الجامعة الافتراضية السورية

SYRIAN VIRTUAL UNIVERSITY

شبكات متقدمة

Books

شبكات متقدمة

من منشورات الجامعة الافتراضية السورية

الجمهورية العربية السورية 2018

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:

شبكات متقدمة، من منشورات الجامعة الافتراضية السورية، الجمهورية العربية السورية، 2018

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

Advanced Networking

Publications of the Syrian Virtual University (SVU)

Syrian Arab Republic, 2018

Published under the license:

Creative Commons Attributions- NoDerivatives 4.0

International (CC-BY-ND 4.0)

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

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

الفهرس

الفصل الأول: التشبيك البيني 1
مفهوم التشبيك البيني 1
مصطلحات التشبيك البيني 3
متطلبات التشبيك البيني 5
مناهج التشبيك البيني 7
التشبيك البيني عديم الارتباط 11
أسلوب عمل التشبيك البيني عديم الارتباط 11
الخدمة بأفضل جهد 14
الفصل الثاني: بروتوكول الإنترنت 15
بروتوكول الإنترنت 15
مصاغة برقية معطيات IP 15
العنونة في IP 17
قضايا متعلقة بالتشبيك البيني في IP 21
بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت 26
مصاغة رسائل ICMP 27
رسائل ICMP 27
بروتوكول IPV6 31
ما الدافع وراء الجيل التالي من IP 31
التحسينات في IPV6 32
بنية IPV6 33
عناوين IPV6 35
الفصل الثالث: التسيير في إنترنت 36
تعريف التسيير ومتطلباته 36
تعريف 36

متطلبات التسيير 37
التسيير المركزي والتسيير الموزع 37
التسيير الثابت والتسيير التكيفي..... 38
خوارزميات التكلفة الدنيا 40
جداول التسيير..... 41
بروتوكولات التسيير 43
بروتوكولات التسيير في إنترنت..... 43
بنيان المسير IP..... 43
النظم المستقلة Autonomous Systems..... 44
طرائق التسيير 47
الفصل الرابع: البروتوكول المفتوح لإيجاد أقصر مسار أولاً OSPF..... 58
مقدمة..... 58
التسيير الهرمي..... 58
المبيان الموجّه..... 59
بروتوكول OSPF..... 63
مصاغة OSPF..... 63
أنواع رسائل OSPF..... 64
مراحل عمل بروتوكول OSPF 64
الفصل الخامس: بروتوكول البوابة الطرفية BGP 65
مقدمة..... 65
مميزات بروتوكول BGP 65
رسائل BGP..... 65
بروتوكول BGP..... 67
اكتساب علاقة الجوار..... 67
قابلية بلوغ الجار..... 69

قابلية بلوغ الشبكة..... 70
تبادل معلومات التسيير في BGP 75
الفصل السادس: دعم جودة الخدمة في إنترنت 78
مفاهيم جودة الخدمة..... 78
حركة السير في الإنترنت 79
بنيان ISA..... 81
لماذا بنيان ISA..... 82
أركان بنيان ISA..... 82
مكونات بنيان ISA في المسير 84
خدمات ISA 85
نظام الأرتال..... 91
بروتوكول حجز الموارد..... 92
الفصل السابع: الخدمات المتمايزة 96
مفاهيم الخدمات المتمايزة 96
مصطلحات الخدمات المتمايزة 96
مبدأ عمل الخدمات المتمايزة..... 101
اتفاقية مستوى الخدمة..... 103
ثُمانيّة DS..... 104
تشكيل الخدمات المتمايزة وتشغيلها..... 107
تكييف حركة السير..... 109
السلوك على مستوى القفزة 110
سلوك التمرير السريع..... 110
سلوك التمرير المضمون 112
مميزات الخدمات المتمايزة 114
الفصل الثامن: البث المتعدد الوجهات..... 115

لماذا الحاجة إلى البث المتعدد الوجهات..... 115
تطبيقات البث المتعدد الوجهات..... 115
مفهوم البث المتعدد الوجهات 115
متطلبات البث المتعدد الوجهات..... 119
وظائف متعلقة بالعنونة 119
وظائف متعلقة بالتسيير 119
عنونة البث المتعدد الوجهات في IP..... 121
بنية العناوين..... 121
بروتوكول إدارة مجموعات إنترنت 122
الإصدارات المختلفة لـ IGMP..... 122
مَصاغة رسائل IGMP..... 123
عمليات IGMP 127
عضوية مجموعة مع بروتوكول IPV6..... 128
التسيير المتعدد الوجهات 129
شجرة الربط المصدرية..... 130
شجرة الربط المشتركة..... 130
طريقة التمرير وفق عكس المسار 133
ملحق (1) خوارزميات التكلفة الدنيا 134
ملحق (2) التسيير بالتعويم..... 140
ملحق (3) حركة السير التي تولّدها استراتيجيتا البثّ وحيد الوجهة والبثّ وحيد الوجهة المتعدد 143

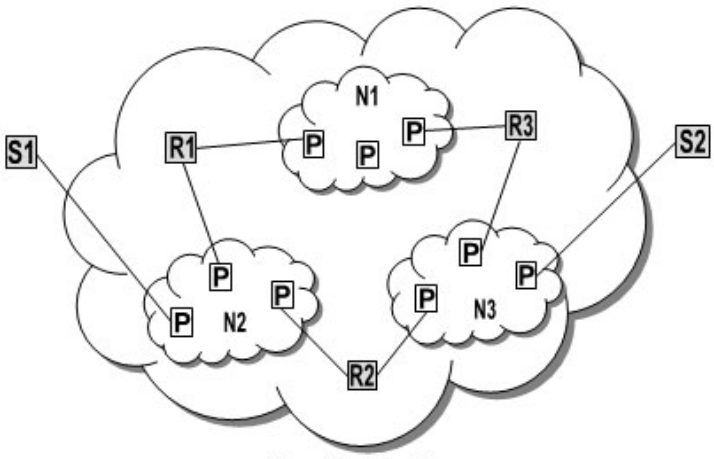
الفصل الأول: التشبيك البيني

1. مفهوم التشبيك البيني

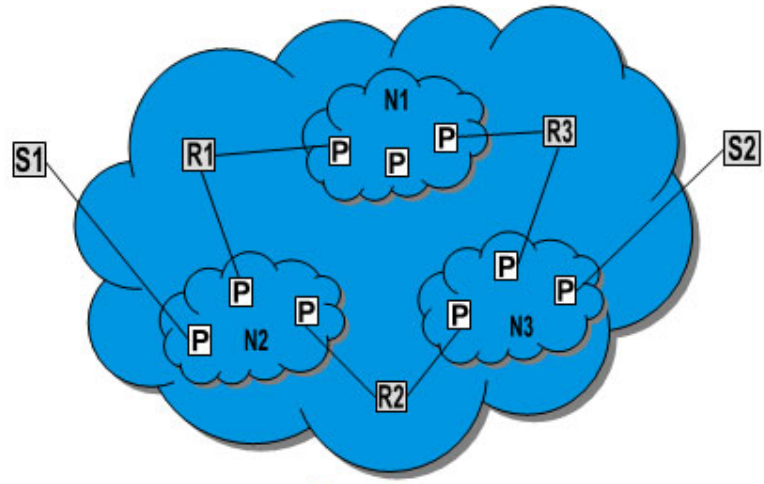
نمت شبكات ابتدال الرزم وشبكات بث الرزم استجابة لحاجة مستخدمي الحواسيب إلى الوصول إلى موارد غير تلك المتوفرة في نظام وحيد. وبالمثل، كثيراً ما تكون الموارد على شبكة وحيدة غير مناسبة لتحقيق احتياجات المستخدمين. ولما كانت الشبكات التي تهم المستخدمين تختلف كثيراً فيما بينها، فمن غير العملي التفكير في دمجها في شبكة وحيدة. هناك عوضاً عن ذلك، حاجة إلى تحقيق الربط بين الشبكات المختلفة حتى تتمكن أية محطتين على أي من هذه الشبكات من التواصل. وهذا ما ندعوه الترابط بين الشبكات (**interconnection**) أو التشبيك البيني (**internetworking**).

تعريف:

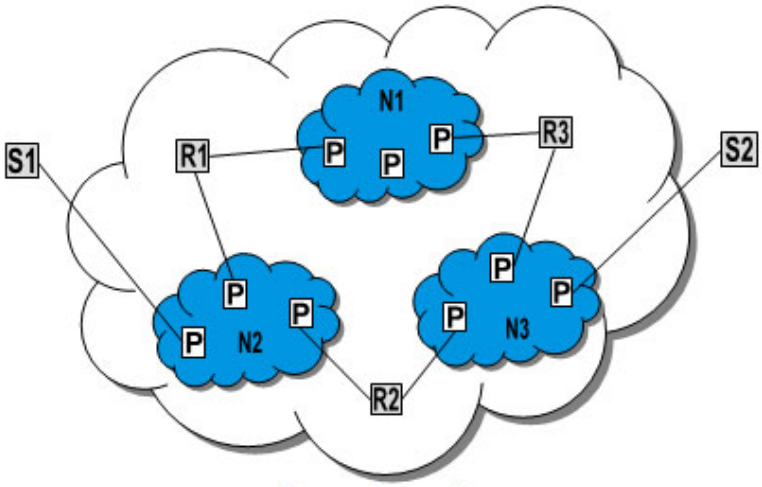
قد تبدو مجموعة من الشبكات المترابطة من منظار المستخدم كأنها مجرد شبكة واحدة كبيرة. ولكن، إذا احتفظت كل من الشبكات المرتبطة بهويتها، وإذا كانت هناك حاجة إلى آليات خاصة للاتصال فيما بين هذه الشبكات، فمن الشائع أن يشار عندها إلى التشكيلة بأكملها على أنها شبكة بينية (internet).



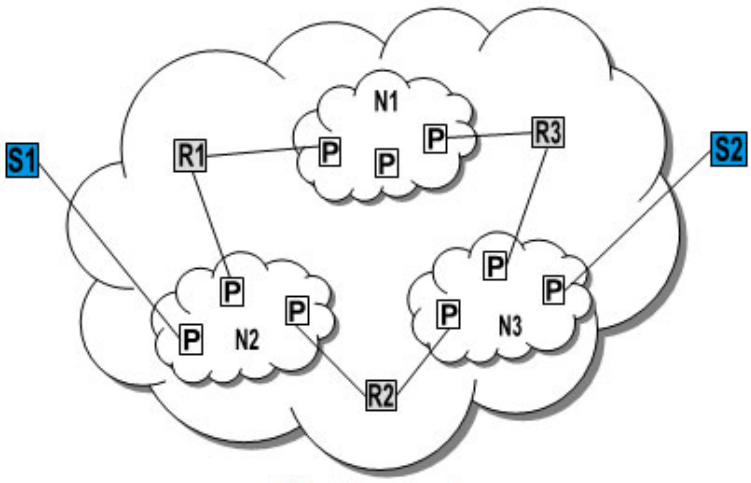
مثال لشبكة بينية



الشبكة البينية



الشبكات المرتبطة



المحطات الطرفية

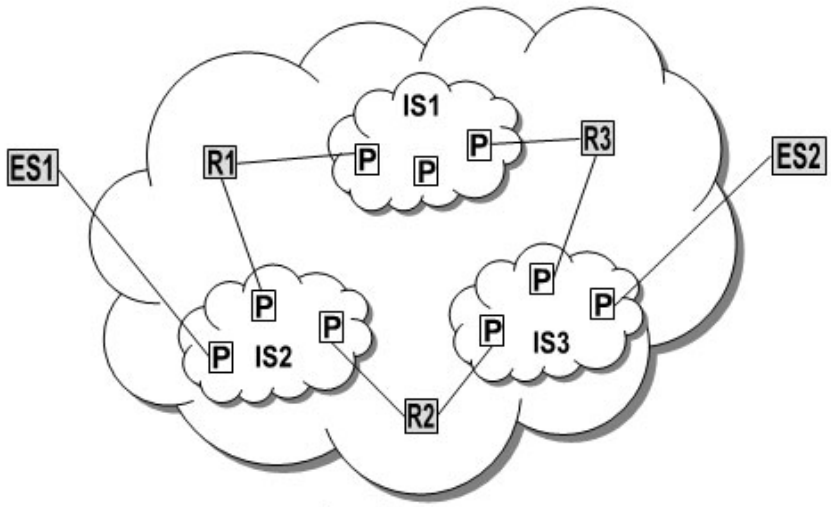
انتبه إلى أنه يجري استخدام المصطلح **internet** الذي يبدأ بحرف صغير للدلالة على أي

شبكة بينية حتى وإن لم تكن موصولة إلى شبكة الإنترنت العالمية، بينما يجري استخدام مصطلح **Internet** التي تبدأ بحرف كبير للدلالة على شبكة الإنترنت المعروفة).

