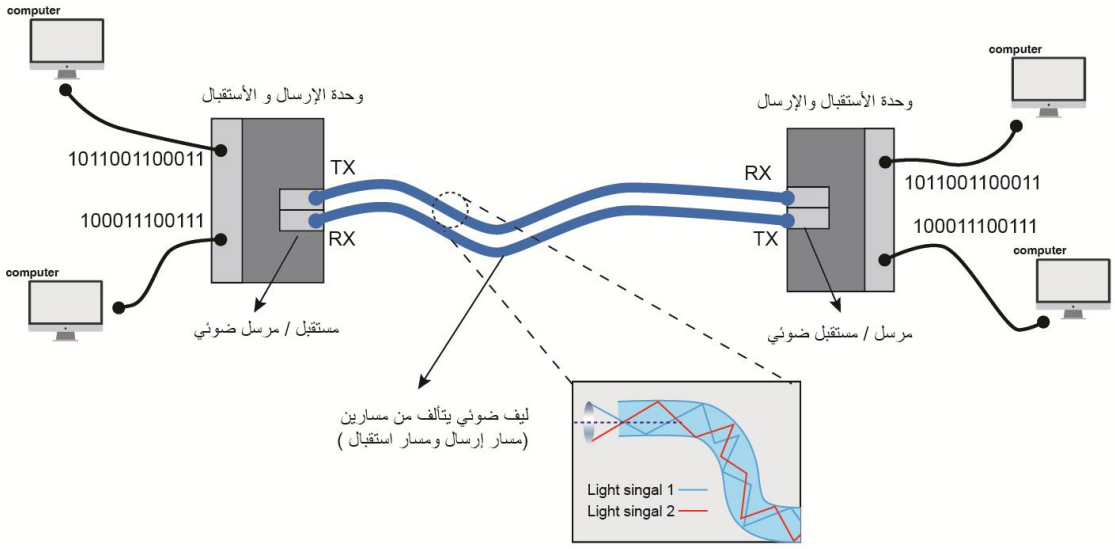
وهو المسؤول عن تحويل إشارة المعلومات (واحدات وأصفار) من شكلها الكهربائي إلى الشكل الضوئي على شكل نبضات ضوئية باستخدام مرسل ضوئي (ديودDiode) بالإضافة إلى عدسات (Lens) لتركيز الضوء داخل الليف الضوئي.

2. **وحدة الاستقبال (Receiver Unit):**

وهو المسؤول عن استقبال نبضات الضوء في الطرف المقابل، ومن ثم تكبيرها إلى مستوى مقبول، بعدها يتم تحويلها إلى إشارة كهربائية (واحدات وأصفار).

3. **الليف الضوئي (Fiber Optic):**

وهو الحامل الفيزيائي لإشارة الضوء (النبضات الضوئية) بين وحدتي الإرسال والاستقبال، ويتبع لهذه الحامل مجموعة من المواصفات والخصائص تبعاً لمسافة الإرسال وكذلك معدلات النقل المراد استخدامها – الشكل 9-1 نظام اتصال يستخدم الليف الضوئي.

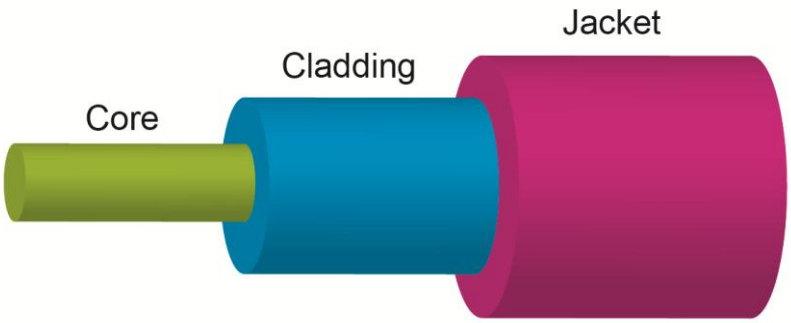


الشكل 9-1 نظام اتصال يستخدم الليف الضوئي

4. الليف الضوئي

يصنع الليف الضوئي من مواد ناقلة للضوء زجاجية أو بلاستيكية شديدة النقاء. عملياً يعمل الليف عمل مرشد/دليل الموجة بالنسبة للضوء ويتكون من ثلاث طبقات (كما هو موضح الشكل 9-2):

1. النواة (Core): وهو الجزء من الليف الذي ينتقل فيه الضوء فعلياً ويصنع من الزجاج أو البلاستيك النقيين، كما أسلفنا، ويكون له معامل (قرينة) انكسار محددة أو متغيرة تبعاً لنوع الليف.
2. العازل (Cladding): وهوالجزء من الليف المسؤول عن حصر الضوء ضمن االنواة ويصنع أيضاً من الزجاج أو البلاستيك النقيين ولكن مع قرينة انكسار أقل منه مقارنة بالنواة، ويعمل على عكس تام لشعاع الضوء المنتشر في النواة في حال كان الليف الضوئي منحنياً، وبتكرار الانعكاس بين النواة والعازل ينتشر الضوء داخل الليف الضوئي حتى يصل إلى النهاية الأخرى لليف.
3. غلاف خارجي (Jacket): والهدف منه حماية الطبقات الداخلية فقط ويصنع عادة من البلاستيك المرن – الشكل .



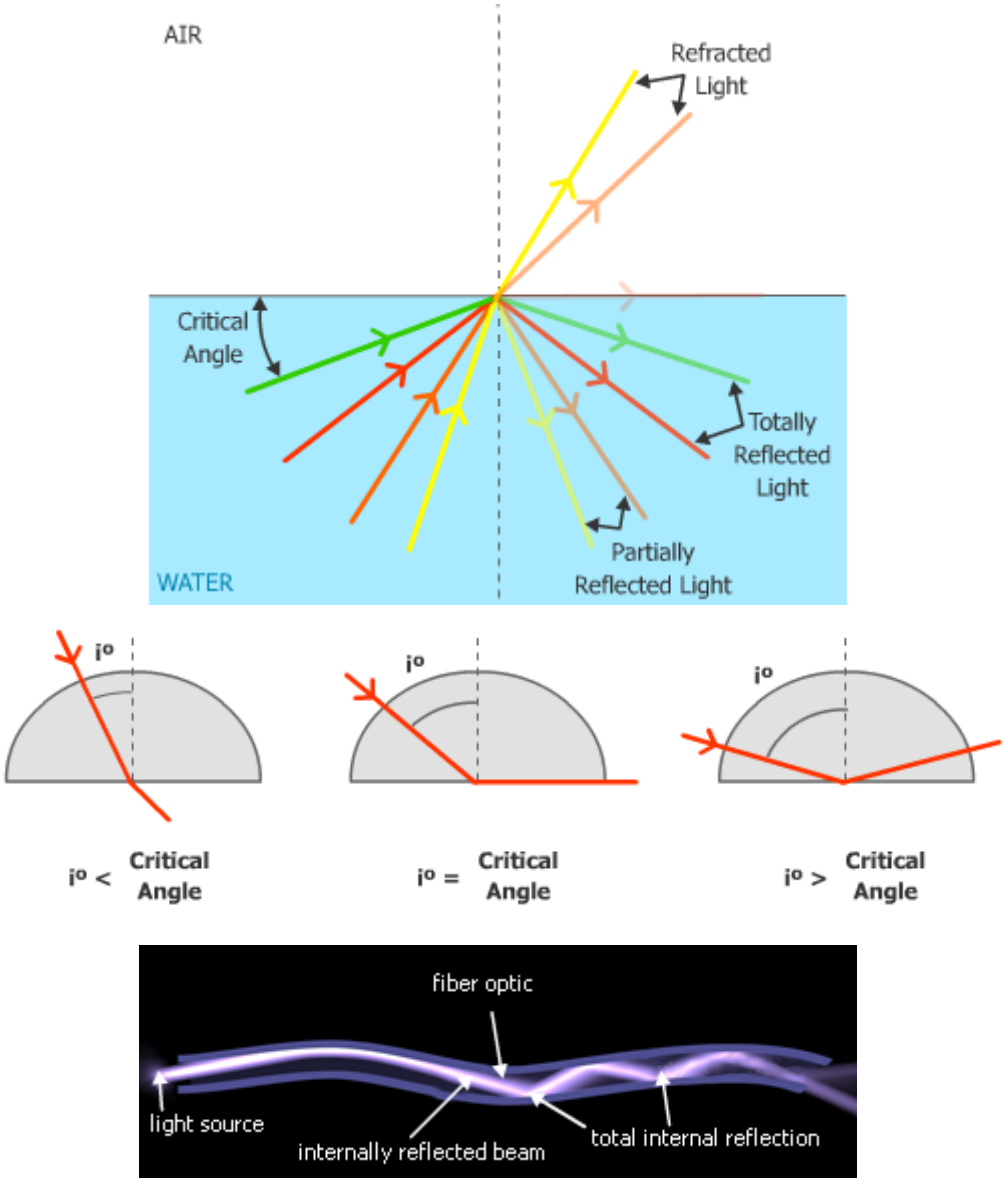
الشكل 9-2: طبقات الليف الضوئي

1.4. ظاهرة الانعكاس الداخلي الكلي

ببساطة شديدة؛ عندما يعبر شعاع الضوء من وسط ذو كثافة عالية إلى وسط أقل كثافة بزاوية ورود محددة، فإن جزء من الضوء سوف ينكسر ويتابع طريقه في الوسط ذي الكثافة الأقل بزاوية انكسار محددة، وينعكس الجزء الآخر داخل الوسط الكثيف بزاوية انعكاس محددة، وكلاً من زاويتي الانكسار والانعكاس تتعلقان بزاوية ورود شعاع الضوء وكذلك بقرائن الانكسار لكلا الوسطين.

وقرينة الانكسار لوسط ما هي نسبة سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعته في هذا الوسط، ويتعلق بشكل كبير بطبيعة وكثافة مادة الوسط.

لكن عند زاوية ورود أكبر من قيمة معينة (تسمى الزاوية الحرجة Critical Angle)– الشكل 9–3؛ فإن شعاع الضوء ينعكس كلياً داخل الوسط الأول بكامل طاقته بزاوية انعكاس تساوي تماماً لزاوية الورود.



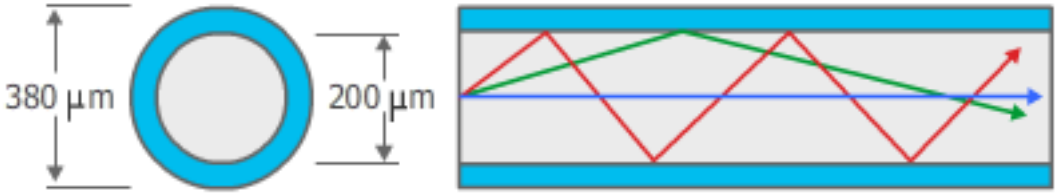
الشكل 9–3: اختلاف زوايا ورود الضوء على سطح عاكس

هذا المبدأ يجب مراعاته بشكل كبير في الاتصالات الضوئية، وهذا يقع على عاتق الشركات المصنعة للتجهيزات التي تعتمد طرق النقل الضوئي.

2.4. أنواع الألياف الضوئية

هناك تصنيفين رئيسيين للألياف الضوئية:

- حسب عدد الأنماط (نمط انتشار الضوء داخل الليف الضوئي):
  - الألياف متعددة الأنماط (Multi – Mode) وينتقل فيها الضوء في النواة بمسارات متعددة (الشكل 9–4).

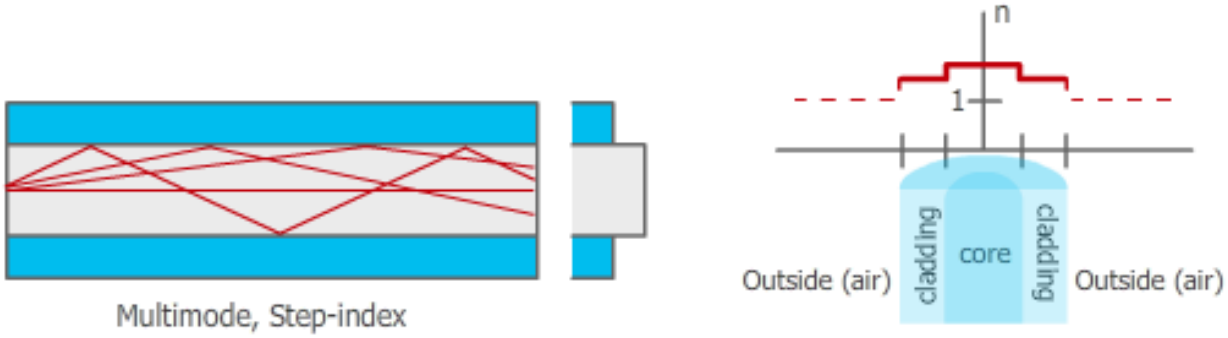


الشكل 9–1: تعدد الأنماط

  - الألياف أحادية النمط (Single mode): قطر النواة يكون من مرتبة طول موجة الضوء المنتشر. في هذه الحالة ينتقل بمسار وحيد على طول النواة. يمتاز هذا النوع بالقدرة على النقل لمسافات أطول لأنه أقل تخميداً إلا أنه أعلى تكلفة من النوع النوع السابق (الشكل 9–5).