مصطلحات التشبيك البيني

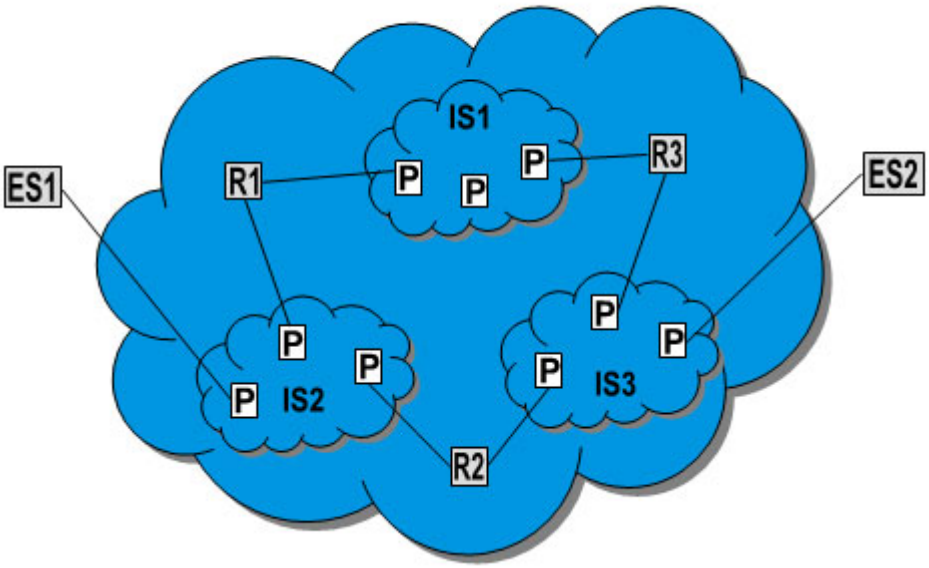
هناك بعض المصطلحات الشائعة عند الحديث عن التشبيك البيني والمشار إليها في وثائق **ISO** وأهمها:

شبكة بينية النظم الطرفية النظم الوسيطة الجسر المسيِّر

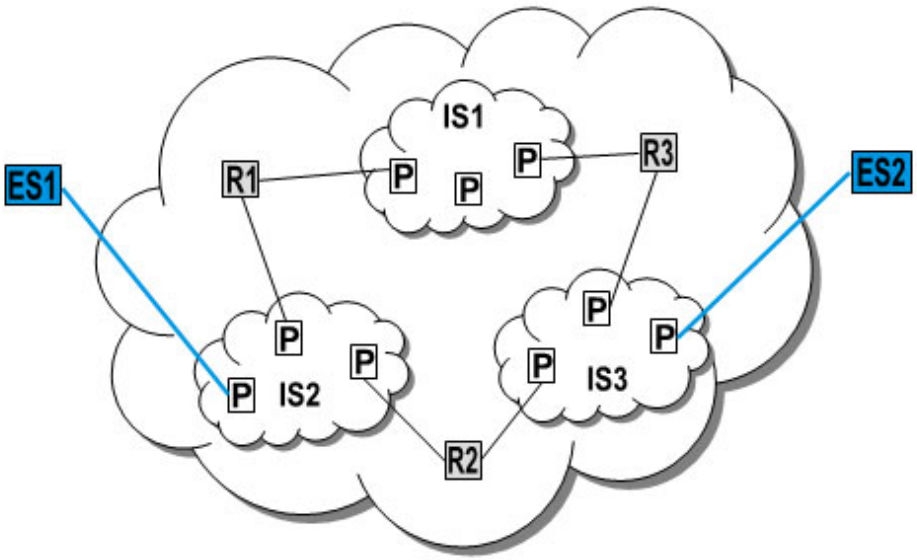


مثال لشبكة بينية

شبكة بينية: مجموعة من شبكات الاتصال المترابطة فيما بينها بجسور و/أو مسيّرات.



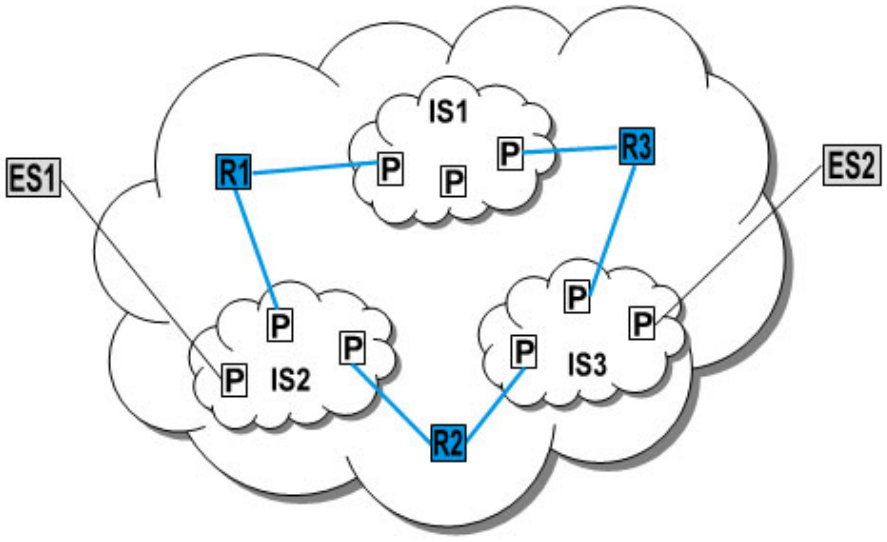
النظم الطرفية: توفّر كل شبكة، وهي إحدى مكوّنات الشبكة البينيّة، الاتصالَ بين التجهيزات المرتبطة بها، ويشار إلى هذه التجهيزات بنظم طرفية.



النظم الوسيطة: ترتبط هذه الشبكات فيما بينها بتجهيزات تسمى نظم وسيطة. وتوفر هذه النظم الوسيطة مسار اتصالات، وتقوم بوظائف التنقيل والتسيير التي تتيح تبادل المعطيات بين التجهيزات المرتبطة بشبكات مختلفة من الشبكة البينيّة.

الجسر: نظام وسيط يعمل في الطبقة الثانية من بنيان OSI ذي الطبقات السبع، وينقل الأطر بين شبكات من طبيعة واحدة.

المسيِّر: نظام وسيط يعمل في الطبقة الثالثة من بنيان OSI، ويسيِّر الرزم بين شبكات يمكن أن تكون مختلفة. ويفترض كل من الجسر والمسيّر أن بروتوكولات الطبقة العليا نفسها مستخدمة في الطرفين.



مصطلحات التشبيك البيني:

شبكة اتصال Communication Network: وسيلة تُقدم خدمة نقل المعطيات بين تجهيزات مرتبطة بالشبكة.

شبكة بينية internet: مجموعة من شبكات الاتصال المترابطة فيما بينها بجسور و/أو مسيرات.

شبكة داخلية intranet: شبكة بينية تُستخدم داخل شركة، تتيح تطبيقات الإنترنت الأساسية، وخاصة شبكة الوب العالمية. تعمل إنترانت (الشبكة الداخلية) داخل المؤسسة في خدمة أغراض المؤسسة الخاصة، ويمكن أن تكون شبكة بينية معزولة مستقلة بذاتها، أو أن يكون لها وصلات مع الإنترنت.

شبكة فرعية subnetwork: وهي إحدى الشبكات التي تكون شبكة بينية. ويستخدم هذا المصطلح لإزالة اللبس، لأن المستخدم يرى الشبكة البينية بأسرها شبكةً واحدة.

نظام طرفي ES (End System): تجهيزة مرتبطة بإحدى الشبكات المكونة لشبكة بينية، ومستخدمة لدعم تطبيقات وخدمات المستخدم الطرفي.

نظام وسيط IS (Intermediate System): تجهيزة مستخدمة للربط بين شبكتين، ولإتاحة الاتصال بين النظم الطرفية المرتبطة بالشبكات المختلفة.

الجسر Bridge: نظام وسيط يستخدم للربط بين شبكتَي **LAN** تستخدمان البروتوكولات نفسها. يعمل الجسر مرشحاً للعناوين، فيلتقط الرزم القادمة من شبكة **LAN** والموجهة إلى محطة من شبكة **LAN** أخرى ويمررها نحو وجهتها. لا يغير الجسر من محتوى الرزم ولا يضيف أي شيء إلى الرزمة. ويعمل الجسر في الطبقة الثانية من نموذج **OSI**.

المسيّر Router: نظام وسيط يستخدم للربط بين شبكتين، سواء كانتا متشابهتين أو مختلفتين. يستخدِم المسير بروتوكولَ تشبيك بيني موجوداً في كل مسير وفي كل نظام طرفي. ويعمل المسير في الطبقة الثالثة من نموذج **OSI**.

متطلبات التشبيك البيني

1. توفير وصلة بين الشبكات. وهناك حاجة، على الأقل، إلى اتصال مادي واتصال تحكمٍ في الوصلة.
2. العمل على تسيير وتوصيل المعطيات بين إجرائيات على شبكات مختلفة.
3. توفير خدمة محاسبة تتابع استخدام مختلف الشبكات والمسيرات وتحتفظ على الدوام بمعلومات عن الحالة.
4. تقديم الخدمات السابقة بحيث لا تتطلب تغييرات في البنيان الشبكي لأية شبكة مرتبطة.

وهذا يعني أنه على الشبكة البينية أن تُوائم بين عدد من الاختلافات بين الشبكات، أهمها:

أساليب عنونة مختلفة:

قد تتباين الشبكات في أسماء النقاط الطرفية وعناوينها وفي طرق بناء دليل العناوين. ولذلك، يجب توفير شكل من أشكال العنونة، شاملٍ في الشبكة إضافةً إلى خدمة دليل شاملة أيضاً.

أساليب عنونة مختلفة:

قد تتباين الشبكات في أسماء النقاط الطرفية وعناوينها وفي طرق بناء دليل العناوين. ولذلك، يجب توفير شكل من أشكال العنونة، شاملٍ في الشبكة إضافةً إلى خدمة دليل شاملة أيضاً.

يحقق بروتوكول الإنترنت **IP** بعض هذه المتطلبات. ويتطلب بعضها الآخر المزيد من التحكم وبرمجيات التطبيقات، كما سنرى في هذه الوحدة وفي الوحدة التالية.

حجم رزمة أعظمي متباين:

لا تسمح شبكة معطيات تمرير رزمة معطيات إذا تجاوز حجم الرزمة حجم الرزمة الأعظم المعرف غي تلك الشبكة. ولذلك هناك حاجة إلى تجزئة رزم شبكة ما، إلى أجزاء أصغر لتمريرها على شبكة أخرى. ويشار إلى هذه الإجرائية بالتجزئة.

مهل زمنية متباينة:

عادة، تنتظر خدمة نقل ارتباطية التوجه وصول إقرار حتى انقضاء مهلة زمنية (**timeout**) محددة، فتعيد عندئذ إرسال كتلة المعطيات. وعموماً، هناك حاجة إلى مهل زمنية أطول لضمان نجاح توصيل المعطيات عبر عدة شبكات. ويجب أن تعمل إجراءات التوقيت في التشبيك البيني بحيث تضمن نجاح الإرسال متلافية عمليات إعادة الإرسال غير الضرورية.

الاستعادة من الخطأ:

تتفاوت إجراءات الشبكة فيما يخص خدمة معالجة الأخطاء بين غياب هذه الخدمة، والخدمة الموثوقة من طرف إلى طرف (داخل الشبكة). ويجب ألا تعتمد خدمة التشبيك البيني على قدرات الاستعادة من الخطأ المتوفرة في كل شبكة مفردة، وألا تتأثر بها.