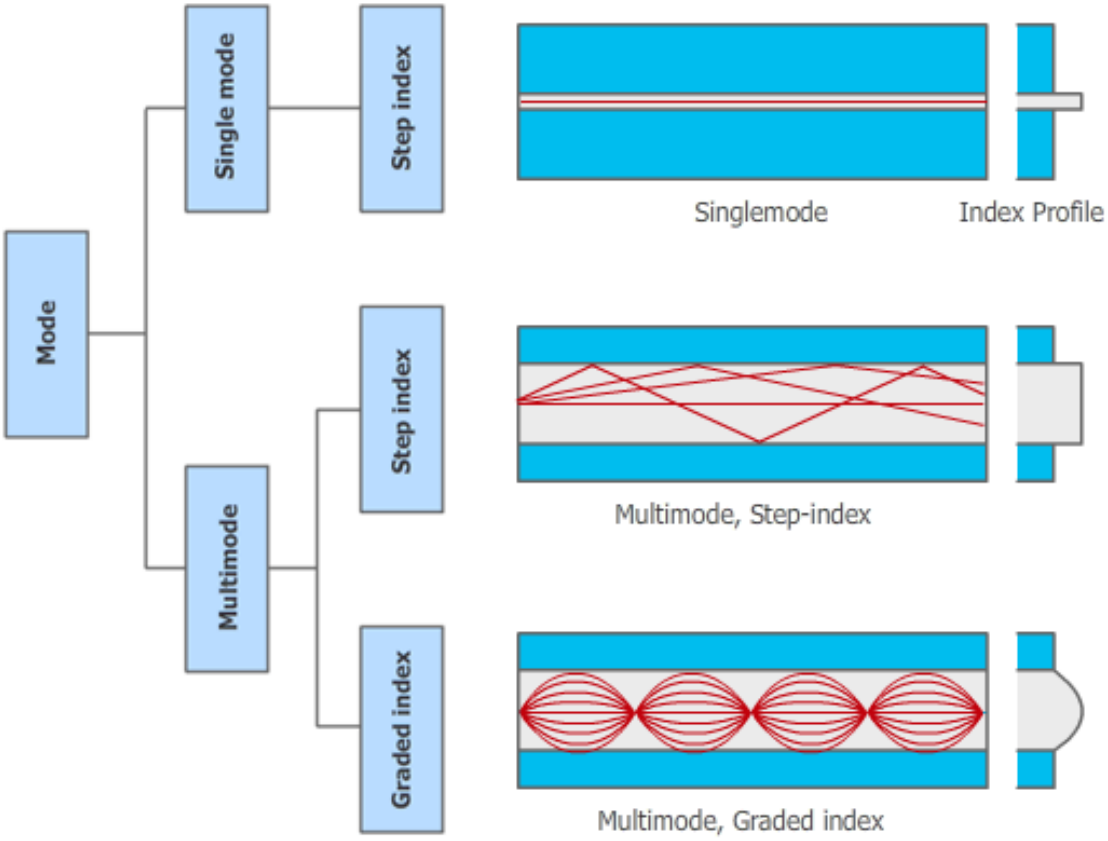
الشكل 9–5: أحادي النمط

- حسب تغير قرينة الانكسار (Refractive index):
  - الليف ذو قرينة الانكسار الثابتة (Step Index Fiber): حيث تكون قرينة الانكسار لجزء النواة ثابتة على طول الليف، وكذلك قرينة الانكسار للعازل ثابتة على طول الليف لكنها أصغر من قرينة انكسار النواة، وذلك لضمان حصر الضوء داخل الليف الضوئي – **Error! Reference source not found.**.



الشكل 9–6: قرينة انكسار ثابتة

- الليف ذو قرينة الانكسار المتدرجة (Graded Index Fiber): في هذا النوع من الألياف تكون قرينة الانكسار متغيرة تدريجياً حيث تكون بأعلى قيمة في منتصف النواة وتتناقص تدريجياً باتجاه العازل، أما قرينة الانكسار للعازل تبقى ثابتة وأقل من أقل قيمة لقرينة الانكسار للنواة، وهذا يضمن بقاء الضوء ضمن الليف الضوئي. يوضح **Error! Reference source not found.** تغير قرائن الانكسار في هذا النوع:



الشكل 9-7: قرينة انكسار متدرجة

3.4. أنواع الألياف الضوئية من حيث مواد التصنيع

كما ذكرنا سابقاً فإنه يتم صناعة الألياف الضوئية إما من الزجاج وبالتحديد من السيليكا (Silica Sio2) أو من البلاستيك، وينتج ثلاثة أنواع رئيسية:

- ألياف السيليكا (Silica fibers):

في هذا النوع يتم صناعة كلاً من النواة (core) والعازل (cladding) من زجاج السيلكا فائق النقاوة بالطبع مع قرينة إنكسارات مختلفة.

- الألياف البلاستيكية (Plastic fibers):

في هذا النوع يتم صناعة كلاً من النواة (core) والعازل (cladding) من البلاستيك وعادة ما يستخدم نوع Polymethyl Methacrylate.

- ألياف العازل البلاستيكي (Plastic – clad fibers):

في هذا النوع يتم صناعة النواة من الزجاج والعازل من البلاستيك.

تبعاً للتطبيق يتم اختيار أحد هذه الأنواع، حيث نوجز فيما يلي ميزات ومساوئ كل نوع:

- تمتاز الالياف البلاستيكية برخص الثمن والوزن الأخف والمرونة الأعلى مقارنة بنظيرتها الزجاجية.
- تمتاز الألياف الزجاجية بالتخميد الأقل وبالتالي القدرة على نقل سعات أعلى لمسافات أكبر كما وتمتاز بنصف قطر أقل.

5. العوامل المؤثرة في التراسل عبر الألياف الضوئية

هناك العديد من العوامل التي تؤثر في السعات أو المسافات الممكن الوصول إليها في الاتصالات عبر الألياف الضوئية. نركز فيما يلي على أبرزها وهما عاملي التخامد (Attenuation) والتشتيت (Dispersion).

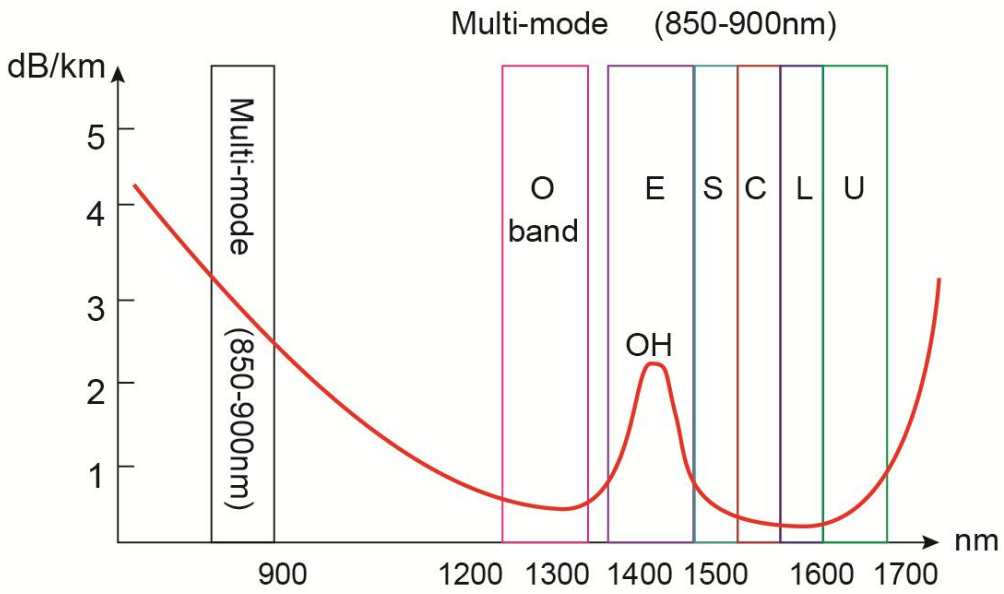
1.5. التخامد (Attenuation)

ويعبر عن الفقد (التخامدات) الطارئة على استطاعة الإشارة المرسلة بين خرج المرسل ودخل المستقبل، حيث يجب دراسة هذه الضياعات بدقة لضمان وصول استطاعة كافية للمستقبل يستطيع التحسس لها، كما أنه يجب السعي لضمان أقل قدر من التخامدات لضمان الإرسال إلى مسافات أبعد بسعات أكبر وبتكلفة تجهيزات أقل (أقل حاجة لمكبرات Amplifiers).

تعتبر العوامل التالية من أهم مسببات التخامد وهي أعلى في الألياف متعددة الأنماط منها في أحادية النمط:

- ضياعات المواد:

وهي مرتبطة بشكل رئيسي بالمواد المصنع منها الليف الضوئي وهو مرتبط بالمسافة ويعبر عنه بواحدة dB/km. ويعزى عادة لتبعثر (Scattering) الضوء أو امتصاصه (Absorption) بسبب وجود شوائب في المواد المصنعة لليف، وهذا النوع من التخامد يرتبط ارتباطاً وثيقاً بالتردد كما هو موضح بالشكل 9-9 التالي.



الشكل 9-9: علاقة تخامد مع التردد

- ضياعات نقاط التوصيل:

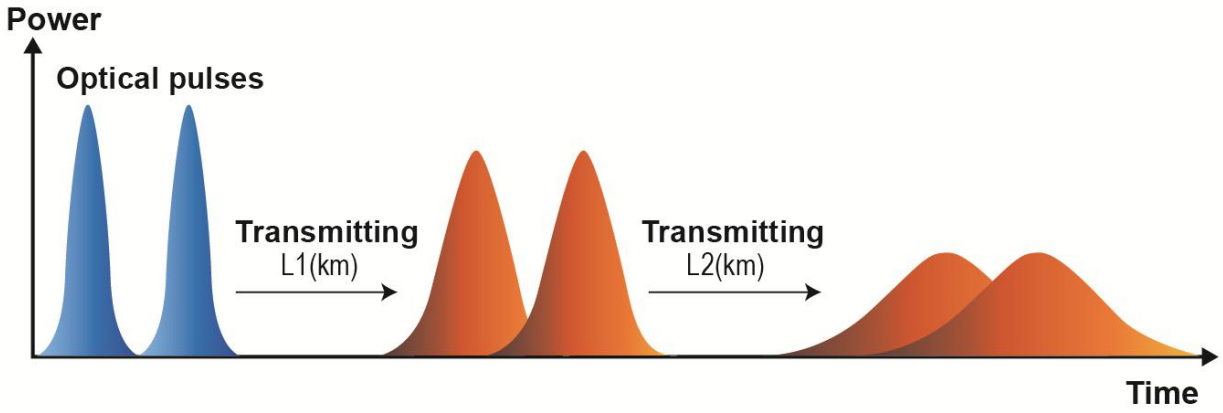
وتنشأ إما من الموصلات (Connectors) أو من نقاط الوصل باللحام (Splicing) عند الحاجة لوصل ليفين معاً.

- ضياعات التركيب:

وتنتج من تركيب خاطئ لليف مثلا عندما يكون مضغوطاً أو منحنياً بزاوية لاتتماشى مع مرونته. كما وتنتج أيضاً من اتساخ الموصلات (Connectors) أو المآخذ (Interfaces) الضوئية على التجهيزات.

2.5. التشتت (Dispersion)

يعرف التشتت بأنه ازدياد في زمن النبضة الضوئية خلال انتشارها على طول الليف الضوئي. انظر الشكل 9-10.



الشكل 9-10: ازدياد زمن النبضة الضوئية خلال انتشارها على طول الليف الضوئي

وللتشتت عدة أنواع أبرزها:

- التشتت اللوني (Chromatic dispersion): ويعاني منه كلاً من الألياف متعددة الأ نماط وأحادية النمط. ينشأ هذا التشتت بسبب انتشار الأطوال الموجية المختلفة المكونة للضوء المنتشر عبر الليف بسرعات متعددة لأن قرينة الانكسار يتأثر قليلاً بطول الموجة
- التشتت بسبب تعدد الأنماط (Inter–modal dispersion): وينشأ بسبب اختلاف السرعات المحورية (على طول الليف) للأنماط المختلفة. يلاحظ هذا النوع من التشتت في الألياف متعددة الأنماط حصراً

تجدر الملاحظة هنا أن كلاً من التشتت والتبعثر مرتبطان ارتباطاً وثيقاً بطول الموجة الضوئية المستخدمة للتراسل وعليه فقد تم تحديد نوافذ إرسال معيارية (Transmission Window) تكون فيها قيم التشتت والتبعثر في مستوياتها الدنيا (راجع الشكل). الجدول أدناه يوضح هذه النوافذ (القنوات) المعيارية.

Band	Description	Wavelength Range
O band	original	1260 to 1360 nm
E band	extended	1360 to 1460 nm
S band	short wavelengths	1460 to 1530 nm
C band	conventional ("erbium window")	1530 to 1565 nm
L band	long wavelengths	1565 to 1625 nm
U band	ultralong wavelengths	1625 to 1675 nm

الجدول 9-1: النوافذ (القنوات) المعيارية للموجات الضوئية المستخدمة

بناءً على هذه النوافذ المعيارية وأنواع الألياف آنفة الذكر قام الاتحاد الدولي للاتصالات بوضع نماذج معيارية لأنواع الألياف نحو G.652،G.653،G.655، G.651.

سنكتفي فيما يلي بتوضيح مواصفات G.651 ونترك للقارئ الرجوع إلى تفاصيل باقي الأنواع في المواقع المختصة – Recommendations ITU.

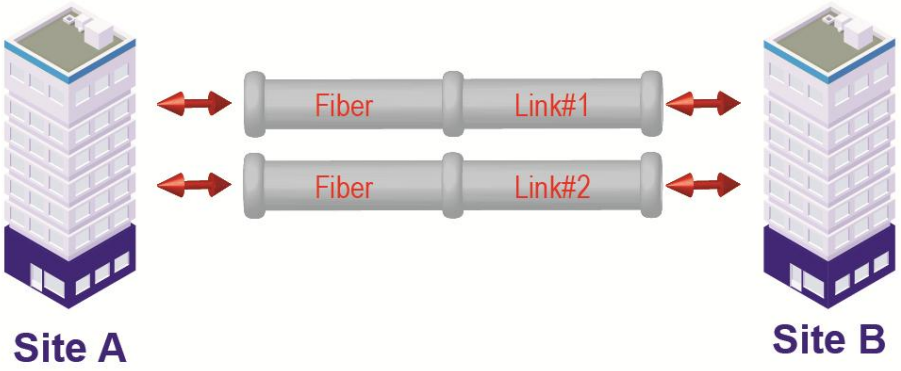
إن الليف من النوع G.651 هو ليف متعدد الأنماط ذو نواة (Core) بقطر 50 µm وعازل (Cladding) بقطر 125 µm مع معامل انكسار متدرج. إن معدل التخامد لهذا النوع من مرتبة 0.8 dB/km لطول الموجة 1310 nm يستخدم هذا النوع لوصل مسافات قصيرة ويعمل بشكل رئيسي على طول الموجة 1310 nm ولكن يمكن استخدامه أيضاً للتطبيقات ذات طول الموجة 850 nm.

6. طرق التضميم الضوئي

بسبب التطورات المتسارعة في مجال الاتصالات لم تعد السعات المتوفرة على الألياف الضوئية كافية لمواكبة احتياجات التراسل المطلوبة يضاف إلى ذلك الحاجة لتجميع المعلومات من مصادر مختلفة قبل إرسالها على الألياف الضوئية.كل هذا دعا لطرح طرق جديدة للتجميع الضوئي لتلبية هذه الاحتياجات. هنالك طريقتين رئيسيتين للتجميع الضوئي:

1.6. التضميم باقتسام المكان / الفضاء (Space Division Multiplexing SDM)

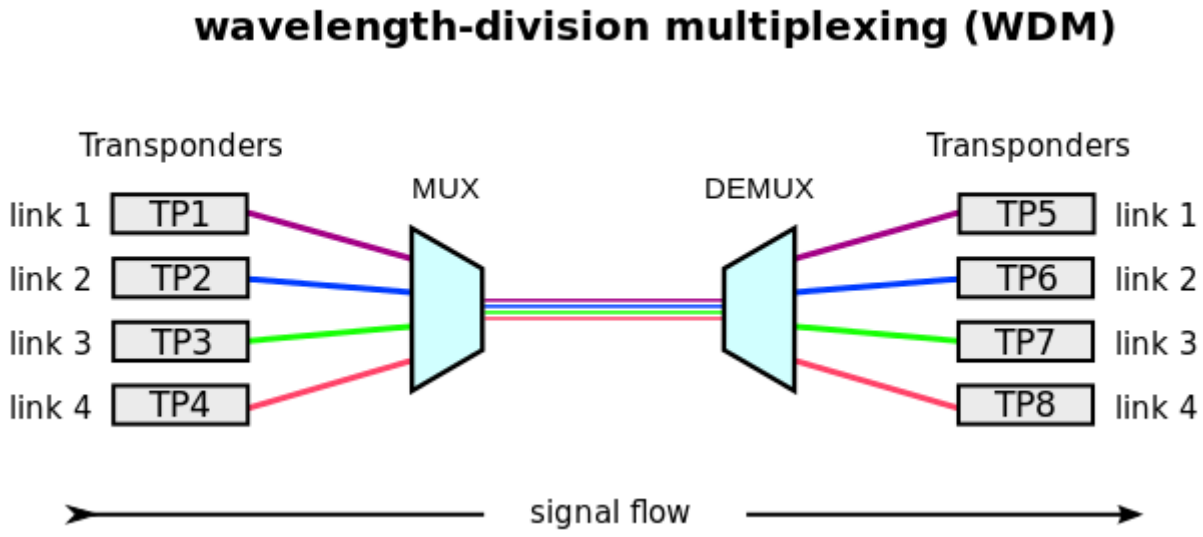
ويتم فيه زيادة سعة التراسل عن طريق زيادة عدد الألياف الضوئية وحسب الشكل 9-11. من الواضح أن سيئات هذه الطريقة هي التكلفة العالية وقلة فاعلية استخدام (هدر) عرض الحزمة المتوفر على الليف الضوئي. حيث يتم الإرسال على كل المجال الضوئي (نصطلح على تسميته بالضوء الرمادي Gray).



الشكل 9-11: التضميم باقتسام المكان / الفضاء

2.6. التضميم باقتسام طول الموجة (WDM)

يتم في هذه الطريقة تخصيص كل مصدر معطيات بطول موجة (Wave-length λ) أو لون محدد بدل أن يكون رمادياً ومستهلكاً لكل المجال الضوئي المتاح. ثم يتم تضميم هذه الألوان على ليف واحد كما هو موضح بالشكل 9-12. توفر هذه الطريقة معدلات نقل عالية جداً تصل لمستوى البيتابت.



الشكل 9-12: التضميم باقتسام طول الموجة

لهذه الطريقة من التجميع ثلاثة أنواع:

1. التضميم باقتسام الموجة الطبيعي أو الاثناني (Normal WDM or BWDM)

وفيه يتم تجميع قناتين بطولي موجة محتلفين أحدهما 1310 والأخرى 1550 فقط من الأطوال الموجية المتاحة، إن هذه الطريقة بسيطة ولكنها غير فعالة لأنه يمكن الحصول على عدد قنوات أكثر بكثير لكن لا يتم استخدامها، وعليه فإن هذه التقنية ليست قيد الاستخدام عملياً.

2. التضميم الخشن باقتسام الموجة (Coarse WDM "CWDM")

ويوفر هذا النوع 16 قناة (طول موجة) محتلفة للتراسل كل منها تعمل على طول موجة مختلف. تشغل هذه القنوات كل عرض المجال المتوفر على نافذتي الإرسال 1310nm (جزء من النافذة S-band) و1550nm (جزء من النافذة C-band). يمكن باعتماد CWDM الإرسال لمسافات أقل من 100km دون الحاجة لمكرر إشارة (بالطبع هذا مرتبط باستطاعة المرسل الضوئي ونوع الليف المستخدم).

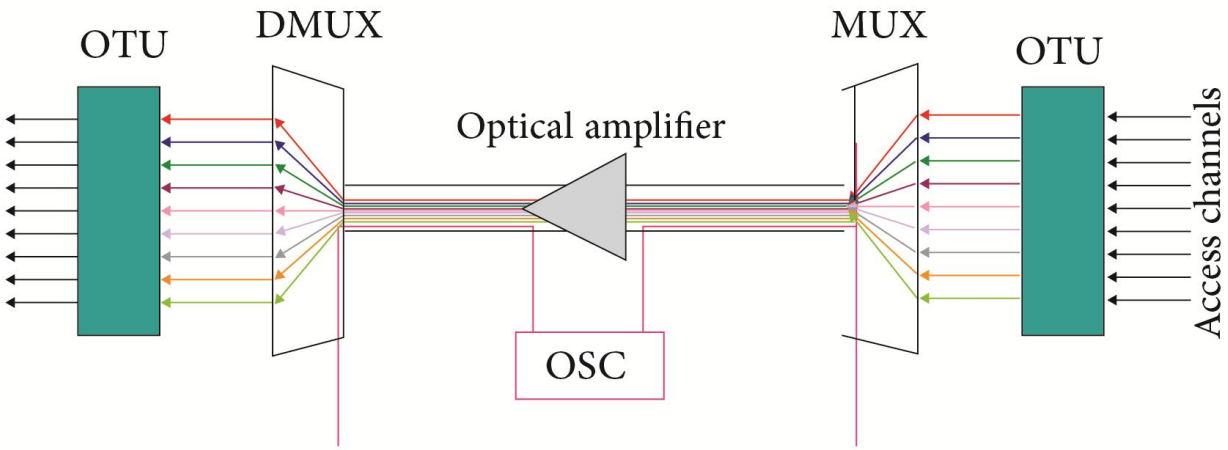
3. التضميم الكثيف باقتسام الموجة (Dense WDM "DWDM")

يمكن لهذا النوع تجميع قنوات (أطوال موجة) بشكل متقارب (مكثف) أكثر بكثير من CWDM قد يصل إلى 192 طول موجة كل منها قادر على توفير معدل نقل قد يصل إلى 100Gbps. لابل وتجري الاختبارات حالياً لتحميل 1Tera-bps على طول موجة محدد. يعمل DWDM على النوافذ (المجالات) L Band و-C Band. من الواضح أن معدلات النقل في DWDM أعلى بكثير مقارنة بتلك في CWDM. ويمكن باستخدام DWDM الإرسال لمسافات تتجاوز 100km دون الحاجة لمكرر (بالطبع هذا مرتبط باستطاعة المرسل الضوئي ونوع الليف المستخدم). لعل الميزة الوحيدة لـ CWDM هي رخص تجهيزاته مقارنة ب DWDM عليه فإن التطبيق هو المحدد الرئيسي لاختيار أياً من نوعي التجميع CWDM أو DWDM. وسنخوض فيما يلي بالتفصيل بنظام DWDM بما أنه الأكثر شيوعاً.

7. DWDM

1.7. الوحدات الوظيفية الرئيسية لـ DWDM

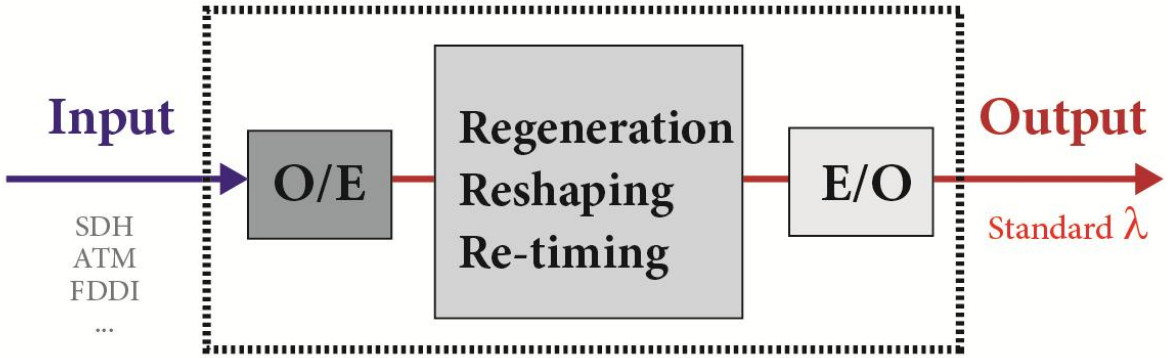
يتكون نظام DWDM من الوحدات التالية (انظر الشكل 9-13)، مع العلم أنه عملياً قد تكون هذه الوحدات منفصلة فيزيائياً في التجهيزات على شكل لوحات الكترونية مستقلة (Boards) أو تتشارك نفس اللوحات الفيزيائية.



الشكل 9-13: الوحدات الوظيفية الرئيسية لـ DWDM

وحدة الإرسال / الاستقبال الضوئية (Optical Transponder Unit "OTU")

وظيفة هذه الوحدة هي استلام الرافد لأحد العملاء (Client) والتي تكون عادة بشكل ضوئي لكن رمادي. وبأي من التقنيات (IP, ATM, SDH,...) ومن ثم تقوم هذه الوحدة بالتحويل من إشارة رمادية ضوئية إلى إشارة كهربائية ومن ثم إعادة تحويلها إلى ضوء ذو لون محدد (ذو طول موجة محدد) لأحد أطوال الموجة المعتمدة في DWDM. انظر الشكل 9-14.

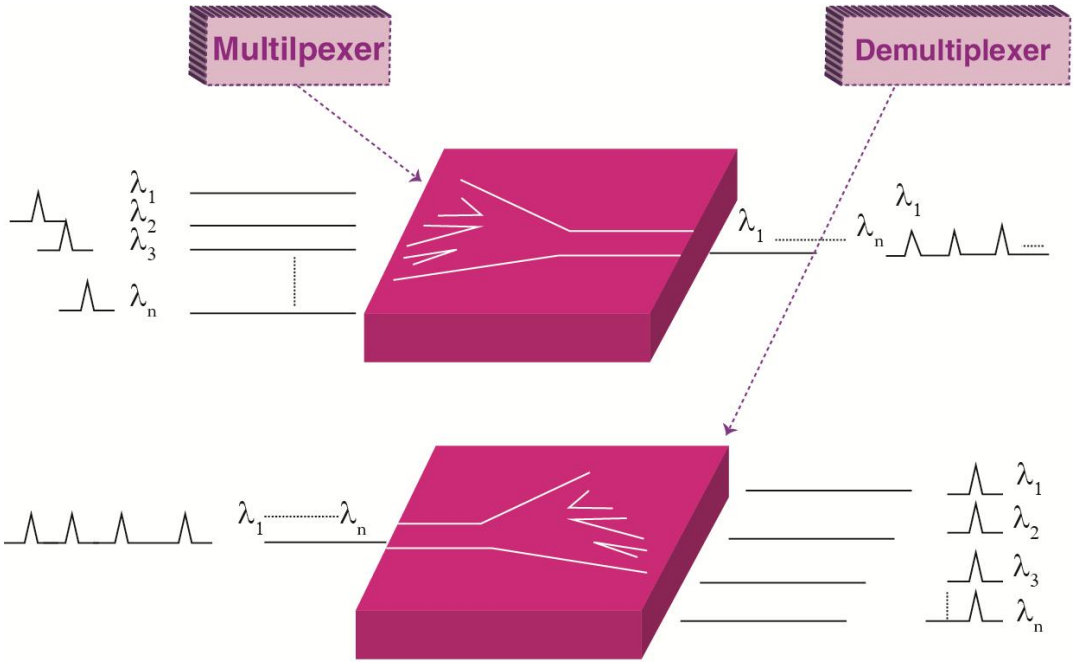


الشكل 9-14: وحدة الإرسال / الاستقبال الضوئية

ملاحظة: قد تكون إشارة العميل كهربائية أصلاً وفي هذه الحالة يتم تحويلها لإشارة ضوئية بطول الموجة المطلوب.