التقرير عن الحالة:

تتباين الشبكات فيما بينها في طريقة تقريرها عن الحالة والأداء. إلا أن على وسيلة التشبيك البيني أن تقدم مثل هذه المعلومات عن نشاط التشبيك البيني للإجرائيات المهتمة والمخولة بالحصول على هذه المعلومات.

تقنيات التسيير:

قد يعتمد التسيير بين الشبكات على تقنيات كشف الأعطال والتحكم في الاختناق الخاصة بكل شبكة. ويجب أن تكون وسيلة التشبيك البيني قادرةً على التنسيق بين هذه الأساليب، بغية تسيير المعطيات بين محطات على شبكات مختلفة تسييراً ملائماً.

آليات مختلفة للنفاذ إلى الشبكة:

قد تختلف آليات نفاذ المحطات إلى الشبكة باختلاف الشبكات.

التحكم في نفاذ المستخدم:

تستخدم كل شبكة تقنيتها الخاصة للتحكم في نفاذ المستخدم إلى الشبكة (السماحية باستخدام الشبكة). ويجب على وسيلة التشبيك البيني التعامل مع هذه التقنيات عند الحاجة. ثم إنه، قد يكون هناك حاجة إلى تقنية مستقلة للتحكم في النفاذ إلى الشبكة البينية.

وجود ارتباط أو عدمه:

قد تقدم كل شبكة مفردةٍ خدمةً ارتباطية التوجه (مثلاً، الدارات الافتراضية)، أو خدمة عديمة الارتباط (برقية المعطيات). ويفضل ألا تعتمد خدمة الشبكة البينية على طبيعة خدمة الارتباط المتاحة في الشبكات الإفرادية.

مناهج التشبيك البيني

من المميزات الرئيسية لبنيان شبكة بينية، نمط عملها الذي قد يكون:

- ارتباطي التوجه
- أو عديم الارتباط.

منهج النمط ارتباطي التوجه

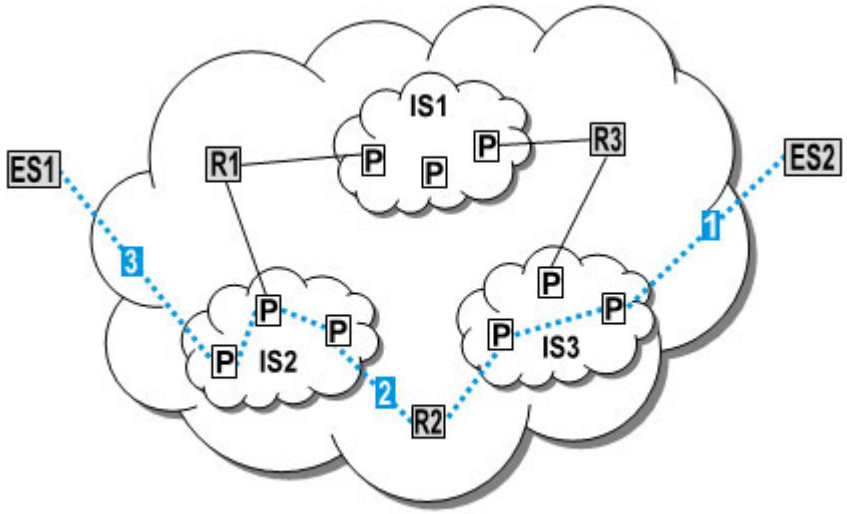
عند العمل بالنمط الارتباطي التوجه (**connection-oriented**)، يفترض أن تقدم كل شبكة شكلاً ارتباطي التوجه من الخدمة. وهذا يعني أنه يمكن إنشاء ارتباط منطقي (مثل دارة افتراضية) بين أي نظامين طرفيين موصولين إلى الشبكة نفسها. يجري أولاً إعداد الارتباط، ثم يجري تبادل المعطيات.

يمكن تلخيص المنهج الارتباطي التوجه على النحو التالي:

1. تُستخدم نظم وسيطة (**ISs**) لربط شبكتين أو أكثر. ويبدو كل **IS** كأنه نظام طرفي **ES** بالنسبة لكل شبكة يرتبط بها.

2. عندما يرغب نظام طرفي **ES1** في تبادل المعلومات مع نظام طرفي **ES2**، يجري إعداد ارتباط منطقي بينهما. ويتألف هذه الارتباط المنطقي من ضم سلسلة من الارتباطات المنطقية عبر الشبكات. وتشكل هذه السلسلة المسارات من **ES1** إلى **ES2**.

تُجمع الارتباطات المنطقية للشبكات الفردية داخل النظم الوسيطة. إذ يقوم النظام الوسيط بتمرير حركة السير الواردة من ارتباط منطقي على شبكة ما إلى الارتباط المنطقي على الشبكة الأخرى وبالعكس.



النمط ارتباطي التوجه و النمط عديم الارتباط

..... ارتباط بدارة افتراضية 1 و2 و3 رزم معطيات ممررة

قد تُصادف حالات لا تقدم فيها كل الشبكات المكونة لشبكة بينية خدمةً ارتباطية التوجه. فعلى سبيل المثال، تقدم شبكة محلية **IEEE 802** خدمةً معرفة بالتحكم في الوصلة المنطقية (**LLC**). وهناك خياران مع **LLC** لا يقدمان سوى خدمة عديمة الارتباط. إذن، إرسال هذه الشبكات يحدث فعلياً باستخدام أسلوب برقية المعطيات. ولذلك يجب في هذه الحالة تحسين خدمة الشبكة. ويمكن القيام بذلك مثلاً بتنجيز **X. 25** فوق **LLC** في النظم الوسيطة المرتبطة بالشبكة المحلية.

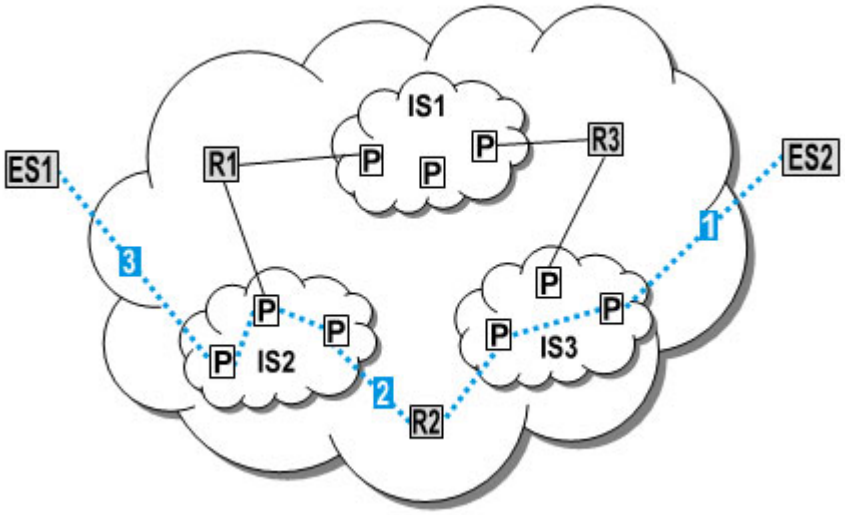
يؤدي نظام وسيطٌ ارتباطي التوجه الوظائف الرئيسية التالية:

- **التنقيل:** تُنقل وحدات المعطيات القادمة من شبكة ما عبر بروتوكول طبقة الشبكة إلى شبكة أخرى. تمر حركة السير عبر الارتباطات المنطقية التي جمعت في النظم الوسيطة.

- **التسيير:** عندما تستدعي الحاجة إنشاء ارتباطٍ منطقي من طرف إلى طرف، مكونٍ من سلسلة من الارتباطات المنطقية، يجب على كل نظام وسيط **IS** في السلسلة أن يتخذ قرار تسيير يحدد فيه القفزة التالية في السلسلة.

وهكذا، تجري عملية تنقيل في الطبقة الثالثة. ومن المفترض أن كل النظم الطرفية تستخدم بروتوكولات الطبقة الرابعة (النقل) وما فوقها نفسها لضمان نجاح الاتصال من طرف إلى طرف.

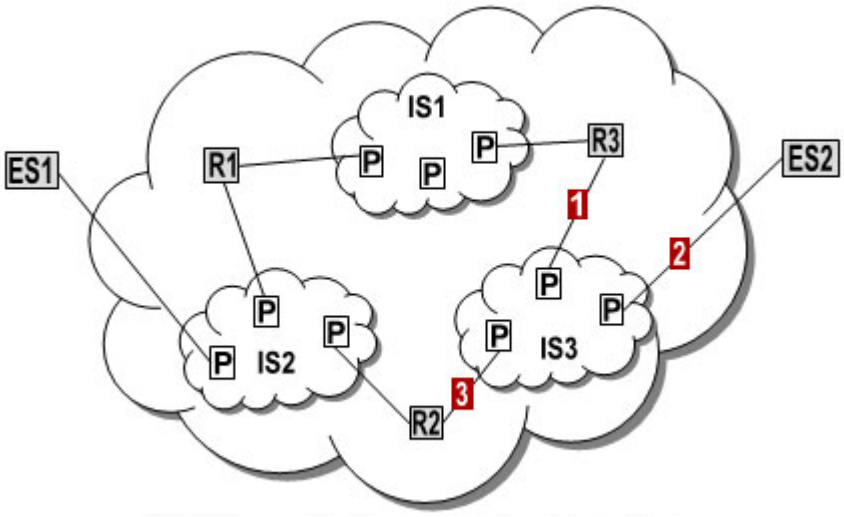
نذكر، مثالاً على المنهج الارتباطي التوجه، المقيس **X. 75**، المستخدم للربط بين شبكات ابتدال الرزم **X. 25**. ومن الناحية العملية، المنهج الارتباطي التوجه ليس شائع الاستخدام، إذ يسود المنهج العديم الارتباط باستخدام **IP**.



..... ارتباط بدارة افتراضية 1 و2 و3 رزم معطيات ممررة

منهج النمط عديم الارتباط

في حين يكافئ عملُ النمط الارتباطي التوجه آليةَ عمل الدارة الافتراضية المستخدمة في شبكة ابتدال الرزم، يكافئ عملُ النمط العديم الارتباط آليةَ برقية المعطيات (**datagram**) المستخدمة في شبكة ابتدال الرزم.



في هذا النمط، تعالج كل وحدةِ معطياتِ بروتوكول الشبكةِ على حدة:

1. تُسير وحدة المعطيات من النظام الطرفي المصدر إلى النظام الطرفي الوجهة عبر سلسلة من المسيرات والشبكات. ولكل وحدة معطيات يرسلها المصدر، يتخذ **ES1** قراراً: من المسير الذي يستقبلها.
2. تنتقل وحدة المعطيات عبر شبكة بينية من مسير إلى التالي حتى تصل إلى الشبكة الموجهة إليها. ويتخذ في كل مسير قرار تسيير (لكل وحدة معطيات على حدة) فيما يخص القفزة التالية. وهكذا قد تسافر وحدات المعطيات على طرق مختلفة بين المصدر والوجهة.

تتشارك كل محطات النظم الطرفية والمسيرات (النظم الوسيطة) في استخدام بروتوكول مصمم في طبقة الشبكة، يشار إليه عادة على أنه بروتوكول شبكة بينية.

جرى تطوير بروتوكول الإنترنت (IP) في البداية لمشروع شبكة بينية لِـ **DARPA**، ونُشِر في **RFC 791**، وأصبح مقيساً للإنترنت. وهناك حاجة تحت بروتوكول الشبكة البينية هذا، إلى بروتوكول للنفاذ إلى شبكة محددة. وهكذا هناك عملياً بروتوكولان يعملان في كل **ES** وفي كل مسير، في طبقة الشبكة: طبقة فرعية عليا توفّر وظيفة التشبيك البيني، وطبقة فرعية دنيا تتيح النفاذ إلى الشبكة.

2. التشبيك البيني عديم الارتباط

سننظر في هذه الوحدة في الوظائف الأساسية لبروتوكول تشبيك بيني عديم الارتباط. ومن أجل السهولة، سنشير تحديداً إلى مقيس الإنترنت **IP**، الذي هو مقيس للشبكات البينية، ولكن يجب أن يكون واضحاً أن الحديث هنا ينطبق على أي بروتوكول شبكة بينية عديم الارتباط مثل **IPv6**.