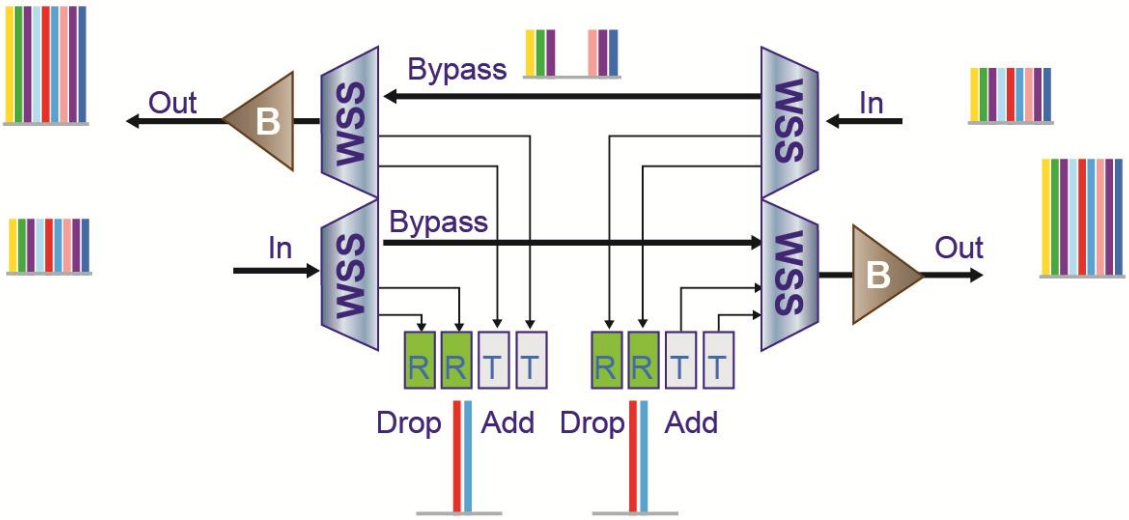
4. وحدة التجميع الضوئية (Optical add & drop multiplexer OADM)

وفيها يتم تجميع الإشارات ذات الأطوال الموجية المختلفة (ألوان) من مخارج (OTU) على ليف واحد في طرف الإرسال (Optical Multiplexer OM) وبالعكس في طرف الإستقبال. حيث يتم فك التجميع للحصول الأطوال الموجية المختلفة (OD) (الشكل 9-15).



الشكل 9-15: وحدة التجميع الضوئية

تجدر الإشارة هنا أنه لربط نقطتين متباعدتين بالألياف الضوئية فإنه يحتاج غالباً لعقد وسيطة إما لإعادة تكرير الإشارة في حال تخامدها (مسافة أكثر من 100km مثلاً) أو لتخديم محطة على الطريق، وعليه فإنه إلى جانب ما ذكر أعلاه فإن وحدة التجميع يجب أن تكون قادرة على إضافة أطوال موجة أو إسقاطها (Add & Drop) في المحطات الوسيطة ومن هنا جاء الاسم الأعم Optical add & drop multiplexer OADM. انظر الشكل 9-16.

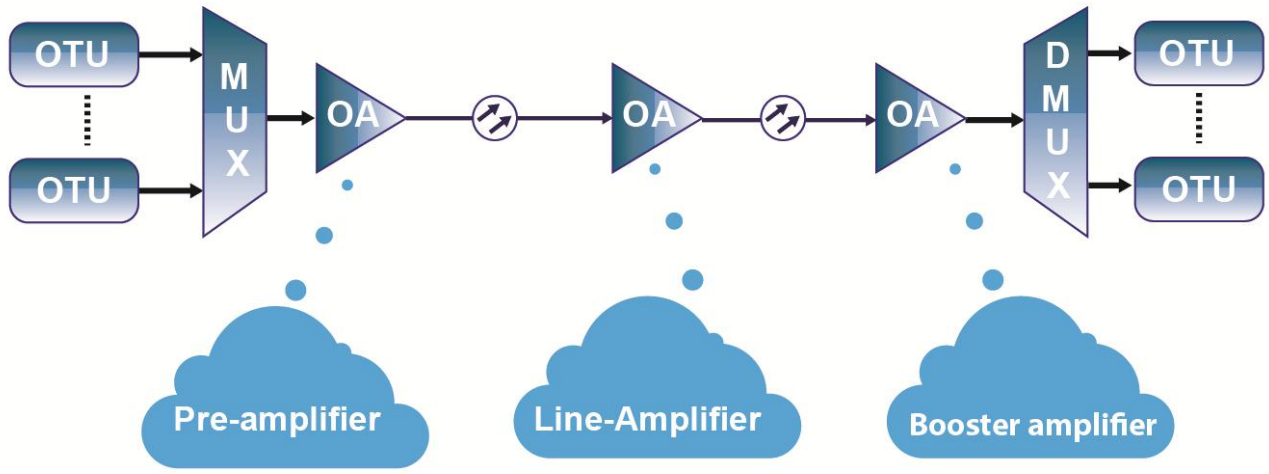


الشكل 9-16: وحدة التجميع الضوئية مع إمكانية إضافة / إسقاط أطوال موجية

مكبر إشارة ضوئي (Optical Amplifier "OA")

مهمته تضخيم الإشارة إلى مستوى يساعد على زيادة مسافة الإرسال إن تطلب الأمر ذلك. وله ثلاثة أنواع حسب مكان تركيبه (الشكل):

- المكبر الأولي (Pre-Amplifier): ويوضع عند جهة الإرسال لتكبير إستطاعة الإشارة الضوئية قبل إرسالها على الليف
- مكبر الخط / المرحلي (Line Amplifier): يستخدم عند الحاجة لتكبير الإشارة لإرسالها مسافات طويلة مثلاً. أو تكبيرها في نقاط وسيطه دون الحاجة لإضافة أو إسقاط أطوال موجة
- مضخم داعم عند الاستقبال (Booster Amplifier): ويوضع عند جهة الاستقبال لتكبير إستطاعة الإشارة المستقبلة قبل كشفها



الشكل 9-17: مكبر إشارة ضوئي

قناة الإشراف الضوئية (Optical Supervisory channel "OSC")

وتكون عادة خارج المجال الضوئي ل DWDM (غالباً 1510nm) ولاتمر عبر مكبر الإشارة. وكما هو واضح من الاسم فتستخدم هذه القناة لأغراض الاشراف نحو إرسال حالة التجهيزات للطرف البعيدة (الطرفية) أو حالة الإشارة الضوئية المجمعة. كما يمكن الاستفادة منها للتحكم بالطرفية البعيدة أو غيرها من أغراض الاشراف والتحكم الضرورية لعملية التشغيل والصيانة.

إن الهدف من استخدام طول موجة خارج مجال DWDM هو زيادة الحماية والإبقاء على إمكانية التحكم في حالة عطل في أحد الوحدات المسؤولة عن عملية التجميع DWDM كعطل في مكبر الإشارة مثلاً.

وحدات ثانوية

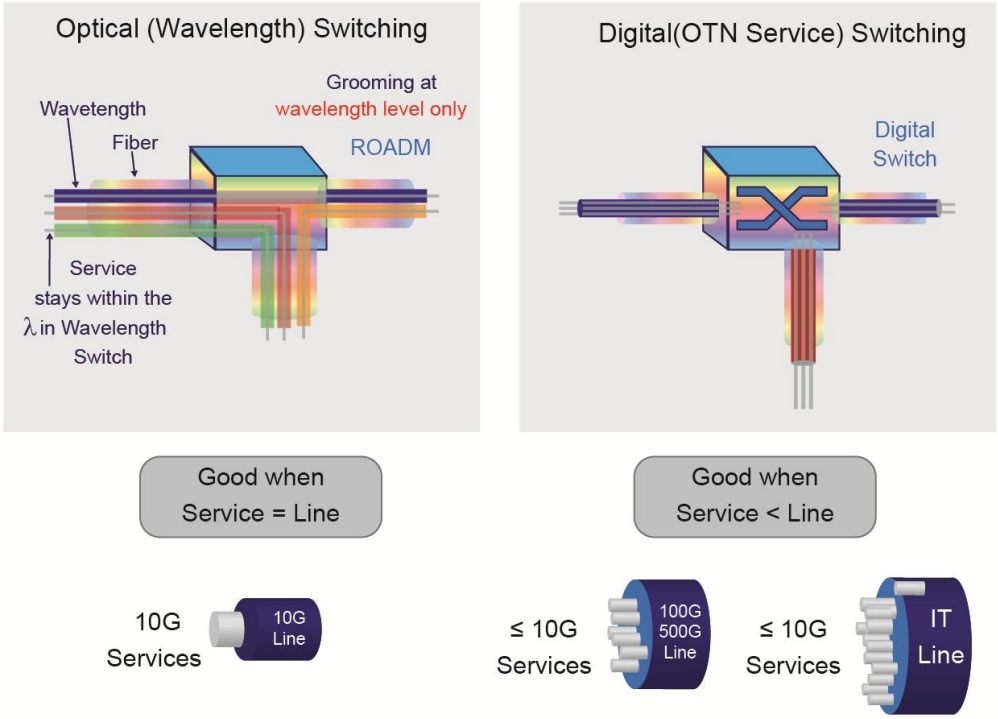
يتم تركيبها حسب الحاجة. كوحدات التحكم والاتصال (System Control & Communication Unit SCC) والتي تؤمن المآخذ المناسبة للتحكم والاتصال بالطرفية البعيدة (كسماعات هاتف لمهندسي الصيانة مثلاً) ووحدة تعويض التشتت (Dispersion Compensation Fiber Module DCM).

8. لمحة عن التوصية المعيارية (Optical Transport Networks G.709)

على الرغم من انتشارها الواسع جداً لكن تقنية DWDM ظلت تعاني من بعض المساوئ لناحية قلة المرونة وهدر السعات مما دفع لإيجاد تقنية مكملة لـ DWDM لتدارك هذه المساوئ. تعرف هذه التقنية بشبكات النقل الضوئية (Optical Transport networks "OTN") والمعرفة بتوصية الاتحاد الدولي للاتصالات ITU-T رقم G.709. سنستخدم مصطلح OTN دون ترجمة حتى لايتم الخلط مع المصطلح الأعم لشبكات التراسل الضوئية والتي تشمل كل الاتصالات الضوئية.

كما ذكرنا مسبقاً فإن تقنية DWDM عانت من مشاكل قلة المرونة والتي تنبع من محدودية التبديل (switching) على المستوى الضوئي حيث أنه من الصعوبة وضع أكثر من عميل (Client) على طول موجة محدد مما يؤدي إلى هدر في حالة عدم تناسب السعة المطلوبة لخدمة العميل مع معدل النقل المتاح على طول الموجة (حتى 100Gbps). مثلاً لنفرض أن العميل بحاجة لسعة 1Gbps فإنه من الهدر بمكان تخصيص هذا العميل بطول موجة لما في ذلك من الهدر. وعليه وجد أنه من الضرورة اعتماد تبديل على المستوى الرقمي أو بشكل آخر على مستوى الخدمة (Services) المطلوبة من العملاء بحيث يمكن تجميع عدة خدمات مطلوبة من عدة عملاء على طول موجة واحد. يعرف هذا النوع من التبديل بـ Digital (OTN Services) Switching وفيه يمكن التحكم بمحتويات طول الموجة الداخلية إضافة، اسقاطاً أو تجميعاً.

يوضح الشكل 18- أدناه كلاً من تقنيتي التبديل: التبديل الضوئي والتبديل الرقمي.

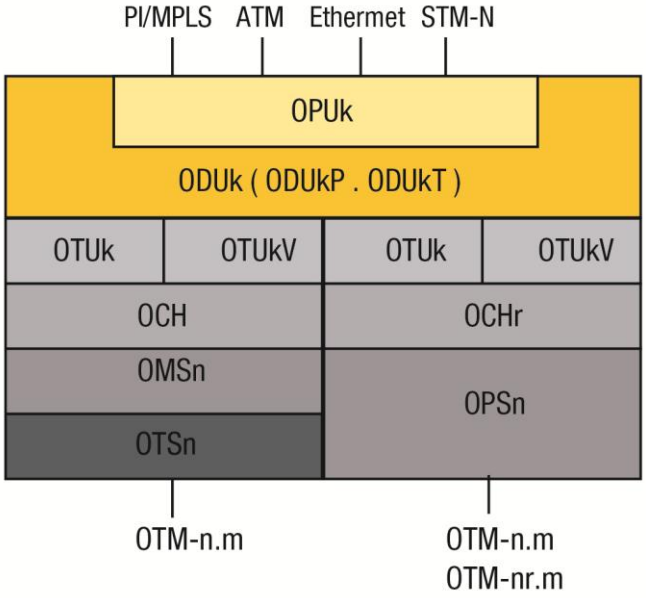


الشكل 9-18: التبديل الضوئي والتبديل الرقمي

بالإضافة إلى الميزات المذكورة أعلاه فإن OTN يوفر آليات حماية (حلقية، ...) مماثلة أو تفوق تلك التي يوفرها SDH ويتعذر على DWDM وحده توفيرها بدون هدر كبير لأطوال الموجة. مثال على هذه الآليات:

- ODUk SNCP
- (ODUkSPRing) shared Protection Ring, like the MSPR in SDH

وعليه يمكن القول اختصاراً بأن تقنية OTN هي تقنية متممة لـ DWDM تتيح مرونة في التعامل مع خدمات العملاء (client services) أياً كان نوع المآخذ (SDH, PDH, FE, GE, ATM,.....) وأياً كان معدل النقل المطلوب مع ضمان استخدام أمثلي (قد يصل إلى 100%) للسعات المتاحة على كل طول موجة بالإضافة إلى توفر آليات حماية مناظرة وأفضل من تلك الموجودة في باقي الانظمة نحو SDH. لتحقيق ذلك يعتمد OTN على بنية من عدة طبقات (Layers) كما هو موضح بالشكل 9-19. نترك للقارئ المهتم الرجوع إلى المراجع المختصة للتعرف عليها.



الشكل 9-19: طبقات الـ OTN

9. لمحة فنية

لعل من أبرز مصنعي التجهيزات الضوئية هي شركات: Huawei, ZTE, Ericsson, Alcatel-Lucent, Cisco سنستعرض فيما يلي أحد هذه المنتجات والمعروف بـ ONS 15454 والمنتج من شركة Cisco (الشكل 9-20).

الشكل 9-20: ONS 15454

جهاز ONS 15454 متعدد المهام يدعم تقنيات CWDM, DWDM, SDH وحتى تبديل Ethernet (L2 Ethernet switching). كما أنه قادر على تأمين 80 طول موجة مختلف باستخدام أحد المجمعات الضوئية التي يوفرها. يوضح الشكل 9-21 أحد هذه الأنواع.

الشكل 9-21

يوفر هذا النوع عشرات وحدات الإرسال / الاستقبال الضوئية (Optical Transponder Unit "OUT") بمعدلات نقل مختلفة أقصاها 100 Gbps. لأي من أنواع الروافد التالية:

- SDH: STM1, STM4, STM16
- OTN: OUT-1, OUT-2
- Ethernet:

FE, GE, 10GE, 100GE (انظر الشكل 9-22 لـ 100GE Transponder)

الشكل 9-22: 100GE Transponder

- SAN:
  - Enterprise Systems Connection (ESCON)
  - Gigabit Fibre Channel or fiber connectivity (FICON-1)
  - Gigabit Fibre Channel or FICON-2
  - Gigabit Fibre Channel or FICON-4
  - Gigabit Fibre Channel or FICON-8
- Video:
  - SD-SDI (270 Mbps)
  - HD-SDI (1.485 Gbps)
  - Third-generation SDI (3G-SDI) (2.970 Gbps)

كما يوفر وحدة الإرسال / الاستقبال الضوئية القادرة على تجميع عدد من خدمات العملاء (client services) عن طريق عدة روافد على طول موجه واحد بما يعرف بـ (Mux–ponders) أو حتى وحدة الإرسال / الاستقبال الضوئية القادرة على تبديل (L2 Ethernet Switching) عدد من خدمات العملاء عن طريق عدة روافد نوع FE, GE, 10GE بما يعرف بـ (Xponder).

يستخدم هذا الجهاز للتطبيقات التي تحتاج سعات عالية ولمسافات متباعدة كحالة الشبكات الفقارية للدول. يمكن للقارئ المهتم مراجعة موقع الشركة على شبكة الإنترنت لمزيد من المعلومات.

أسئلة وتمارين:

(لكل سؤال 4 علامات غير قابلة للتجزئة وبالتالي تكون العلامة الكلية من 20).

1. من ميزات الليف الضوئي تأثره الكبير بالتداخل والتشويش من قبل الإشارات الكهرطيسية المجاورة.
   a. صح
   b. خطأ

2. من محاسن الليف الضوئي:
   a. استهلاك قليل للطاقة عند الإرسال
   b. أكثر استقرارية ووثوقية منها في الكابلات النحاسية
   c. دعم معدلات نقل كبيرة جداً من مرتبة الـ Tera Tbps
   d. إمكانية معرفة مكان قطع الليف عن طريق موجات الضوء المرتدة
   e. جميع ما ذكر صح

3. في بنية الليف الضوئي تكون قرينة الانكسار للنواة (Core) أصغر منها في العازل لضمان حصر الضوء داخل الليف الضوئي:
   a. صح
   b. حطأ

4. يمكن أن تصنف الألياف الضوئية حسب:
   a. حسب عدد الأنماط
   b. حسب تغير قرينة الانكسار
   c. جميع ما ذكر صح
   d. جميع ما ذكر خطأ

5. من أهم العوامل المؤثرة على الاتصال عبر الألياف الضوئية:
   a. التخامد والتشتت
   b. التداخل والتشويش
   c. العوامل الجوية
   d. جميع ما ذكر

رقم السؤال	الجواب
1	b
2	e
3	b
4	c
5	a

الفصل العاشر
شبكات النفاذ Access Network

1. مقدمة

تخرج الدراسة التفصيلية لشبكات النفاذ عن نطاق هذه الأُملية. غير أننا سندرس باختصار بعضا من شبكات النفاذ وخصوصا تلك المتعلقة بشبكات التراسل. مع العلم أن العديد من شبكات النفاذ وخصوصا الراديوية يتم تغطيتها في مناهج أخرى.

كما ذكرنا سابقاً فإن شبكات النفاذ هي الشبكات التي يتم وصل طرفيات terminals المشتركين إليها مباشرة للولوج إلى شبكة الاتصالات (التراسل ومنها للشبكة المركزية باتجاه الوجهة النهائية المطلوبة) ويمكن تقديم خدمات متعددة بواسطتها للمستخدمين النهائيين. على سبيل المثال لا الحصر: مكالمات صوتية، فيديو، تلفزة، إنترنت،... ويمكن أن يكون المشتركون بالطبع متصلين بشبكات نفاذ مختلفة. تتميّز شبكات النفاذ بأنها أكبر أجزاء شبكات الاتصالات تكلفة، وذلك بسبب امتدادها الجغرافي الواسع (للوصول إلى المشتركين كافة، في المدن والأرياف) كما أنها كثيراً ما تكون "نقاط اختناق" bottlenecks في انسياب حركة الاتصالات إجمالاً، وبخاصة مع ازدياد نهم المشتركين إلى عرض الحزمة (خدمات الفيديو أو التلفزة على الشبكة مثلاً)؛ لهذا السبب، يقوم مشغّلو الاتصالات باستمرار بإدخال تقانات جديدة في شبكات النفاذ مما أدى لتنوعها الواسع.

وبشكل عام يمكن تقسيمها لنوعين رئيسيين:

1. شبكات نفاذ راديوية (لاسلكية) (Radio access networks RAN)

   نحو شبكة GSM، شبكة الجيل الثالث UMTS، شبكة الجيل الرابع LTE، شبكة WiMAX، شبكة Wi-Fi المدينية (Metro Wi-Fi).

2. شبكات نفاذ سلكية

   نحو المودیم الحاسوبية الإعتيادية، شبكة المشترك الرقمية "DSL" Digital Subscriber Line، شبكات النفاذ الضوئية FTTX, PON، شبكات الكابل (كالتلفزة الكابلية مثلاً) (Cable Modem Termination System "CMTS").

كما ويجدر الذكر أن شبكات النفاذ التي تؤمن خدمة انترنت سريعة تعرف بشبكات النفاذ بالحزمة العريضة broadband إلى الإنترنت، وكل الأمثلة المذكورة أعلاه تندرج تحت هذا التصنيف عدا شبكة GSM والمودیم الحاسوبية الاعتيادية.

ومع ازدياد نهم المشتركين إلى عرض الحزمة (خدمات الفيديو أو التلفزة على الشبكة مثلاً)؛ لهذا السبب، يقوم مشغّلو الاتصالات باستمرار بإدخال تقانات جديدة في شبكات النفاذ، وسنوجز بعضاً منها في الفقرات الآتية وسنكتفي بالتركيز على نوعين رئيسيين: خط المشترك الرقمي DSL وشبكات النفاذ الضوئية.

2. استخدام الدارات المؤجّرة

استُخدمت الدارات (أو الخطوط) المؤجّرة leased lines تاريخياً للربط الشبكي بين نقطتين، أو للربط الشبكي اللازم لإنشاء الشبكات الخصوصية، مثل شبكات المؤسسات enterprise networks، عندما تمتد المؤسسة جغرافياً على أكثر من موقع واحد، سواء أكانت هذه الشبكات مخصّصة لخدمة الصوت أو المعطيات أو كلتا الخدمتين معاً. وتستخدم الدارات المؤجرة أيضاً لزيادة عرض الحزمة المقدّمة للمشترك، في حالة تبادل المعطيات أو النفاذ إلى الإنترنت. وتتميّز هذه الدرات بأنها "لامبتدلة" non-switched، أي إنها لا تمر عبر البدّلات الهاتفية في منصة الاتصالات، بل "تُسحب" مباشرة من شبكة التراسل، ويجري وضعها في الخدمة بتشكيل المسار المطلوب باستخدام تجهيزات التراسل، مثل مضمّمات السحب والإضافة (Add & Drop Multiplexer)، بحيث يبقى هذا المسار قائماً طيلة مدة استئجار الدارة (التي قد تصل إلى سنوات). وعلية فإن الدارات المؤجّرة هي بمثابة مد جزء من شبكة التراسل للمشترك مباشرة وتخصيصه بهذا المسار الذي يوصل للشبكة المركزية.

3. استخدام شبكات التلفزة الكابلية

يمكن أيضاً استخدام شبكات "التلفزة الكابلية" cable TV (حين وجودها) لنقل حركة المعطيات. وهذه الشبكات مصمّمة أساساً لنقل البثّ التلفزي/الفيديوي سلكياً نحو المشتركين، أي بالمسار الهابط فقط downstream، باستخدام الكابلات المحورية coaxial cables، وهو ما جعل من الضروري تطويرها لإضافة اتجاه صاعد upstream لها. ونظراً إلى أن هذه الشبكة –وفق تصميمها الأصلي المخصّص للبثّ broadcast– هي شبكة يتشارك فيها المشتركون باستخدام مقاطع الكابل المحوري ذاتها فإن سرعة نقل المعطيات فيها تتعلّق بعدد هؤلاء المشتركين، ولهذا السبب فإن هذه التقانة تناسب المشتركين المنزليين أكثر من مشتركي الأعمال. وتتصل مقاطع الكابلات المحورية بشبكة الألياف الضوئية وصولاً، من جهة، إلى محطة التوزيع لتقديم خدمة البثّ الفيديوي، ومن جهة أخرى، إلى منصة تقديم خدمات الإنترنت أو تبادل المعطيات، وذلك عبر شبكة التراسل.

4. استخدام الوصلات اللاسلكية (WLL, WiFi, WiMAX)

استخدام الدارات المحلية اللاسلكية "Wireless Local loops "WLL في شبكات المشتركين قديم، وهي عادة وصلات نقطة إلى نقطة بين تجهيزة المشترك ومحطة لاسلكية (تُسمى المحطة القاعدية base station)، وتحتاج إلى "خط نظر" line of sight بين الهوائيين؛ لذلك لم تكن تُستخدم عملياً إلا في الحالات التي يكون فيها مدّ الدارات المحلية السلكية صعباً أو مكلفاً. غير أن التقانة التي "غيّرت الموقف" هي تلك التي تعرف بالشبكات المحلية اللاسلكية Wireless Local Area Network (WLAN) (المعروفة تجارياً بـ WiFi)، بعد أن انتقل استخدامها من الشبكات الحاسوبية المحلية إلى شبكات النفاذ، وفيها يمكن لعدد من المشتركين أن يتشاركوا في الدخول إلى قناة راديوية واحدة عريضة الحزمة. وقد جرى بعدها مدّ نطاق هذه التقانة إلى منطقة مدينية، فظهرت الشبكات المدينية اللاسلكية Wireless Metropolitan Area Network (WMAN) (سوّقت تجارياً باسم WiMAX)، التي يمكن لها أن تقدّم بديلاً عن الدارات المؤجّرة التقليدية لمشتركي الأعمال، أو أن تستخدم لوصل المحطات القاعدية للشبكات المحلية اللاسلكية رجوعاً إلى قلب الشبكة.

تجدر الإشارة هنا إلى أن هذه الأنواع تندرج تحت ما يعرف بتقنيات النفاذ الراديوية (Radio Access technologies "RAT") بالإضافة إلى نظم الاتصالات الخلوية التي سيتم الحديث عنها لاحقاً.

5. نظم الاتصالات الخلوية

مع تنامي حاجة المشتركين لشبكات تتمتع بخاصية الحركية (Mobility) على نطاق عالمي، أي أنها تسمح للمشترك بالوصول إلى الخدمة أيا كان موقعه ما دام هذا الموقع يقع في نطاق تغطية (Coverage) الشبكة وبذلك ظهر للوجود كائن جديد من شبكات النفاذ الراديوية (Radio Access Technology RAT) يعرف بالاتصالات الخلوية.

إن الحديث التفصيلي عن هذا النوع من شبكات النفاذ يخرج عن نطاق هذه المادة وسنكتفي بذكر أجيال هذا النوع باقتضاب شديد تاركين للقارئ العودة إلى المواد المختصة في هذا المجال.

1.5. أنظمة الجيل الأول

كانت أولى الشبكات الخلوية التي انتشرت في أوروبا وأمريكا والتي تعرف باسم أنظمة الجيل الأول تعتمد نظماً وتقنيات تمثيلية (Analog Systems) وذات سعات محدودة وتقتصر على توفير خدمات الاتصالات الصوتية التقليدية وحسب مع افتقارها لخدمات التجوال الدولي.

2.5. أنظمة الجيل الثاني

نتيجة التطور السريع الذي شهدته التقنيات الرقمية (Digital) وعدم قدرة أنظمة الجيل الأول على تلبية حاجات المستخدمين المتزايدة بدأ العمل على تطوير نظم تعتمد تقنيات رقمية من جهة وتستند إلى معايير دولية معتمدة منجه أخرى. وقد تميزت هذه النظم عن سابقاتها بحرص مطوريها على توفير خدمات الاتصالات الصوتية التقليدية بالإضافة إلى خدمات البيانات والمعطيات والولوج إلى شبكة الانترنت ولعل أبرز هذه النظم ودون منازع هو نظام GSM الأوروبي وIS95 الأمريكي.

3.5. أنظمة الجيل الثالث

دفع نجاح شبكات الجيل الثاني باتجاه دراسة تطوير نظام عالمي موحد يتعدى خدمات الاتصال الصوتي التقليدية إلى خدمات أخرى كمكالمات الفيديو والنفاذ العريض الحزمة لشبكة الانترنت للشبكات النقالة (Mobile Broadband "MBB") فجاء نظام UMTS. حتى يومنا هذا يمكن لنظام UMTS توفير معدلات نقل تتجاوز 168 Mbps وهذا الرقم قابل للازدياد مع الاستمرار بإضافة تقنيات جديدة.

4.5. أنظمة الجيل الرابع

مع ازدياد عدد المشتركين والنهم لنفاذ عريض ذو سرعات أعلى مع حركية عالية صدرت في العام 2008 أولى التوصيلات الفنية المتعلقة بالجيل الرابع (Release 8) والذي يعتمد تقنيات جديدة على الرابط الراديوي تمكن من الوصول لمعدلات نقل معلومات تتجاوز 1000 Mbps. مع تنوع أكبر في الخدمات (Services) وجودة الخدمة (Quality of service QoS) الممكن تقديمها.