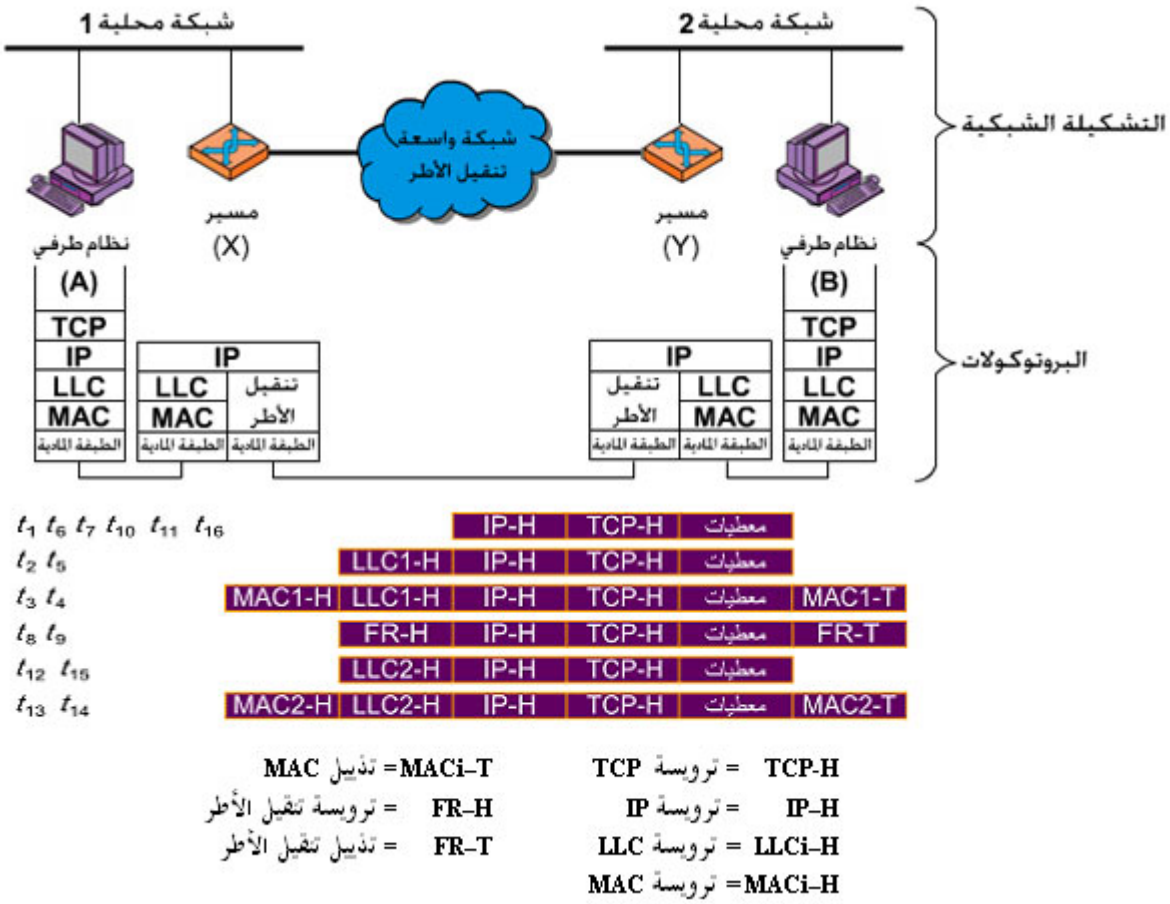
أسلوب عمل التشبيك البيني عديم الارتباط

يقدم **IP** خدمة عديمة الارتباط، أو خدمة برقية المعطيات، بين النظم الطرفية. وهناك فوائد عديدة لاستخدام هذا المنهج:

- تكون الشبكة البينية عديمة الارتباط مرنة. ويمكنها التعامل مع مجموعة متنوعة من الشبكات، قد يكون بعضها نفسه عديم الارتباط. ويمكن القول بالمجمل إن **IP** يتطلب مجهوداً صغيراً من الشبكات المكونة للشبكة البينية.
- يمكن جعل خدمة التشبيك البيني العديمة الارتباط متينة إلى حد بعيد. وهذا يماثل من حيث المبدأ ما يقال عند المقارنة بين خدمة شبكة برقية معطيات وخدمة دارة افتراضية. وللمزيد من المعلومات، يمكن للقارئ، أن يعود إلى المرجع.
- إن خدمة التشبيك البيني العديمة الارتباط هي أنسب للعمل مع بروتوكولات النقل العديمة الارتباط، وذلك لأنها لا تفرض حِملاً مضافاً لا داعي له.

يوضح مثال التشكيلة الشبكية التالية مثالاً نموذجياً على استخدام **IP**، فيه شبكتان محليتان مرتبطتان عبر شبكة واسعة تعمل بتنقيل الأطر. يبين الشكل عمل بروتوكول الإنترنت فيما يخص تبادل المعطيات بين المضيف **A** على الشبكة المحلية الأولى، والمضيف **B** على الشبكة المحلية الثانية، وذلك عبر الشبكة الواسعة. يوضح الشكل بنيان البروتوكول ومصاغة وحدة المعطيات في كل مرحلة.

لاحظ أنه يجب أن تتشارك كل النظم الطرفية والمسيرات ببروتوكول إنترنت عمومي، هذا ويجب أن تتشارك النظم الطرفية في البروتوكولات نفسها التي تعلو **IP**. وتحتاج المسيرات الوسيطة إلى تنجيز الطبقات من الأسفل وحتى **IP** فقط.



قراءة

{ يستقبل **IP** في المضيف **A** من الطبقات العليا من البرمجيات، كتلَ معطياتٍ يجب إرسالها إلـى المضيف **B**. ويضيف **IP** ترويسةً (في اللحظة **t1**)، تحدد لـ **B** عنوان الشبكة البينية الشامل، مع أمور أخرى. ينقسم هذا العنوان منطقياً إلى جزأين: معرف الشبكة ومعرف النظـام الطرفـي. وتُسمى التركيبة المؤلفة من ترويسة **IP** ومعطيات المـستوى الأعلـى معـاً وحـدة معطيـات بروتوكول الإنترنت (**PDU**)، أو مجرد برقية معطيات. بعد ذلـك، تُغلـف برقيـة المعطيـات ببروتوكول الشبكة المحلية **LAN** (ترويسة **LLC** في **t2**؛ ترويسة وتذييل **MAC** في اللحظـة **t3**) وتُرسل إلى المسير، الذي يزيل حقول **LAN** ليصل إلى ترويسة **IP** (**t6**). ثم يغلّف المسير برقية المعطيات بعد ذلك بحقول بروتوكول تنقيل الأطر (**t8**) ويرسلها عبر الشبكة الواسعة إلى مسير آخر. يزيل هذا المسير حقول تنقيل الأطر ليستخرج برقية المعطيات، وليغلفها بحقـول الـشبكة المحلية المناسبة لـ **LAN 2** ويرسلها إلى **B**}.

لننظر الآن إلى المثال السابق بتفصيل أكثر:

لدى النظام الطرفي (A) برقية معطيات يريد إرسالها إلى النظام الطرفي (B) أي تتضمن برقية المعطيات عنوان الشبكة البينية لِـ (B).

يكتشف مجتزأ IP في (A) أن الوجهة (B) موجودة على شبكة أخرى، ولهذا تكون الخطوةُ الأولى إرسالَ المعطيات إلى مسير، هو في هذه الحالة (X). وللقيام بذلك، يمرر IP برقية المعطيات إلى الطبقة التالية التي هي أدنى (وهي في هذه الحالة LLC) مع التعليمات بإرسالها إلى المسير (X). وتمرر طبقة LLC بدورها هذه المعلومات إلى طبقة MAC التي هي أدنى والتي تضيف عنوان المسير (X) في مستوى MAC إلى ترويسة هذا المستوى. وهكذا، تَضم كتلةُ المعلومات المرسلة من LAN 1 معطياتٍ من طبقة أو عدة طبقات فوق TCP، إضافةً إلى ترويسة TCP، وترويسة IP، وترويسة LLC، وترويسة MAC وتذييل (اللحظة t_3).

تسافر الرزمة، فيما بعد، عبر الشبكة LAN 1 إلى المسير (X). يزيل هذا المسير حقول MAC وLLC ويحلّل ترويسة IP ليحدد الوجهة النهائية للمعطيات، وهي في هذه الحالة (B)، يجب أن يتخذ المسير الآن قرار تسيير، وهناك ثلاثة احتمالات:

1. محطة الوجهة (B) مرتبطة مباشرة بإحدى الشبكات التي يرتبط بها المسير. عندئذ يرسل المسير برقية المعطيات مباشرة إلى وجهتها.
2. يجب عبور مسير أو أكثر للوصول إلى الوجهة. عندئذ يجب اتخاذ قرار تسيير: إلى أي مسير يجب إرسال برقية المعطيات؟ وفي كلتا الحالتين 1 و2، يرسِل مجتزأُ IP في المسير برقيةَ المعطيات إلى الطبقة التالية التي هي أدنى مرفقاً معها عنوان الشبكة التي سترسل إليها. لاحظ هنا أننا نتحدث عن عنوان الطبقة التي هي أدنى، الذي يشير إلى هذه الشبكة.
3. لا يتعرف المسير عنوان الوجهة، ويعيد في هذه الحالة رسالة خطأ إلى مصدر برقية المعطيات.

يجب على المعطيات في هذا المثال أن تمر عبر المسير (Y) قبل وصولها إلى وجهتها. ولذلك، يكون المسير (X) إطاراً جديداً بإضافة ترويسة وتذييل بروتوكول تنقيل الأطر إلى وحدة معطيات IP. وتشير ترويسة تنقيل الأطر إلى ارتباط منطقي مع المسير (Y).

عندما يصل هذا الإطار إلى المسير (Y)، يزيل هذا الأخير ترويسة وتذييل الإطار، ويستنتج أن وحدة معطيات IP هذه موجهة إلى (B)، المرتبطة مباشرة بشبكة مرتبط بها المسير. ولذلك، فإن المسير ينشئ إطاراً فيه عنوان الوجهة (B) في الطبقة الثانية ويرسلها إلى LAN 2. وأخيراً، تصل المعطيات إلى (B) حيث يمكن إزالة ترويستَي LAN وIP.

قد يحتاج أي مسير قبل تمريره للمعطيات إلى تجزئة (**fragmentation**) وحدة المعطيات لتتلاءم مع المحدودية في حجم الرزمة الذي قد تفرضه الشبكة الوجهة إذا كان حجم الرزمة الأعظم (**Maximum Data Unit MTU**) المقبول فيها أصغر من حجم وحدة المعطيات.

تُقسم وحدة المعطيات إلى جزأين أو أكثر، يصبح كل منها وحدة معطيات **IP** مستقلة. وتُغلّف كل وحدة معطيات مجدداً في رزمة من طبقة أدنى وتوضع في رتل انتظار الإرسال. وقد يحد المسير أيضاً حجم رتل الانتظار المخصص لكل شبكة يرتبط بها، بحيث يتلافى أن تعيق شبكة بطيئة عمل شبكة أسرع. فما إن يمتلئ رتل الانتظار، حتى يرمي المسير ببساطة أية وحدة معطيات إضافية.

تتكرر الإجرائية التي وصفناها في كل من المسيرات التي تحتاج وحدةُ المعطيات إلى عبورها حتى وصولها إلى وجهتها. وكما في المسير، يستعيد النظام الطرفي الوجهةُ وحدةَ معطيات **IP** بإزالة تغليف الشبكة عنها. وإذا كان هناك تجزئة، يصون تجزيئة **IP** (**IP fragment**) في النظام الطرفي الوجهة المعطياتِ القادمة حتى يصبح بالإمكان إعادة تجميع كامل حقل المعطيات الأصلي. ثُم تُمرر كتلة المعطيات هذه إلى طبقة أعلى في النظام الطرفي.

الخدمة بأفضل جهد

إن هذه الخدمة التي يقدمها بروتوكول الإنترنت غير موثوقة، أي إنه لا يضمن وصول كل المعطيات، كما لا يضمن وصولها مرتبة. وتقع مسؤولية الاستعادة من الخطأ عند حدوثه على عاتق الطبقة التالية التي تعلوها (مثلاً، **TCP**).

يتيح هذا المنهج مرونة كبيرة في العمل ويشار إليه بالخدمة بأفضل جهد (**best effort service**)

باستخدام الخدمة بأفضل جهد هذه، تُمرر كل وحدة معطيات من مسير إلى مسير في محاولة الوصول من المصدر إلى الوجهة. وإذا كان التوصيل من حيث المبدأ غير مضمون، فلا يوجد أية متطلبات موثوقية خاصة، يترتب على أي من هذه الشبكات تحقيقها. وهكذا، سيعمل البروتوكول مع أية تركيبة من أنواع الشبكات. ولأنه لا يوجد ضمان لصحة تسلسل التسليم، فقد تتبع وحدات المعطيات مسارات مختلفة عبر الشبكة البينية. وهذا ما يسمح للبروتوكول بمعالجة حوادث الاختناق والأعطال في الشبكة البينية، عن طريق تغيير الطرق.

الفصل الثاني: بروتوكول الإنترنت

1. بروتوكول الإنترنت

لننظر الآن في الإصدارة الرابعة من **IP**، المعرفة رسمياً في **RFC 791**. ومع أنه من المفترض أن يحلّ **IPv6** محل **IPv4**، فإن **IPv4** حالياً مِقْيس **IP** المستخدم في شبكات **TCP/IP**.

إن بروتوكول الإنترنت، أي بروتوكول الشبكة البينية، جزء من طقم **TCP/IP**، وهو أكثر بروتوكولات التشبيك البيني شيوعاً. سنركز في هذا الفصل على آليات العمل المرتبطة بوظيفة التشبيك البيني ونذكر بمصاغته وطرق العنونة فيه.

مصاغة برقية معطيات IP

تتألف برقية معطيات **IP** من ترويسة وحقل معطيات. يمكن توصيف بروتوكول التخاطب بين كيانات **IP** بالعودة إلى مصاغة ترويسة برقية معطيات **IP**.

اسم الحقل	طول الحقل بالبتات	
الإصدار Version	**4**	يشير إلى رقم الإصدار، وهذا ما يسمح بتطوير البروتوكول، والقيمة الحالية هي **4**.
طول ترويسة الإنترنت (Internet Header Length) IHL	**4**	طول الترويسة باعتبارها كلمات من **32** بتاً. القيمة الدنيا هي خمسة لترويسة صغرى طولها **20** ثمانيةً.
نوع الخدمة (Type of Service)	**8**	يحدد موسطاتِ الموثوقية والأسبقية والتأخير ومعدل التدفق. نادراً ما يستخدم هذا الحقل، وقد تغير الآن تفصيل بتاته، إذ يشار إلى البتات الستة الأولى من حقل **TOS** بحقل **DS** (الخدمات المتمايزة التي سندرسها في وحدة لاحقة). والبتان المتبقيان محجوزان لحقل الإعلام **ECN** (إعلام صريح بالاختناق) و الذي هو في طور التقييس.
الطول الكلي (total length)	**16**	طول برقية المعطيات الكلي بالبايتات.

التعريف (identification)	**16**	رقم تسلسلي يستخدم مع عنوان المصدر وعنوان الوجهة وبروتوكول المستخدِم للتعريف ببرقية المعطيات بطريقة وحيدة.
رايات (flags)	**3**	هناك بتان فقط معرفان حالياً. يستخدم بت المزيد **More** في التجزئة والتجميع، وهناك بت عدم التجزئة **Don't Fragment**.
انزياح التجزيئة (fragment offset)	**13**	تشير إلى موقع التجزيئة في برقية المعطيات الأصلية، ويقاس بعدد الوحدات من **64** بتاً.
مدة الحياة (time to live)	**8**	يحدد بالثانية الزمن الذي يسمح لبرقية المعطيات بأن تقضيه داخل الشبكة البينية. وعلى كل مسير يعالج برقية المعطيات أن ينقص من **TTL** على الأقل واحداً، أي إن **TTL** يماثل إلى حد ما عدد القفزات.
البروتوكول (protocol)	**8**	يشير إلى بروتوكول الطبقة العالية التالية الذي عليه أن يستقبل حقل المعطيات في الجهة المستقبلة.
رماز التدقيق في الترويسة (header checksum)	**16**	رماز لكشف الأخطاء مطبق على الترويسة فقط. ولما كانت بعض حقول الترويسة تتغير على الطريق (مثلاً، مدة الحياة والحقول المتعلقة بالتجزئة)، وجب التحقق من رماز التدقيق هذا وإعادة حسابه في كل مسير.
عنوان المصدر (source address)	**32**	وهو مرمز بحيث يتيح حجزاً متغيراً لعدد البتات المستخدم لتحديد الشبكة، وتلك المستخدمة لتحديد النظام الطرفي المرتبط بهذه الشبكة.
عنوان الوجهة (destination address)	**32**	له ميزات عنوان المصدر نفسها.
الخيارات (options)	**عدد بتات متغير**	يرمز الخيارات التي يطلبها المستخدم المرسل.
الحشو (padding)	**عدد بتات متغير**	يستخدم لجعل طول ترويسة برقية المعطيات من مضاعفات **32**.
المعطيات (data)	**عدد بتات متغير**	يجب أن يكون طول حقل المعطيات من مضاعفات **8** بت. والطول الأقصى لبرقية معطيات (حقل معطيات مع ترويسة) هو **65535** بايت.

العنونة في IP

يحتوي كل من حقلي عنوان المصدر والوجهة في ترويسة **IP** عنوان شبكة بينية شامل (أو اختصاراً عنوان إنترنت شامل) من **32** بتاً، وهو مكون عموماً من معرف شبكة ومعرف مضيف.

العنوان مرمز بحيث يسمح بحجزٍ متغير لعدد البتات المخصصة للشبكة وتلك المخصصة للمضيف. يتيح هذا الترميز مرونةً في إسناد العناوين إلى المضيفات، ويسمح بوجود خليط من شبكات ذات أحجام مختلفة داخل شبكة بينية.

الصف A: قليل من الشبكات، يضم كل منها عدداً كبيراً من المضيفات. تبدأ عناوين الشبكة في الصف **A** بالبت الاثناني **0**، وهناك **126** عنوان شبكة ممكناً في الصف.

الصف B: عدد متوسط من الشبكات، يضم كل منها عدداً متوسطاً من المضيفات. تبدأ عنـاوين الشبكة في الصف **B** بالبتين الاثنانيين **10**، وهناك $16384 = 2^{14}$ عنواناً من الصف **B**.

الصف C: كثير من الشبكات، يضم كل منها عدداً قليلاً من المضيفات. تبدأ عناوين الشبكة فـي الصف **B** بثلاث بتات اثنانية **110** ويبلغ العدد الكلي لعناوين الصف **C** $2097152 = 2^{21}$.

قد يكون من المناسب في بيئة محددة استخدام العناوين كلها من صفٍ واحد. فمثلاً، قد تحتاج شبكة بينية لشركة مؤلفة من عدد كبير من الشبكات المحلية في أقسام الشركة، إلى استخدام عناوين الصف **C** حصراً. إلا أن مصاغة عناوين **IP** تسمح بخلط صفوف العناوين الثلاثة داخل شبكة بينية واحدة؛ وهذه هي الحال على شبكة الإنترنت نفسها.

إن خليط الصفوف مناسب لشبكة بينية مكونة من عدد قليل من الشبكات الواسعة وكثير من الشبكات الصغيرة وبعض الشبكات المتوسطة الاتساع.

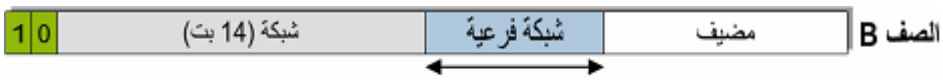
تُكتَب عناوين **IP** عادة وفقاً لما يدعى التدوين العشري المنقط (**dotted decimal notation**)، حيث تُمثل كل ثُمانية من العنوان ذي **32** بتاً برقم عشري. فعلى سبيل المثال يكتَب العنوان **11000000 11100100 00010001 00111001** بالشكل **192. 228. 17. 57.**

الشبكات الفرعية وأقنعة الشبكة الفرعية

أُدخِل مفهوم الشبكة الفرعية (**subnet**) لتحقيق المطلب التالي:

لنفترض أن هناك شبكة بينية تضم شبكة واسعة واحدة أو أكثر، وعدداً من المواقع في كل منها عدد من الشبكات المحلّية. وقد نرغب في عدم التدخل في تعقيد بنى الشبكات المحلية المترابطة داخل مؤسسة، في حين نرغب في حماية الشبكة البينية بأسرها من إسناد غير مضبوط لأرقام الشبكة ومن تعقيد التسيير.

- تتمثل إحدى طرق حل هذه المسألة بإسناد رقم شبكة وحيد إلى كل الشبكات المحلية في الموقع الواحد. وعندئذ ستنظر بقية الشبكة البينية إلى هذا الموقع على أنه مكون من شبكة وحيدة، وهذا ما يبسط العنونة والتسيير.
- وللسماح للمسيرات داخل الموقع بالعمل كما يجب، يسنَد إلى كل شبكة محلية رقم شبكة فرعي. ولتحقيق هذا المستوى الجديد من العنونة، يقسم جزء المضيف **Host** في عنوان **IP** إلى رقم شبكة فرعي ورقم مضيف.



إضافة عنونة شبكة فرعية إلى عنوان من الصف B

يجب على المسيرات المحلية داخل الشبكة ذات الشبكات الفرعية أن تقوم بالتسيير اعتماداً على رقم شبكة موسع مؤلف من جزء الشبكة في عنوان **IP** ورقم الشبكة الفرعية. ويحدد مواقع البتات في رقم الشبكة الموسع هذا قناع العنوان (**address mask**):

- إن استخدام قناع العنوان يسمح للمضيف بأن يحدد وجهة برقية المعطيات الصادرة: أهي موجهة إلى مضيف على الشبكة المحلية نفسها (ليرسل مباشرة) أم إلى شبكة محلية أخرى (ليرسل إلى مسير)؟
- إن ناتج تطبيق عملية **AND** بين العنوان **IP** والقناع هو عنوان الشبكة الفرعية أو البينية التي ينتمي إليها هذا العنوان. ولكن كيف للمسير أن يعرف القناع الواجب استخدامه؟

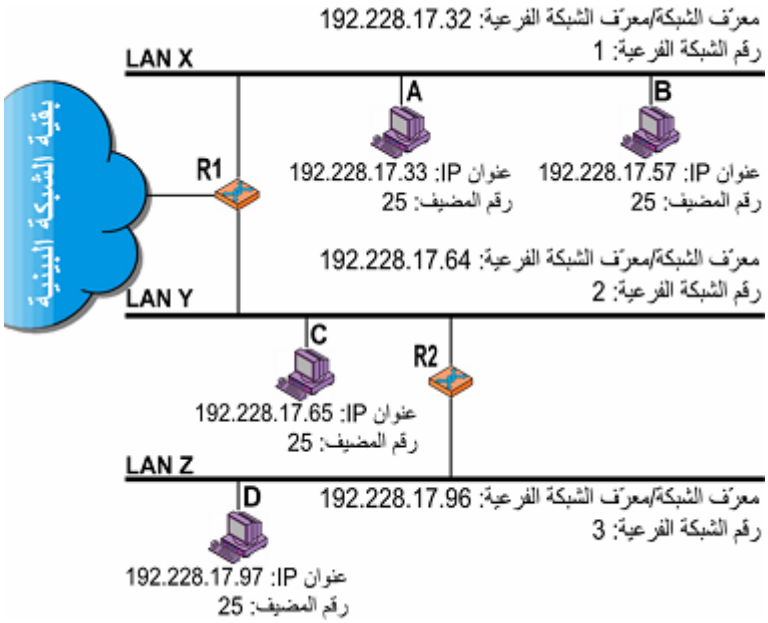
لاحظ أن:

- قناع الشبكة الفرعية يعمل على مسح جزء حقل المضيف الذي يشير إلى مضيف فعلي على شبكة فرعية، وما يتبقى هو رقم الشبكة ورقم الشبكة الفرعية.
- استخدام صفوف العناوين القياسية **A** و**B** و**C** يسمح بمعرفة الأقنعة تلقائياً، كما في الجدول التالي.