5.5. أنظمة الجيل الخامس

مع ازدياد الخدمات والتطبيقات والاحتياجات المطلوبة من شبكات النفاذ الخلوية أصبح من الضروري العمل على إيجاد جيل جديد لتلبية هذه الاحتياجات. ويتوقع أن يكون هذا الجيل جاهزاً بصيغته التجارية النهائية في عام 2020 إلا أنه سيتم قبل ذلك إطلاق عدة شبكات تجريبية منها شبكتين تجريبيتين في اليابان وكوريا في عام 2018. يمكن إيجاز المطلوب من نظام 5G بما يلي:

- سرعات 10 – 50 Mbps
- تأخير لا يتجاوز 1msعلى الرابط الراديوي
- استهلاك ضئيل جداً للطرفيات للطاقة الكهربائية
- عدد مشتركين يتجاوز (بشر بالإضافة لآلات) يتجاوز 106 مشترك في الكيلومتر المربع. لتلبية احتياجات ما يعرف بشبكات الحساسات (Senor Network) كجزء من التطبيق الأهم: انترنت الأشياء (Internet of things IoT)

6. خط المشترك الرقمي "DSL"

عندما وصلت الموديمات التقليدية التي تستخدم الدارات المحلية (أسلاك حطوط الهاتف والتي تتكون بالغالب من أسلاك نحاسية مجدولة) لسرعاتها القصوى والتي لم تعد تلبي احتياجات المشتركين قامت شركات الهاتف التقليدية وسعيا منها لتخفيض الكلفة بالعمل على زيادة عرض الحزمة الممكن حملها على الدارات المحلية (أسلاك حطوط الهاتف) لإطالة أمد استخدام الأسلاك النحاسية في شبكات النفاذ ومن هنا بزغت تقنية خط المشترك الرقمي (Digital subscriber Line "DSL"). التي تسمح بالوصول إلى سرعات نقل مقبولة لتطبيقات الفيديو والإنترنت، ولكن لمسافات محدودة نسبياً لا يتجاوز طولها بضعة كيلومترات.

تعتبر خطوط المشترك الرقمية (DSL) أحد طرق شبكات النفاذ وأكثرها انتشاراً ولا تعتبر تقنية من تقنيات التراسل ولكن يمكن استخدامها للتراسل في حالات خاصة على سبيل المثال في حالة الخلايا الصغيرة (small cells) والتي انتشرت بشكل كبير مؤخراً في شبكات الجيل الثالث والجيل الرابع والتي سيكون لها دور محوري وهام جداً في شبكات الجيل الخامس.

ولهذه التقنية العديد من الأنواع نحو: ADSL, VDSL, HDSL, SDSL, HDSL2+ وسنقوم في بحثنا هذا باستعراض أبرز هذه الأنواع وأكثرها شيوعا بشكل مختصر.

1.6. خط المشترك الرقمي غير المتناظر "ADSL"

من الاسم توفر تقنية ADSL معدل نقل للمسار الصاعد (Upstream) أي من المشترك إلى المخدم أقل منه للمسار الهابط (Downstream) أي من المخدم إلى المشترك، وهذا منطقي حيث أنه وبشكل عام فإن احتياجات التنزيل (Download) من الشبكة أعلى من احتياجات التحميل (Upload). وهذا يجعلها مناسبة لقطاع المشتركين العاديين أكثر منها لقطاع الأعمال حيث قد يحتاج قطاع الأعمال لمعدلات نقل عالية بالاتجاهين.

تعتمد تقنية ADSL على خطوط الهاتف المتوفرة أصلاً. والسؤال هنا ما الذي يجعلها توفر سعات أكبر من تلك التي توفرها الموديمات التقليدية؟ يكمن الجواب في أن كابلات الهاتف والتي هي عبارة عن أزواج كابلات مجدولة (Twisted pair) والتي غالباً ما تكون نحاسية، توفر عرض حزمة يصل نظرياً حتى 1.1 MHz وعليه تقوم ADSL باستغلال كل عرض الحزمة المتاح واستعماله لإرسال إشارات الصوت (Voice) والمعطيات (Data) معاً.

وليتم ذلك استغلال الـ ADSL لكل عرض الحزمة المتاح واستعماله لإرسال إشارات الصوت (Voice) والمعطيات (Data) معاً. كان لابد من التغلب على عدة تحديات نوجزها فيما يلي:

- إزالة مرشحات الصوت:

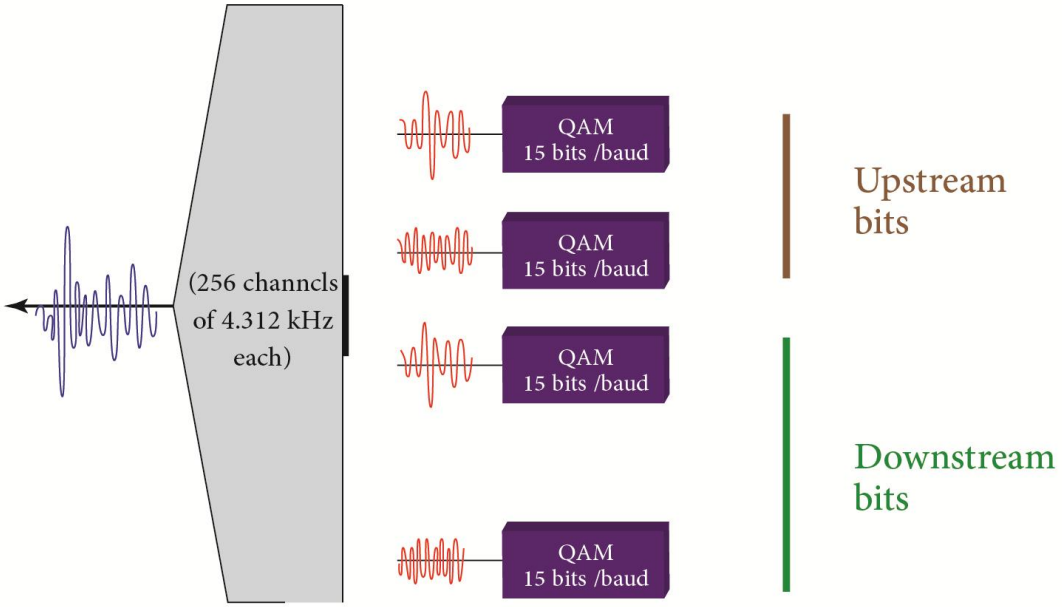
جرت العادة أن توضع مرشحات LPF تسمح فقط بتمرير إشارة الصوت المفيدة (4 KHz) في المقاسم. لاستخدام ADSL يتوجب إزالة هذه المرشحات لاستخدام كل السعة المتاحة على كل أزواج الكابلات المجدولة.

- اعتماد تقنية متكيفة:

إن عرض الحزمة 1.1 المتوفر على الكابلات المجدولة هو نظري ومتعلق بالعديد من العوامل منها بعد المشترك عن المقسم، قياس مقطع الكابل ونوع التشوير (Signaling) المستخدم، .... قدمت ADSL حلاً لهذه المشكلة حيث تقوم أولاً بفحص حالة وعرض الحزمة الترددي المتاح على الكابل قبل اختيار معدل النقل الممكن. وعليه فإن معدل النقل في ADSL غير ثابت ويتكيف تبعاً لحالة الكابل.

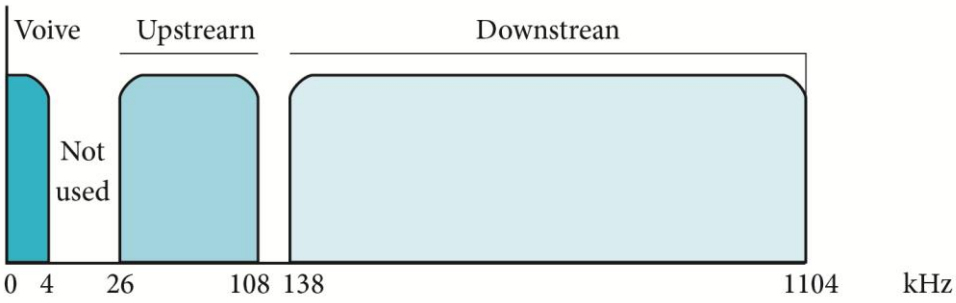
- تعديل القنوات الجزئية المتعددة والمنفصلة ("DMT" Discrete multi–tone)

تعتمد تقنية ADSL هذا النوع من التعديل. هذا التعديل يمزج بين تعديل QAM وتقنية النفاذ المتعدد باقتسام التردد FDM. بحيث يتم تقسيم الحزمة الكلي المتاح إلى قنوات ترددية جزئية ضيقة، ونقل جزء من المعطيات على كل منها بعد تعديل هذه المعطيات بتقنية QAM (لاحظ التشابه مع OFDM). عملياً يتم تقسيم المجال الكلي المتاح (1.104 MHz) إلى 260 قناة جزئية عرض حزمة كل منها (4.321 kHz) كما هو موضح بالشكل 10–1.



الشكل 10-1: تعديل القنوات الجزئية المتعددة والمنفصلة

كما ويوضح 10-2 كيفية توزيع هذه القنوات الجزئية بين إشارة الصوت وإشارة المعطيات (للمسار الصاعد والهابط) والذي نوجزه فيما يلي:



- القناة 0: تخصص لإشارة الصوت.
- القنوات 1 حتى 5: شاغرة لفصل إشارة الصوت عن المعطيات.

- القنوات 6 حتى 30: بما يساوي 25 قناة تخصص للمسار الصاعد. تخصص قناة واحدة منها لأغراض التحكم وباقي الـ 24 قناة لحمل المعطيات. وعليه بعملية حسابية إذا كان لدينا 24 قناة وعرض حزمة كل قناة (4kHz) (من كامل العرض المتوفر لها والبالغ 4.321 kHz) وبتعديل QAM ويخصص ما أقصاه 15bit لكل قناة (في حالة كابل بحالة ممتازة. ويتناقص عدد البتات ليبلغ 2 في الحالة السيئة للكابل) فإنه سيكون لدينا ما أقصاه:

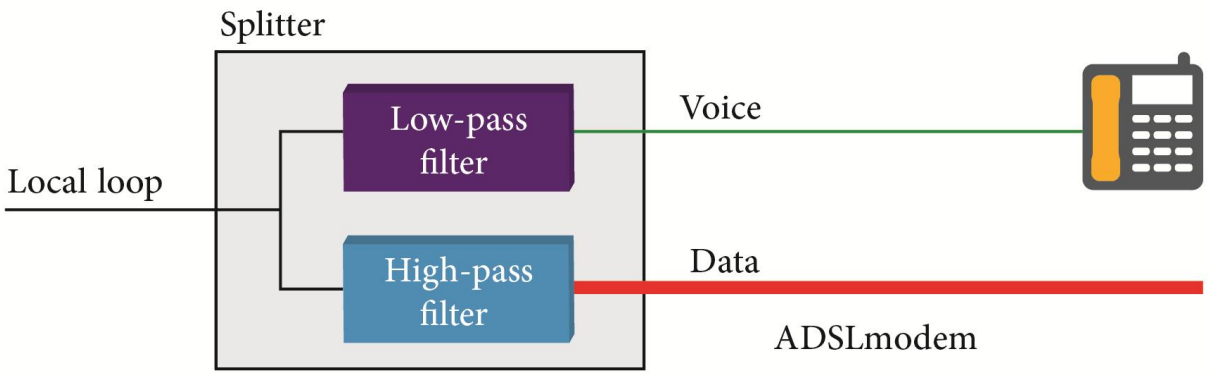
$$24 \text{ X } 4000 \text{ x } 15 = 1.44 \text{ Mbps}$$

ولكن عملياً فإن معدلات النقل المتاحة تكون أقل بكثير ولاتتجاوز (500 Kbps) لأنه لايتم استخدام كل القنوات الجزئية المتاحة بل يتم إغفال القنوات ذات نسب الضجيج (noise) العالية.

- القنوات 31–255: بما يساوي 255 قناة تخصص للمسار الهابط. حيث تخصص قناة واحدة منها لأغراض التحكم وباقي القنوات (224) لحمل المعطيات. وبعملية حسابية نجد أن هذه الـ 224 قناة يمكنها حمل معدلات نقل حتى 13.4Mbps. عملياً ولنفس الأسباب المذكورة آنفاً فإن معدلات النقل المتاحة لا تتجاوز 8 Mbps.

- تجهيزة موديم ADSL:

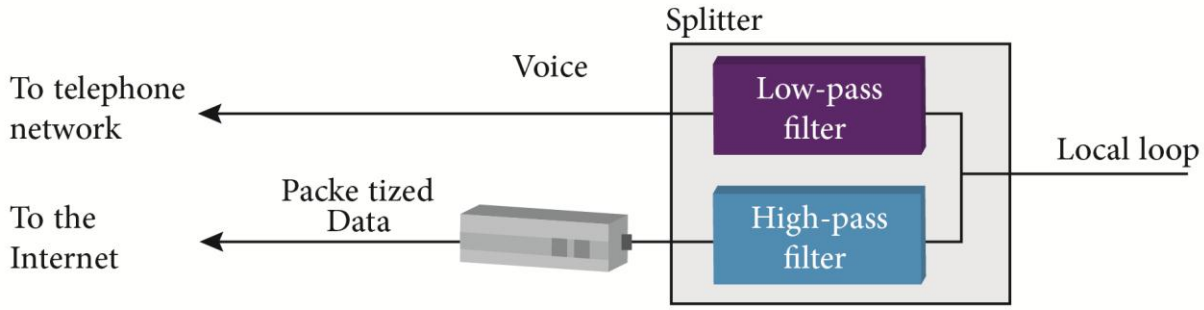
توضع تجهيزة موديم ADSL في طرف المشترك (الشكل 10–3). يتم فصل كلاً من إشارتي الصوت والمعطيات عن بعضهما باستخدام مجزئ أو مفرع (Splitter) يفصل كلاً من إشارتي الصوت والمعطيات عن بعضهما. كما وتقوم تجهيزة الموديم بتعديل وفك التعديل بتقنية DMT للحصول على قنوات المسار الصاعد والهابط.