	التمثيل الاثنائي	العشري المنقط
القناع المغتفل للصف A	11111111. 00000000. 00000000. 00000000	255. 0. 0. 0
القناع المغتفل للصف B	11111111. 11111111. 00000000. 00000000	255. 255. 0. 0
القناع المغتفل للصف C	11111111. 11111111. 11111111. 00000000	255. 255. 255. 0

ولكن كيف يمكن معرفة أقنعة الشبكات الفرعية المعرفة ضمن هذه الصفوف؟

- هناك وسائل الإعداد اليدوي التي تُستخدم لإنشاء أقنعة العناوين وللتعريف بها في المسيرات المحلية.
- ويمكن تبادل معلومات التسيير والأقنعة المرتبطة بها ديناميكياً عن طريق بروتوكولات التسيير.



لنأخذ مثالاً على استخدام التشبيك الفرعي، يبين موقعاً محلياً مكوناً من **3** شبكات محلية ومسيرين، ولنرى كيفية استخدام أقنعة الشبكات الفرعية.

يبدو هذا الموقع لبقية الشبكة البينية أنه شبكة واحدة من الصف **C** عنوانها من الشكل **192.228.17.x** حيث تمثّل الثُمانيات الثلاث اليسرى رقم الشبكة والثُمانية اليمنى رقم المضيف **x**.

وكل من المسيرين **R1** و**R2** معد مع قناع شبكة فرعية قيمته **255. 255. 255. 224**.

	التمثيل الاثناني	العشري المنقط
عنوان IP	11000000. 11100100. 00010001. 00111001	192. 228. 17. 57
قناع الشبكة الفرعية	11111111. 11111111. 11111111. 11100000	255. 255. 255. 224

إذا وصل إلى المسير **R1** برقية معطيات عنوان وجهتها **192.228.17.57** سواء كانت قادمة من بقية الشبكة البينية أو من الشبكة المحلية **Y**، يقوم **R1** بما يلي: يطبق **AND** على بتات العنوان وقناع الشبكة الفرعية لديه (الناتج هو رقم الشبكة/الشبكة الفرعية) ليقرر أن هذا العنوان يشير إلى الشبكة الفرعية الأولى، وهي الشبكة المحلية **LAN X**، ولذا، فإنه يمرر برقية المعطيات إليها.

	التمثيل الاثناني	العشري المنقط
عنوان IP	11000000. 11100100. 00010001. 00111001	192. 228. 17. 57
قناع الشبكة الفرعية	11111111. 11111111. 11111111. 11100000	255. 255. 255. 224
تطبيق AND على بتات العنوان والقناع (الناتج هو رقم الشبكة/الشبكة الفرعية)	11000000. 11100100. 00010001. 00100000	192. 228. 17. 32
رقم الشبكة الفرعية	11000000. 11100100. 00010001. 001	1

رقم المضيف	00000000. 00000000. 00000000. 00011001	25

أما إذا وصلت برقية معطيات مع عنوان وجهة إلى بقية الشبكة البينية، فإن **R2** يطبق قناع الشبكة الفرعية لديه ليستنتج أن عليه تسييرها إلى خارج الشبكة المحلية. ويقرر اعتماداً على قاعدة معطيات التسيير لديه توجيهها إلى المسار المناسب لها في الشبكة البينية الخارجية.

العنونة بدون صفوف

تطور مبدأ عنونة الشبكات الفرعية ليلغي مفهوم الصفوف وذلك لعدة أسباب:

- الهدر الناتج عن حجز مساحة عناوين للمضيفات في الصفوف **A** و**B** دون إسنادها.
- نضوب عناوين الصف **B** المستخدمة للشبكات المتوسطة الحجم.
- إسناد مجموعة من عناوين الصف **C** للكثير من الشبكات المتوسطة الحجم.
- حاجة مزودي خدمة الإنترنت لتجميع مجموعة من العناوين المختلفة تحت مظلة بادئة شبكة واحدة.
- كبر حجم لائحة عناوين الشبكات اللازم تبادلها بين المسيرات في الشبكة.

أدى ذلك إلى استبدال الأقنعة المغتفلة المسندة ضمنياً إلى عناوين **IP** بأقنعة صريحة تستخدم لتحديد بادئة الشبكة (**network prefix**) لمجموعة من العناوين **IP**. وهذا ما يسمى بالعنونة بدون صفوف.

وعليه يمثل العنوان **IP** للشبكة الفرعية في المثال السابق كما يلي:

192. 228. 17. 57 255. 255. 255. 224 العنوان **IP** وقناع الشبكة

أو

192. 228. 17. 57/27 العنوان **IP** وطول بادئة الشبكة

لاحظ أنه جرى اشتقاق طول بادئة الشبكة من عدد البتات المتتالية ذات القيمة **1** في التمثيل الست عشري لقناع الشبكة.

قضايا متعلقة بالتشبيك البيني في IPv4

بعد أن رأينا باختصار مصاغة وعنونة بروتوكول **IP**، يمكننا العودة الآن لدراسة بعض القضايا المرتبطة بمهام التشبيك البيني بتفصيل أكبر:

1. التسيير في **IPv4**
2. عمر برقية المعطيات

3. التجزئة وإعادة التجميع
4. التحكم في الأخطاء وفي التدفق

التسيير في IPv4

يحتفظ كل نظام طرفي أو مسير بجدول تسيير، يستخدمه للقيام بإجراء التسيير، يضع فيه لكل شبكة وجهة محتملة، المسير التالي الذي يجب أن تُرسِل إليه برقية المعطيات.

قد يكون جدول التسيير ساكناً أو ديناميكياً. إلا أن الجدول الساكن قد يحوي طرقاً بديلة إذا كان مسير معين غير متاح. الجدول الديناميكي أكثر مرونة في استجابته لحالات الخطأ والاختناق. على سبيل المثال، عندما يتعطل مسير في شبكة الإنترنت، يرسل كل من جيرانه تقرير حالة يسمح للمسيرات الأخرى والمحطات بأن تحدث جداول التسيير لديها.

يمكن أيضاً استخدام جداول التسيير لدعم خدمات تشبيك بيني أخرى، مثل الأمن والأولوية. فعلى سبيل المثال، يمكن تصنيف كل شبكة وفق تصنيف أمن محدد فيما يخص معالجة المعطيات. ويجب أن تضمن آلية التسيير أنه من غير المسموح لمعطيات من مستوى أمني محدد أن تمر عبر شبكات لا يسمح لها بمعالجة مثل هذه المعطيات.

وهناك تقنية أخرى في التسيير وهي التسيير المصدري **source routing**، حيث تحدد محطةُ المصدر الطريقَ بتضمين لائحة تسلسل المسيرات في برقية المعطيات. وهذا مفيد أيضاً لتحقيق متطلبات الأمن أو الأولوية.

لنذكر أخيراً خدمة متعلقة بالتسيير وهي تسجيل الطريق **route recording**. ويجري ذلك بأن يضيف كل مسير عنوان الشبكة البينية الخاص به إلى لائحة من العناوين في برقية المعطيات. وتفيد هذه الميزة في أغراض الاختبار وكشف الأعطال.

يتيح الحقل "خيارات" التوسيع المستقبلي وتضمين موسطات متعلقة بخيارات التسيير وخيارات أخرى. والخيارات المعرفة حالياً هي الآتية:

- **الأمن:** يسمح بإلحاق لصيقة أمن ببرقية المعطيات.
- **التسيير المصدري:** لائحة متسلسلة من عناوين مسيرات تحدد الطريق الذي يجب أن تسلكه برقية المعطيات. قد يكون التسيير حصرياً (يمكن عبور المسيرات المعرفة فقط) أو متساهلاً (يمكن عبور مسيرات وسيطة أخرى).
- **تسجيل الطريق:** يخصص حقل لتسجيل سلسلة المسيرات التي تزورها برقية المعطيات.

- **تعريف الدفقة:** يسمي المصادر المحجوزة المستَخدمة لخدمة الدفقة. توفر هذه الخدمة معالجة خاصة لحركة السير الدورية الطيارة (مثل الصوت).
- **ختم زمني:** يضيف كيان **IP** في المصدر وبعض أو كل المسيرات الوسيطة ختماً زمنياً (دِقته بالملّي ثانية) إلى وحدة المعطيات عند مرورها بها.

عمر برقية المعطيات

عند استخدام التسيير الديناميكي أو التسيير البديل، هناك احتمال أن تدور برقية معطيات إلى ما لانهاية داخل الشبكة البينية. وهذا غير مرغوب فيه لسببين:

أولاً: لأن برقية المعطيات الدائمة الدوران مستهلكة للموارد.

ثانياً: قد تعتمد بروتوكولات النقل (بروتوكولات الطبقات العليا من نموذج **OSI**) على وجود حد أعلى لعمر برقية المعطيات. ولتلافي هذه المشاكل، تُدمغ كل برقية معطيات بعمر محدد، فإذا انقضى عمرها جرى استبعادها (رميها) من الشبكة.

هناك طريقة بسيطة لتمثيل العمر (حقل مدة الحياة) باستخدام عدد القفزات، بحيث ينقص العدد واحداً في كل مرة تمر فيها برقية المعطيات عبر مسير. والخيار الآخر هو تمثيل العمر باستخدام قياس حقيقي للزمن. وهذا يتطلب أن تعرف المسيرات بطريقةٍ ما كم مضى على مرور برقية المعطيات أو تجزيئة عبر مسير، لتعرف المقدار الذي يجب طرحه من حقل العمر، وهذا يتطلب نوعاً من آليات التوقيت الشامل. أحد فوائد استخدام القياس الحقيقي للزمن هو إمكان استخدامه في خوارزمية إعادة التجميع كما سنرى فيما يلي.

التجزئة وإعادة التجميع

قد تحدد كل شبكة فردية داخل شبكة بينية حداً أقصى مختلفاً لحجم الرزم. وسيكون من غير الفعال أو غير العملي فرض حجم رزمة موحد على كل الشبكات. ولهذا، قد تحتاج المسيرات إلى تجزيء برقيات المعطيات الواردة إلى أجزاء أصغر، اسمها مقتطعات (**segments**) أو تجزيئات (**fragments**)، قبل أن ترسلها إلى الشبكة التالية.

إذا تعرضت برقيات المعطيات للتجزئة (ربما أكثر من مرة) خلال ترحالها، نشأ السؤال الآتي:

- **أين يجب إعادة تجميعها؟**

يتمثل الحل الأسهل والذي اعتمد في شبكات **IP** في تنفيذ إعادة تجميع تجزيئات برقيات

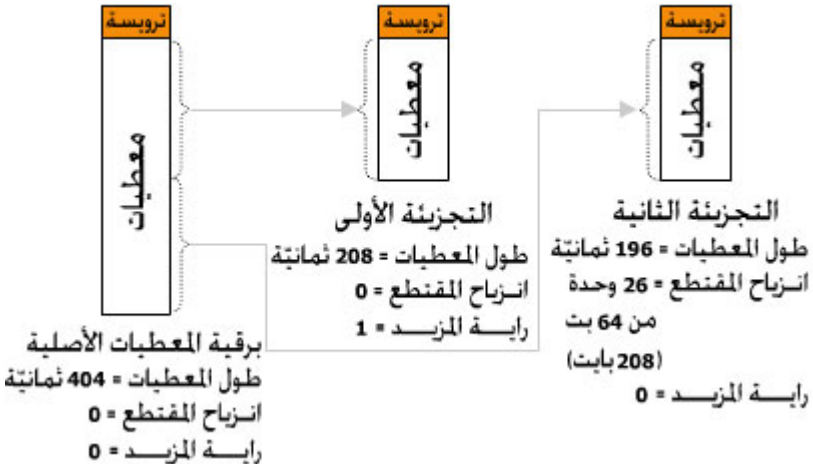
المعطيات في النظام الطرفي المسير إليه فقط. وتَستخدم تقنيةُ تجزئةِ IP المعلوماتِ التاليةَ الموجودة في ترويسة IP:

- **معرف وحدة المعطيات:** يمثل المعرف ID وسيلة للتعريف الوحيد ببرقية معطيات ولّدها نظام طرفي. ويتألف في IP من عنوانَي المصدر والوجهة، ومن رقمٍ يشير إلى طبقة البروتوكول التي ولّدت المعطيات (مثلاً، TCP)، ومعرفٍ تقدمه طبقة البروتوكول هذه.
- **طول المعطيات:** هو طول حقل معطيات المستخدم بالثمانيات.
- **الانزياح:** والانزياح هو موقع تجزيئة من معطيات المستخدم داخل حقل المعطيات في برقية المعطيات الأصلية، معبراً عنه بمضاعفات 64 بتاً.
- **راية المزيد:** وتشير الراية إلى وجود أو عدم وجود تجزيئات لاحقة.