الشكل 10–3

- من طرف شركة الهاتف Digital Subscriber Line Access Multiplexer "DSLAM"

أما من طرف شركة الهاتف فلا يتم تركيب موديمات ADSL بل يتم تركيب تجهيزة تدعى منضد النفاذ لخطوط المشتركين الرقمية (Digital Subscriber Line Access Multiplexer "DSLAM"). في الواقع لهذا الجهاز وظائف مماثلة للموديم ويضاف إليها تحويل معطيات المستخدم إلى رزم (Packets) ليصار إلى إرسالها إلى مزود خدمة الأنترنت (Internet service provider ISP) كما هو موضح بالشكل 10-4.



الشكل 10-4

2.6. خط المشترك الرقمي العالي السرعة HDSL

يتم تصميم HDSL كبديل مساعد لنقل E1 أو T1 لمسافات أطول على الكوابل المجدولة. إن اعتماد E1 و T1 على الترميز ثنائي القطبية (Alternate mark inversion AMI) جعل أقصى مسافة لإرسالهما لا تتجاوز 1km (عملياً أقل من ذلك بكثير) لأن AMI يتعرض لتخامد كبير عند الترددات العالية. عند الحاجة للإرسال لمسافات أكبر كان لابد من اعتماد مكررات للإشارة مما تعني زيادة التكاليف. جاءت تقنية HDSL لتقدم حلاً لهذه المشكلة باعتمادها ترميز نوع 2B1Q والذي هو أقل عرضة للتخامد من نظيره AMI. وعليه أصبح من الممكن الإرسال لمسافات تصل إلى (3.86 km).

تجدر الإشارة إلى أن تقنية HDSL ترسل على زوجين مجدولين (4 كابلات) بدل زوج واحد لتوفير اتصال مزدوج الاتجاه بالكامل (Full-Duplex transmission) إن هذه التقنية من التقنيات المستخدمة لتأمين التراسل (إضافة لشبكات النفاذ) للعديد من التطبيقات بما فيها الاتصالات الخلوية. مثلاً في بعض الحالات يتم وصل المحطات (BTS) بمحطات التحكم القاعدية (BSC) باستخدام موديمات HDSL في حال توافر كابلات مجدولة (خطوط هاتف).

3.6. خط المشترك الرقمي المتناظر SDSL

هو حالة خاصة من تقنية HDSL يتم فيها استخدام زوج واحد فقط من الكوابل المجدولة بدلاً من زوجين. توفر هذه التقنية اتصال مزدوج الاتجاه كامل (Full-Duplex) يدعم معدلات نقل أقصاها 768kbps في كل اتجاه، أي على المسار الصاعد وعلى المسار الهابط وبشكل متساو (متناظر) عكس ما كان عليه الحال في تقنية ADSL. إن سرعات النقل التي توفرها SDSL تجعلها مناسبة لمشترك عادي ولكنها بالطبع غير كافية لقطاع الأعمال. مثلها مثل تقنية HDSL فإن SDSL من التقنيات المستخدمة في مجال التراسل (إضافة إلى شبكات النفاذ) حيث تستخدم في الاتصالات الخلوية مثلاً لوصل المحطات (BTS) بمحطات التحكم القاعدية (BSC) في حال توافر كابلات مجدولة.

4.6. خط المشترك الرقمي ذو السرعة العالية جداً VDSL

جاءت هذه التقنية بديلاً لـ ADSL. عند الحاجة لسرعات أعلى غير متناظرة على المسارين الصاعد والهابط. تؤمن VDSL سرعات نقل تتراوح بين (25-53 Mbps) على المسار الهابط وبسرعة أقصاها 3.2 Mbps على المسار الصاعد. تستخدم هذه التقنية كابلات محورية (Coaxial) أو ضوئية (fiber-optic) أو مجدولة (للمسافات القصيرة).

5.6. خاتمة ولمحة عملية

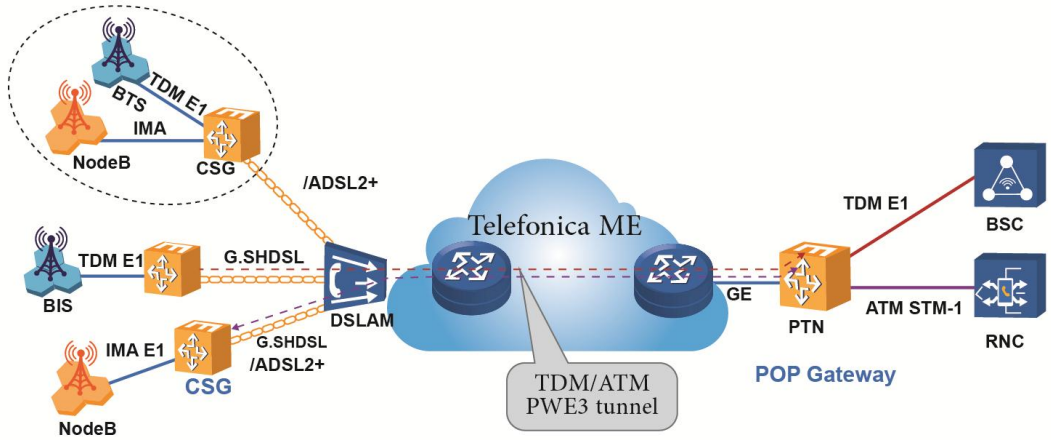
الجدول التالي يلخص ما ذكرناه عن التقنيات المختلفة لـ DSL.

Technology	Downstream Rate	Upstream Rate	Distance (jt)	Twisted Pairs	Line Code
ADSL	1.5–6.1 Mbps	16–640 kbps	12.000	1	DMT
ADSL Lite	1.5 Mbps	500 kbps	18.000	1	DMT
HDSL	1.5–2.0 Mbps	1.5–2.0 Mbps	12.000	2	2B1Q
SDSL	768 kbps	768 kbps	12.000	1	2B1Q
VDSL	25–55 Mbps	3.2 Mbps	3000–10.000	1	DMT

الجدول 10–1: تقنيات الـ DSL

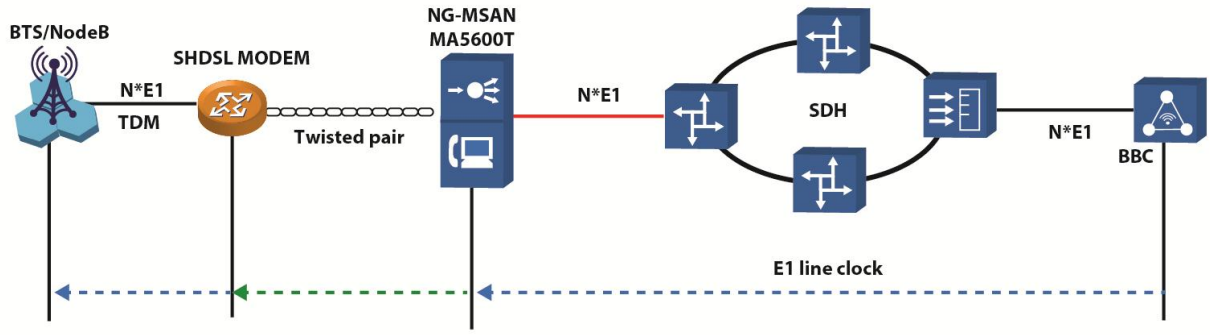
تجدر الإشارة هنا إلى أننا بحثنا في التقنيات الرئيسة وحسب ولازال هناك المزيد من الأنواع الفرعية الأحدث والأكثر تقدماً من خطوط المشترك الرقمية مثلاً: G.SHDSL و+ADSL2 والتي بدأت تجد صدى باستخدامها لتطبيقات التراسل وخاصة للخلايا الصغيرة (Small Cells) والتي تتركز بالعشرات وبشكل متقارب في حيز جغرافي ضيق يستحيل معه تأمين ليف ضوئي أو وصلة ميكروية لكل خلية صغيرة إذ أن هذا غير ممكن لا من الناحية العملية ولا من ناحية الجدوى الاقتصادية وفي هذا الحال لابد من إيجاد حلول رديفة ك DSL.

يوضح الشكل 10–5 مثالاً لاعتماد G.SHDSL و+ADSL2 للتراسل في شبكة Telefonica O2 في ألمانيا.



الشكل 10–5: جزء من شبكة التراسل في شبكة Telefonica O2

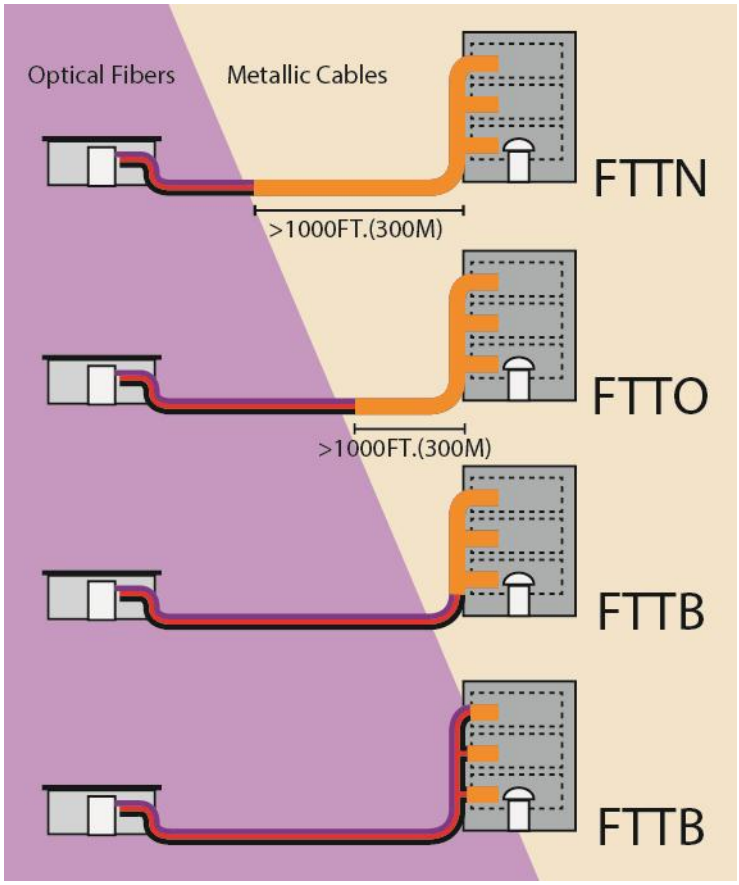
كما يوضح الشكل 10–6 بالتفصيل آلية تأمين التراسل للمحطات (Backhauling) سواءً جيل ثاني وثالث عبر G.SHDSL موديم موصولة مع DSLAM نوع MA5600T من شركة هواوي.



الشكل 10–6

7. شبكات النفاذ الضوئية

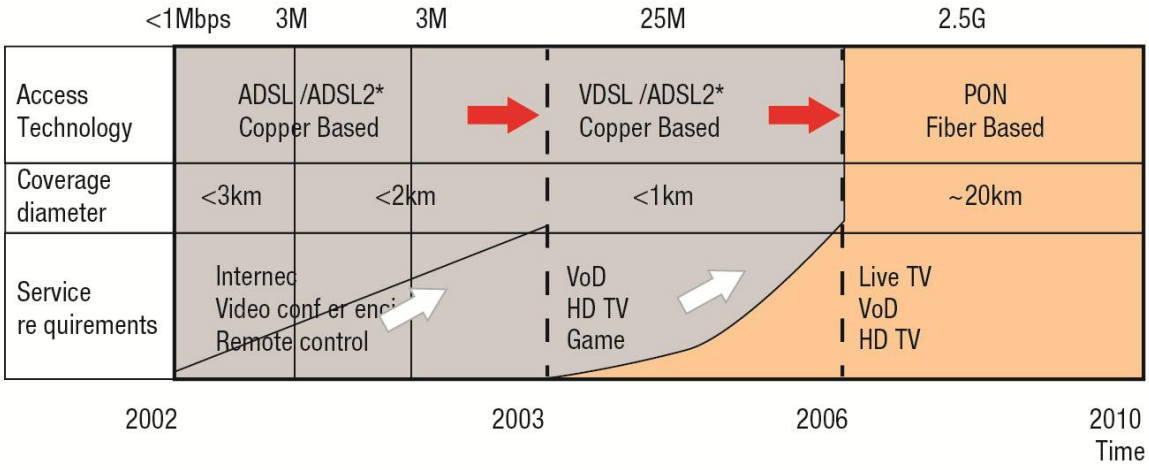
يبقى الحل الأمثل، من ناحية عرض الحزمة وجودة الخدمة، هو مدّ الألياف الضوئية في شبكة النفاذ. والكابلات الضوئية –بحدّ ذاتها– أقل كلفة من الكابلات النحاسية، لكنها تحتاج إلى تجهيزات أكثر تعقيداً للوصل بها. ويطلق عليها اسم "الألياف الضوئية إلى x" FTTx حيث تدل x على الوجهة النهائية. فيطلق عادة اسم "الألياف الضوئية إلى المنزل" fiber to the home (FTTH) على الحلّ الذي يصل فيه الليف الضوئي إلى منزل (أو مكتب) المشترك. وهناك حلول أخرى يصل فيها الليف الضوئي إلى نقاط تبعد بعض الشيء عن المشترك، مثل "الألياف الضوئية إلى المبنى" fiber to the building (FTTB)، و"الألياف الضوئية إلى الرصيف" fiber to the curb (FTTC)، و"الألياف الضوئية إلى عقد التراسل" fiber to the node (FTTN)، الخ. (انظر 10–7).



الشكل 10-7: أنواع شبكات النفاذ الضوئي

ويمكن عموماً التمييز في هذا السياق بين "الشبكات الضوئية النشطة" Active optical networks (AON) و"الشبكات الضوئية اللانشطة" Passive optical networks (PON). في الحالة الأولى، يكون لكل مشترك الليف الضوئي الخاص به، وهذا يتطلّب وضع تجهيزات من نوع المسيّرات أو البدّلات لتوجيه الحركة نحو المشترك وهي تجهيزات ضوئية فعالة (أي يمكنها توليد أو اعادة توليد أو تكبير الاشارة الضوئية ومن هنا جاء اسم "النشطة") وهي مكلفة نوعاً وأقل انتشاراً. أما في الحالة الثانية، فيجري استخدام مجزئات (مفرعات) ضوئية optical splitters (وهي تجهيزات ضوئية غير فعالة) لتفريع ليف ضوئي واحد على عدة مشتركين ويجري عادة استخدام بروتوكول من نوع النفاذ المتعدّد باقتسام الزمن Time-Division Multiple Access (TDMA) لنقل معطيات أولئك المشتركين. بسبب أهميتها وانتشارها سنقوم فيما يلي بعرض موجز عن بنية وآلية عمل الشبكات الضوئية غير النشطة PON.

الشبكات الضوئية غير النشطة PON هي نوع من شبكات النفاذ وتعتمد على عناصر غير نشطة (لا تحتاج لتغذية كهربائية) وتمتاز عن تقنية خط المشترك الرقمي DSL بأنها توفر معدلات نقل أعلى بكثير قد تصل (2.5 Gbps) ولمسافات أكبر بكثير قد تصل إلى 20km. الشكل 10-8**الشكل** يوضح مقارنة لـ PON مع شبكات التراسل الأولى.



الشكل 10-8: مقارنة لـ PON مع شبكات التراسل الأولى

1.7. مكونات الشبكات الضوئية غير النشطة

تتكون الشبكات الضوئية غير النشطة من المكونات التالية (انظر الشكل 10-9): طرفية الخط الرئيسي الضوئية (Optical Line Terminal OLT)

وهي النقطة الانتهائية من طرف مزود الخدمة (service provider) أياً كان نوع الخدمة التي يزودها (PSTN شبكة هاتف، انترنت، تلفزة IP). ولها مهمتان رئيسيتان:

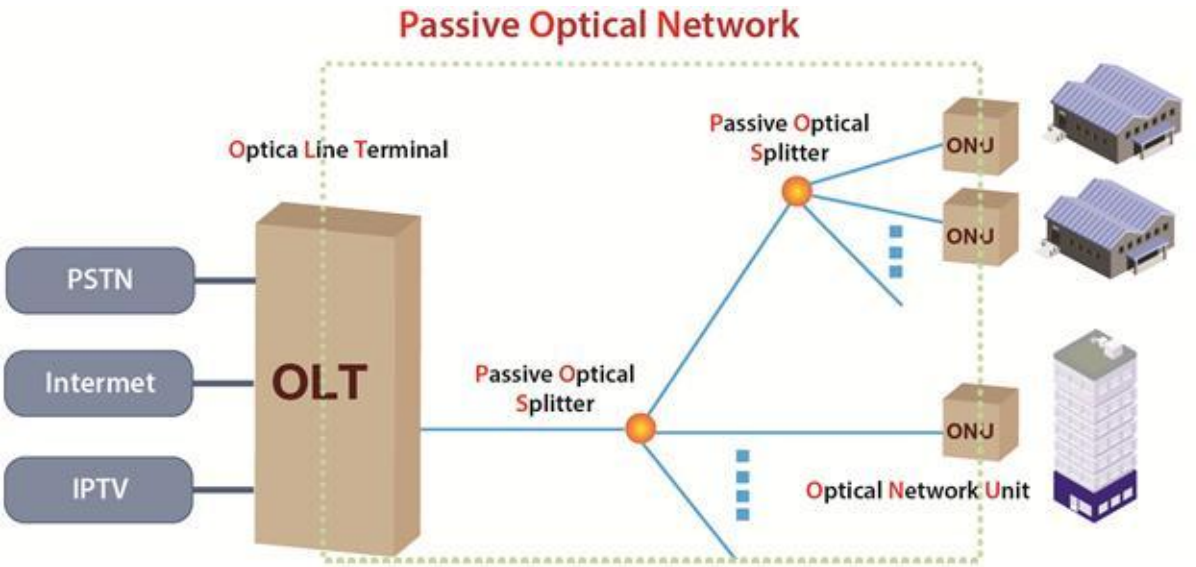
1. تحويل إشارات مزود خدمة الخدمة الكهربائية إلى ضوئية ليصار إلى إرسالها نحو الشبكة الضوئية غير النشطة.
2. تجميع عدة خدمات من مزود / مزودي الخدمة مثلاً انترنت وتلفزة ليصار إلى إرسالها على كابل ضوئي وحيد باتجاه المشتركين.

- مجزئ (مفرع) ضوئي غير نشط (Passive Optical Splitter PON)

يقسم الإشارة الضوئية بشكل غير نشط (passive) من مسار واحد إلى مسارات متعددة (حتى 128 مسار في حالة GPON) كل مسار يخصص لمشترك. يوضع المقسم أقرب ما يكون للمشتركين لتخفيف التكلفة.

- وحدة الشبكة الضوئية (Optical Network Unit)

- وهي النقطة الانتهائية من طرف المشترك التي يجري النفاذ عبرها إلى الشبكة وتوفر منافذ لجميع الخدمات المطلوبة (انترنت، تلفزة IP، مكالمات صوتية IP، ...).



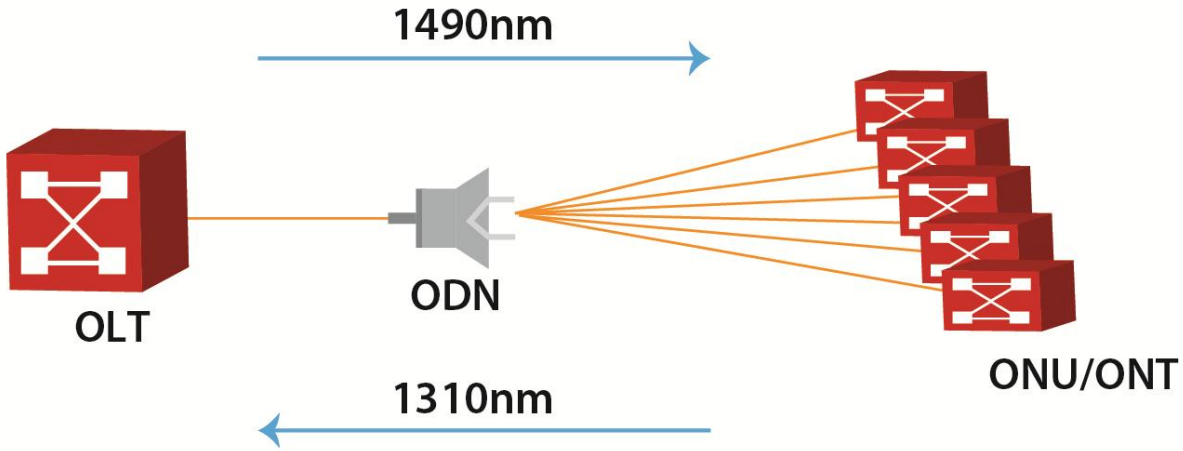
الشكل 10-9: مكونات الشبكات الضوئية غير النشطة

للشبكات الضوئية غير النشطة PON العديد من الأنواع نحو: ATM PON (APON), Broadband PON (BPON), Gigabit PON (GPON), Ethernet PON (EPON). فيما يلي سنركز على GPON بما أنه الأكثر انتشاراً.

2.7. الشبكات الضوئية غير النشطة نوع جيجابت (Gigabit PON "GPON")

يرتكز GPON على المواصفة المعيارية TU – TG 984 ويمتاز بسرعات تصل إلى (2.5 Gbps) إلى مسافات حتى (20km). يعتمد GPON التقنيات التالية:

التضميم باقتسام الموجة (WDM) لإرسال المسار الصاعد (upstream) والمسار الهابط (downstream) على نفس الليف الضوئي حيث يخصص طول الموجة 1310 nm للمسار الصاعد وطول الموجة 1490 nm للمسار الهابط (الشكل 10-10).

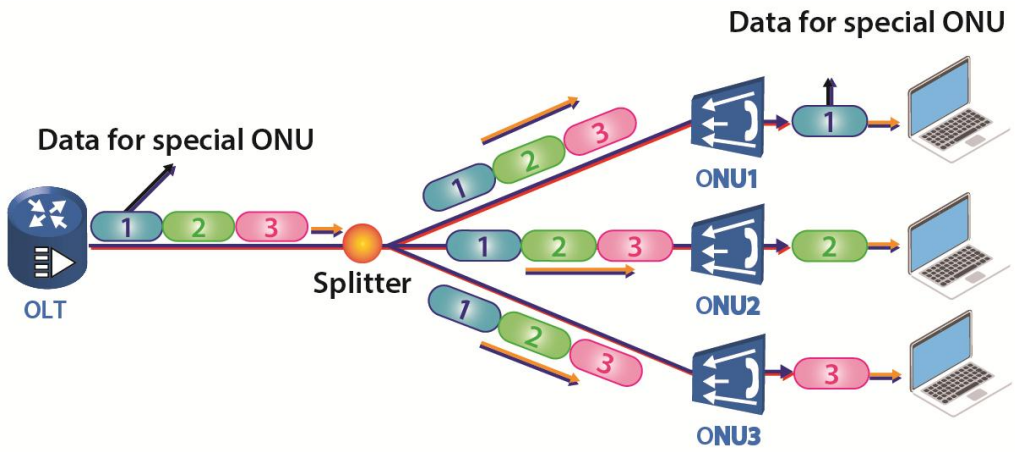


الشكل 10-10: التضميم باقتسام الموجة

آليتي تضميم مختلفتين للمسار الصاعد والمسار الهابط:

- المسار الهابط:

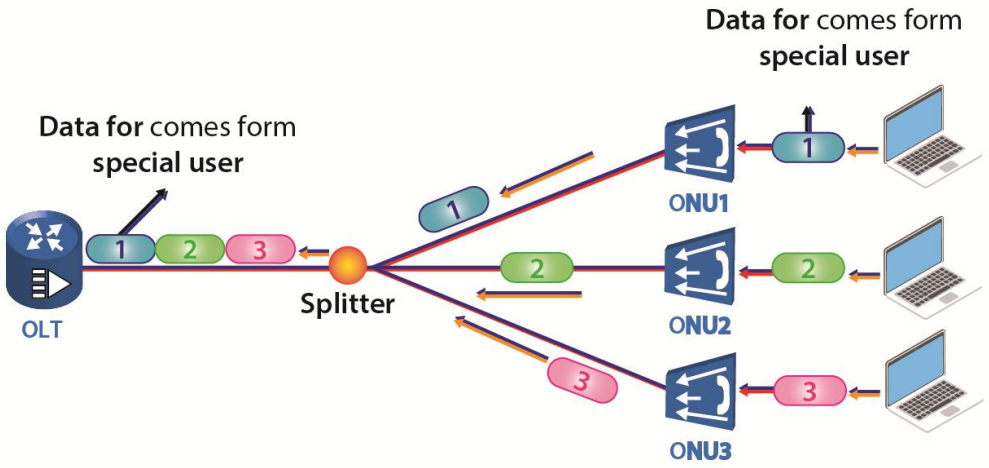
رزم المعطيات ترسل بطريقة البث (Broadcast) أي أن كل المعطيات تصل لكل المشتركين مهما كان المشترك المقصود (الشكل 10-11).



الشكل 10-1: المسار الهابط

- المسار الصاعد:

تعتمد تقنية النفاذ المتعدد باقتسام الزمن (TDMA). انظر الشكل 10-12.



الشكل 10-2: المسار الصاعد

يدعم GPON سبع تشكيلات للسرعات كما يلي:

- 0.15552 Gbit/s up, 1.24416 Gbit/s down
- 0.62208 Gbit/s up, 1.24416 Gbit/s down
- 1.24416 Gbit/s up, 1.24416 Gbit/s down
- 0.15552 Gbit/s up, 2.48832 Gbit/s down
- 0.62208 Gbit/s up, 2.48832 Gbit/s down
- 1.24416 Gbit/s up, 2.48832 Gbit/s down
- 2.48832 Gbit/s up, 2.48832 Gbit/s down

تجدر الإشارة أنه يمكن تحميل معطيات TDM أو Ethernet على GPON باستخدام آليات تحميل محددة تخرج عن إطار هذه المادة.

أسئلة وتمارين:

(لكل سؤال 4 علامات غير قابلة للتجزئة وبالتالي تكون العلامة الكلية من 20).

1. كان الهدف الأساسي من أجيال أنظمة الاتصالات الخليوية هي:
   a. سرعة نفاذ عالية
   b. ضمان جودة خدمة عالية
   c. دعم كل أنواع البيانات
   d. تحقيق استخدام أمثلي لعرض المجال
   e. جميع ما ذكر

2. تعتبر تقنيةDSL تطويراً لطريقة الاتصال القديمة عبر المودمات (64 Kbps)، وتقدم معدل نقل أكبر من 1Mbps.
   a. صح
   b. خطأ

3. تقنية الـ ADSL تقدم معدلات نقل متناظرة للوصلة الهابطة والصاعدة.
   a. صح
   b. خطأ

4. تمتاز تقنية VDSL عن تقنية ADSL بما يلي:
   a. سرعة نقل أعلى تتراوح بين 25-53 Mbps
   b. امكانية استخدام الكابلات محورية (Coaxial) أو ضوئية (fiber-optic) أو مجدولة (للمسافات القصيرة)
   c. جميع ما ذكر صح
   d. جميع ما ذكر خطأ

5. من مكونات شبكات النفاذ الضوئية:
   a. طرفية الخط الرئيسي الضوئية (Optical Line Terminal OLT)
   b. مجزئ (مفرع) ضوئي غير نشط (Passive Optical Splitter PON)
   c. وحدة الشبكة الضوئية (Optical Network Unit)
   d. جميع ما ذكر

رقم السؤال	الجواب
1	e
2	a
3	b
4	c
5	d