ينشئ النظام الطرفي المصدر برقيةَ معطيات مع حقل "طول معطيات" قيمته تساوي طول كامل حقل المعطيات، ومع انزياح معدوم Offset = 0، وقيمة "راية المزيد" مساوية للصفر (خطأ).

ينشئ النظام الطرفي المصدر برقيةَ معطيات مع حقل "طول معطيات" قيمته تساوي طول كامل حقل المعطيات، ومع انزياح معدوم Offset = 0، وقيمة "راية المزيد" مساوية للـصفر (خطـأ).
وبغية تجزئة برقية معطيات طويلة إلى قطعتين، يقوم مجتزأ IP بالمهام التالية:

1. ينشئ برقيتَي معطيات جديدتين، وينسخ حقول ترويـسة البرقيـة الأصـلية فـي كلتـا البرقيتين.
2. يقسم حقل معطيات المستخدم في البرقية الواردة إلى جزأين متساويين تقريباً، بـاختلاف محدود بـ 64 بت، ويضع جزءاً في كل من البرقيتين الجديدتين. ويجب أن يكون الجزء الأول من مضاعفات 64 بتاً (8 بايتات).
3. يجعل "طول المعطيات" لبرقية المعطيات الجديدة الأولـى مـساوياً طـول المعطيـات المضافة، ويضع القيمة 1 (صح) في "راية المزيد"، ولا يغير قيمة حقل الانزياح.
4. يجعل "طول المعطيات" لبرقية المعطيات الجديدة الثانيـة مـساوياً طـول المعطيـات المضافة، ويضيف إلى حقل الانزياح طول المعطيات الموجود في الجزء الأول مقسوماً على 8. ولا تتغير قيمة راية المزيد.



تحتاج إعادة تجميع (**assembly**) برقية معطيات ما إلى حجم صوان كافٍ في نقطة إعادة التجميع. فعند وصول تجزيئات لها المعرف نفسه، تُحشَر حقول المعطيات في الأمكنة المناسبة في الصوان حتى تنتهي إعادة تجميع كل حقل المعطيات، ويكون ذلك عندما يصبح في الصوان مجموعة متقاربة من المعطيات تبدأ بانزياح **0** وتنتهي بمعطيات من تجزيئة، راية المزيد فيها قيمتها خطأ.

هناك احتمال يجب التعامل معه وهو عدم وصول تجزيئة أو أكثر، فخدمة **IP** لا تضمن التوصيل دائماً. وهناك حاجة إلى طريقة لاتخاذ القرار بالتخلي في مرحلة ما عن محاولة إعادة التجميع لتفريغ محتوى الصوان. ومن الشائع استخدام منهجين:

- يتمثل الأول في إسناد عمر تجميع للتجزيئة الأولى التي تصل. وهو مهلة بالزمن الحقيقي المحلي تسندها وظيفة إعادة التجميع وتتناقص مع تتالي تصوين التجزيئات المستقبلة لبرقية المعطيات الأصلية. وإذا انقضت المهلة قبل إتمام إعادة التجميع، تُرمى التجزيئات المستقبلة.
- يستخدم المنهج الثاني عمر (مدة حياة) برقية المعطيات، وهو موجود في ترويسة كل تجزيئة تصل من تجزيئاتها. تستمر وظيفة إعادة التجميع في إنقاص حقل العمر، على نحو مشابه للمنهج الأول، وإذا انتهى عمر المعطيات قبل إتمام إعادة التجميع، تُرمى التجزيئات المستقبلة.

التحكم في الأخطاء وفي التدفق

لا تضمن وسيلة التشبيك البيني التوصيلَ الناجح لكل برقية معطيات. عندما يرمي/يستبعد مسير برقيةَ معطيات، عليه أن يحاول، إذا كان ذلك ممكناً، أن يرسل إلى المصدر بعض المعلومات

عن ذلك. قد يستخدم كيان بروتوكول الشبكة البينية في المصدر هذه المعلومات ليغير من استراتيجية الإرسال التي يتّبعها، وقد يعلِم الطبقات العليا. وبغية الإعلام عن استبعاد برقية معطيات محددة، هناك حاجة إلى طريقة لتعرف برقيات المعطيات.

قد تُرمى برقيات المعطيات لأسباب عدة، منها انتهاء عمرها، والاختناق والخطأ في **FCS**. وفي الحالة الأخيرة، لا يمكن إرسال إعلام لأن حقل عنوان المصدر قد يكون تعرض للأذى.

يسمح التحكم في التدفق في الشبكة البينية للمسيرات و/أو للمحطات المستقبلة بأن تحد من معدل وصول المعطيات إليها. وفي حالة الخدمة العديمة الارتباط التي نتعرض لها هنا، تكون آليات التحكم في التدفق محدودة. وقد يبدو أن المنهج الأفضل هو إرسال رزم تحكم في التدفق تطلب إنقاص تدفق المعطيات إلى المسيرات ومحطات المصدر الأخرى. وسنرى مثالاً على ذلك مع **ICMP** الذي سنناقشه في الفقرة التالية.

2. بروتوكول رسائل التحكم في إنترنت

يوفّر بروتوكول رسائل التحكم في إنترنت **Internet Control Message Protocol ICMP** (**RFC 792**) طريقة لنقل الرسائل من المسيرات ومن المضيفات الأخرى إلى مضيف ما.

من حيث الجوهر، يعطي **ICMP** تغذية راجعة عن المشاكل في بيئة الاتصال.

ومن الأمثلة على استخدامه ما يلي:

- عندما تعجز برقية معطيات عن الوصول إلى وجهتها
- عندما يفتقر المسير إلى سعات التصوين اللازمة لتسيير برقية معطيات
- عندما يكون بمقدور المسير توجيه المحطة لتحول حركة السير إلى طريق أقصر.

في معظم الحالات، تُرسل رسالة **ICMP** رداً على برقية معطيات، ويرسلها سواء مسير موجود على مسار برقية المعطيات، أو المضيف الموجهة إليه برقية المعطيات.

ومع أن **ICMP** هو في الواقع في مستوى **IP** نفسه في بنيان **TCP/IP**، فإنّه مستخدِم لـ **IP**. حيث تُبنى رسالة **ICMP** ثم تمرر إلى **IP** الذي يغلّف الرسالة بترويسة **IP** ويرسل برقية المعطيات الناتجة بالطريقة المعتادة. ولما كانت رسائل **ICMP** تُرسل في برقيات **IP**، فإن تسليمها غير مكفول ولا يمكن اعتبار استخدامها موثوقاً.

مصاغة رسائل ICMP

تبدأ كل رسالة **ICMP** بترويسة من **64** بتاً مؤلفة من التالي:

1. **النوع (بايت):** يوصف نوع رسالة **ICMP**.
2. **الرماز (بايت):** يستخدم لتوصيف موسطات الرسالة التي يمكن ترميزها باستخدام بت واحد أو أكثر.
3. **رماز التدفيق (2 بايت):** وهو رماز التدقيق في رسالة **ICMP** بتمامها. ويستخدم خوارزمية التدقيق نفسها المستخدمة في **IP**.
4. **الموسطات (4 بايت):** تستخدم لتوصيف موسطاتٍ أطول.

يتبع الترويسة عادةً معلوماتٌ إضافية توصف أيضاً محتوى الرسالة.

في الحالات التي تشير فيها رسالة **ICMP** إلى برقية معطيات سابقة، يتضمن حقل المعلومات كامل ترويسة **IP** إضافةً إلى **64** بتاً من بداية حقل المعطيات في برقية المعطيات الأصلية. ويسمح ذلك للمصدر بأن يقارن رسالة **ICMP** الواردة ببرقية المعطيات السابقة. والسبب الكامن وراء تضمين الـ **64** بتاً الأولى من حقل المعطيات هو أن ذلك يسمح لمجتزأ **IP** في المضيف بأن يحدد البروتوكول أو البروتوكولات العليا المعنية. وبوجهٍ خاص، تتضمن هذه الـ **64** بتاً جزءاً من ترويسة **TCP** أو ترويسة بروتوكول مستوى نقل آخر.

رسائل ICMP

رسالة "لا يمكن بلوغ الوجهة" destination unreachable

وهي تشمل مجموعة من المشاكل:

- قد يرسِل المسير هذه الرسالة إذا كان لا يعرف كيف يصل إلى شبكة الوجهة. وفي بعض الشبكات قد يكون مسير مرتبط بها قادراً على أن يقرر عدم إمكان الوصول إلى مضيف محدد، فيعيد هذه الرسالة.
- قد يرسل المضيفُ الوجهةُ نفسه هذه الرسالة إذا كان من غير الممكن الوصول إلى بروتوكول المستخدِم أو إلى إحدى نقاط النفاذ إلى خدمة أعلى. قد يحدث هذا إذا كانت قيمة الحقل المعني بذلك في ترويسة **IP** خاطئة.
- إذا وصفت برقية المعطيات طريقاً يحدده المصدر وهو غير متوفر، فتُرسل رسالة من هذا النوع.

- إذا كان مسير ما بحاجة إلى تجزئة برقية، في حين أن قيمة راية عدم التجزئة تساوي 1، فإنه يرمي برقية المعطيات هذه، ويعيد هذه الرسالة.

لا يمكن بلوغ الوجهة؛ انتهت المدة؛ تخميد المصدر

رسالة "انتهت المدة" time exceeded

يعيد المسير رسالة "انتهت المدة" عند انتهاء عمر برقية المعطيات. ويرسل المضيف هذه الرسالة إذا عجز عن إتمام إعادة تجميع البرقية في الوقت المحدد.

لا يمكن بلوغ الوجهة؛ انتهت المدة؛ تخميد المصدر

رسالة "تخميد المصدر" source quench

تقدم رسالة "تخميد المصدر" شكلاً بسيطاً من أشكال التحكم في التدفق:

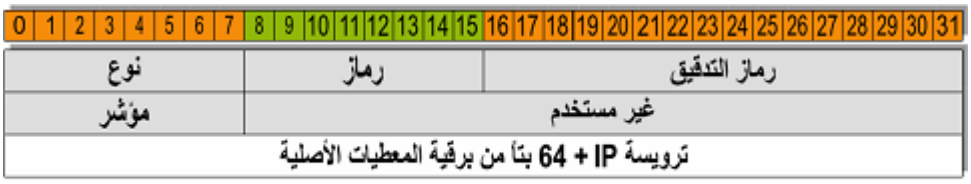
- قد يرسل هذه الرسالة مسير أو مضيفٌ وجهة، إلى مضيفٍ مرسِل ليطلب منه تخفيض معدل حركة السير المرسلة إلى الوجهة في الشبكة البينية. وعند استلام مثل هذه الرسالة، يجب على المصدر أن يخفض معدل إرسال حركة السير باتجاه الوجهة المعنية إلى أن يتوقّف عن استقبال رسائل تخميد المصدر.
- يمكن لمسير أو لمضيف استخدام هذه الرسالة عندما يضطران إلى رمي برقيات المعطيات بسبب امتلاء الصوان. وفي هذه الحالة، يرسل المسير أو المضيف رسالة تخميد المصدر مقابل كل برقية معطيات جرى رميها.
- قد يتوقع نظام ما الاختناق، ويرسل رسائل تخميد المصدر عندما تقارب أصونته الامتلاء. وفي هذه الحالة، قد تصل برقية المعطيات المشار إليها في رسالة تخميد المصدر إلى وجهتها. أي إن استقبال رسالة تخميد المصدر لا يدل على تسليم أو عدم تسليم برقية

المعطيات المشار إليها في رسالة التخميد هذه.

لا يمكن بلوغ الوجهة؛ انتهت المدة؛ تخميد المصدر

رسالة "مشكلة في الموسطات" parameter problem

يسبب خطأً نحوي أو دلالي في ترويسة IP أن يعيد مضيف أو مسير رسالة "مشكلة في الموسطات". على سبيل المثال، قد تُعطى قيمة خاطئة لأحد محددات خيار ما، عندئذ يحتوي حقل الموسطات مؤشراً إلى البايت في الترويسة الأصلية حيث اكتُشِف الخطأ.

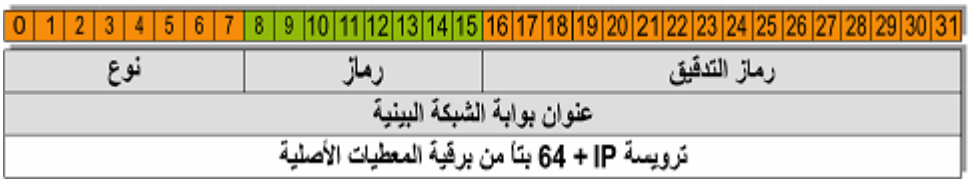


مشكلة في الموسطات

رسالةَ "إعادة توجيه" redirect

يرسِل المسير رسالةَ "إعادة توجيه" إلى مضيفٍ مرتبط به مباشرة لينصحه بطريق أفضل نحو وجهة محددة. ففي مثالنا عن الشبكة البينية، قد يحدث المشهد التالي:

- يستقبل المسير **R1** برقية معطيات من المضيف **C** على الشبكة **Y**.
- يتحقق **R1** من جدول التسيير لديه ويحصل على عنوان المسير التالي، **R2**، وذلك على الطريق إلى شبكة الوجهة **Z** في الشبكة البينية.
- ولما كان **R2** والمضيف المعرف بعنوان المصدر في برقية المعطيات على الشبكة نفسها، يرسل **R1** رسالة إعادة توجيه إلى **C**. وتنصح هذه الرسالة المضيف **C** بأن يرسل حركة السير الموجهة إلى الشبكة **Z** مباشرة إلى المسير **R2**، لأن ذلك يمثل طريقاً أقصر إلى الوجهة. ويمرر المسير برقيةَ المعطيات الأصلية إلى الشبكة البينية الوجهة (عبر **R2**)، ويضمن عنوان **R2** في حقل الموسطات لرسالة إعادة التوجيه.



رسالتا "الصدى" و"رجع الصدى" echo & echo reply

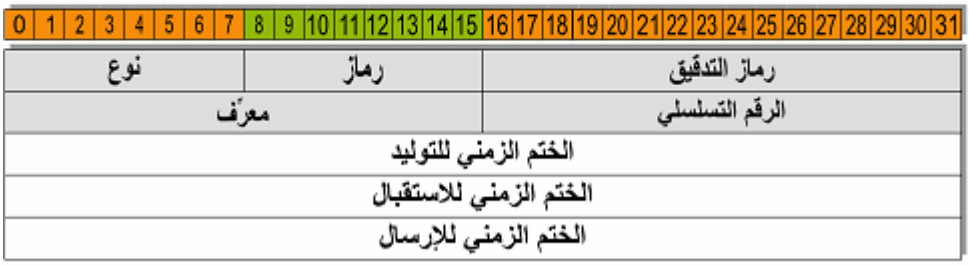
توفر رسالتا "الصدى" و"رجع الصدى" آلية لاختبار إمكان الاتصال بين الكيانات. ويجب على مستقبل رسالة صدى أن يعيد الرسالة في رسالة رجع الصدى. يرتبط بكل رسالةِ صدى معرفٌ ورقم تسلسلي لتجري فيما بعد مطابقتهما مع رسالة رجع الصدى. وقد يستخدم المعرف نقطةَ نفاذٍ إلى الخدمة لتعريف جلسة محددة، ويمكن زيادة الرقم التسلسلي مع كل طلبِ صدى يجري إرساله.

صدى، رجع الصدى

رسالتا "الختم الزمني" و"إجابة الختم الزمني" timestamp & timestamp reply

تقدم رسالتا "الختم الزمني" و"إجابة الختم الزمني" آلية لجمع عينات عن طبيعة التأخير في الشبكة البينية. وقد يضع مرسِلُ رسالةِ الختمِ الزمني معرفاً ورقماً تسلسلياً في حقل الموسطات، واللحظةَ التي أرسلت فيها الرسالة (الختم الزمني للتوليد). يسجل المستقبِلُ لحظةَ استلامه الرسالة ولحظةَ إرسال رسالة الرد في رسالة إجابةِ الختمِ الزمني. فإذا أُرسِلت رسالة الختم الزمني باستخدام التسيير المصدري حصراً، أمكن قياس مميزات التأخير على طريق محددة.

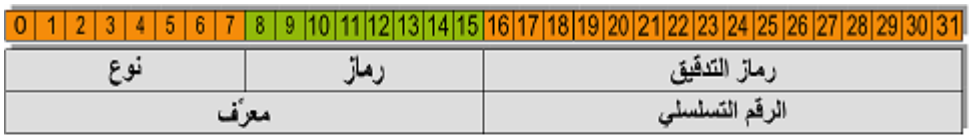
الختم الزمني



إجابة الختم الزمني

رسالتا "طلب قناع العنوان" و"إجابة قناع العنوان" address mask request & address mask reply

تفيد رسالتا "طلب قناع العنوان" و"إجابة قناع العنوان" في بيئة تتضمن شبكات فرعية. وتسمح هاتان الرسالتان لمضيف بأن يحصل على قناع العنوان للشبكة المحلية المرتبط بها، إذ يبثّ المضيف طلب قناع العنوان في الشبكة المحلية، ويجيب المسير المرتبط بهذه الشبكة برسالة إجابة قناع العنوان يضع فيها قيمة القناع المطلوب.



طلب قناع العنوان

إجابة قناع العنوان

3. بروتوكول IPv6

كان بروتوكول الإنترنت **IP** حجر الأساس لشبكة الإنترنت وعملياً لكل الشبكات البينية الخاصة المتعددة المصنعين. إلا أن هذا البروتوكول يقترب من نهاية حياته المفيدة، وهناك بروتوكول جديد معروف باسم **IPv6** (**IP** من الإصدار السادس) معد ليحلّ محلّ **IP**.

ما الدافع وراء الجيل التالي من IP؟

كان الدافع الأساسي وراء اعتماد إصدار جديد من **IP** المحدودية التي يفرضها حقل العنوان المكون من **32** بتاً في **IPv4**. فمع أنه يمكن من حيث المبدأ إسناد **232** عنواناً مختلفاً، وهذا ما يفوق **4** مليارات عنوان ممكن، فقد بدأت مشكلة عدم ملاءمة العناوين من **32** بتاً تظهر في بداية التسعينات:

- إن البنية ذات المستويين لعنوان **IP** (رقم الشبكة ورقم المضيف) مناسبة ولكنها تهدر فضاء العناوين. فما إن يسنَد رقم شبكة إلى شبكة ما، حتى تخصص كل عناوين المضيف المرافقة لهذه الشبكة. وقد يكون استخدام فضاء العناوين المخصص لهذه الشبكة ضئيلاً، إلا أنه إذا كان رقم شبكة مستخدماً، تُعتَبر كل العناوين في هذه الشبكة مستخدمة.

- يتطلب نموذج عنونة **IP** عموماً أن يكون لكل شبكة **IP** عنوان وحيد، سواء أكانت موصولة فعلياً إلى الإنترنت أم لا.
- إن الشبكات تتزايد بسرعة، وتنشر معظم المؤسسات عدة شبكات **LAN** لا شبكة وحيدة. وقد أدت الشبكات اللاسلكية بسرعة دوراً أساسياً. حتى الإنترنت نفسها نمت نمواً انفجارياً على مدى عدة سنوات.
- ينتج عن استخدام **TCP/IP** في مجالات جديدة نمو سريع في الطلب على عناوين **IP** وحيدة، ومن الأمثلة على مثل هذه الاستخدامات، استخدام **TCP/IP** للربط بين طرفيات نقاط البيع الإلكترونية وللربط بين مستقبِلات الكبل التلفزي.
- يسنَد لكل مضيف، عادة، عنوان **IP** وحيد، إلا أن هناك حلاً أكثر مرونة يتمثل في السماح لكل مضيف بأكثر من عنوان، وهذا طبعاً يزيد الطلب على عناوين **IP**.

وهكذا وجهت الحاجة المتزايدة إلى زيادة حجم فضاء العناوين، إلى ضرورة إيجاد إصدار جديد من **IP**. عدا ذلك، فإن بروتوكول **IP** قديم جداً، وقد تلا ظهوره ظهور متطلبات جديدة في تشكيلات إعداد العناوين **ومرونة التسيير ودعم حجز الموارد.**

ولذلك، أصدر فريق العمل الهندسي لإنترنت **IETF** عام **1994** التصميم النهائي لجيل جديد من **IP next-generation** (**IPng**). تُلخص الوثائق **RFC 2460** و**RFC 2373** تفاصيل هذا البروتوكول، المعروف رسمياً الآن باسم **IPv6**.

ملاحظة:

يشار إلى وحدة معطيات البروتوكول في **IPv6** برزمةٍ بدلاً من برقية معطيات، وهو التعبير المستخدم لوحدات معطيات بروتوكول **IPv4**.

التحسينات في IPv6

يتضمن **IPv6** التحسينات التالية مقارنة بـ **IPv4**:

- **آليات عنونة محسنة: فضاء موسع وآليات عنونة جديدة**
  - **فضاء موسّع:** يستخدم **IPv6** عناوين من **128** بتاً بدلاً من **32** بتاً في **IPv4**. وهذه زيادة في فضاء العناوين بعامل قدره **296**. أي ما يسمح بما يقارب **23 10×6** عنواناً مختلفاً في المتر المربع من مساحة الأرض. حتى لو لم تُستخدم العناوين بفعالية، يبدو فضاء العناوين هذا كافياً.
  - **تشكيل ذاتي للعناوين:** يسمح هذا الإمكان بالإسناد الديناميكي لعناوين **IPv6**.
  - **زيادة في مرونة العنونة:** يتضمن **IPv6** مفهوم "بث إلى أي وجهة **anycast**" أي إن

الرزمة تُسلم إلى عقدة واحدة فقط من مجموعة عقد. وتتحسن قابلية التصعيد للتسيير المتعدد الوجهات بإضافة حقل "مجال **scope**" لعناوين البث المتعدد الوجهات.

يتضمن **IPv6** التحسينات التالية مقارنة بـ **IPv4**:

➢ **مرونة في التسيير: اختصار ما أمكن زمن المعالجة في المسيرات**

- **آلية خيارات محسنّة:** توضع خيارات **IPv6** في ترويسات اختيارية مستقلة موجودة بين ترويسة **IPv6** وترويسة طبقة النقل. معظم هذه الترويسات الاختيارية لا تُفحص ولا تُعالج في أي من المسيرات على مسار الرزمة، وهذا ما يبسط ويسرع معالجة رزم **IPv6** في المسير مقارنة ببرقيات معطيات **IPv4**. وهذا ما يسهل أيضاً إضافة خيارات إضافية.
- **التجزئة:** لا تدعم مسيرات **IPv6** التجزئة. إذا تجاوز حجم رزمة **IPv6** الحجم الأعظمي للرزمة تستبعد وترسل رسالة خطأ إلى مصدرها عن طريق بروتوكول **ICMP**. يختصر هذا الإجراء زمن المعالجة في مسيرات **IPv6**.
- **رماز التدفيق:** حذف كلياً في **IPv6** بغية تسريع عملية التسيير.

يتضمن **IPv6** التحسينات التالية مقارنة بـ **IPv4**:

➢ **دعم خدمات جديدة**

- **دعم حجز الموارد:** بدلاً من حقل نوع الخدمة في **IPv4**، يسمح **IPv6** بإضافة لصيقات إلى رزم تدفق حركة سير محددة، يطلب مرسلها معالجتها معالجة خاصة. ويساعد ذلك على دعم حركات سير ذات طبيعة خاصة مثل الفيديو في الزمن الحقيقي.

بنية IPv6

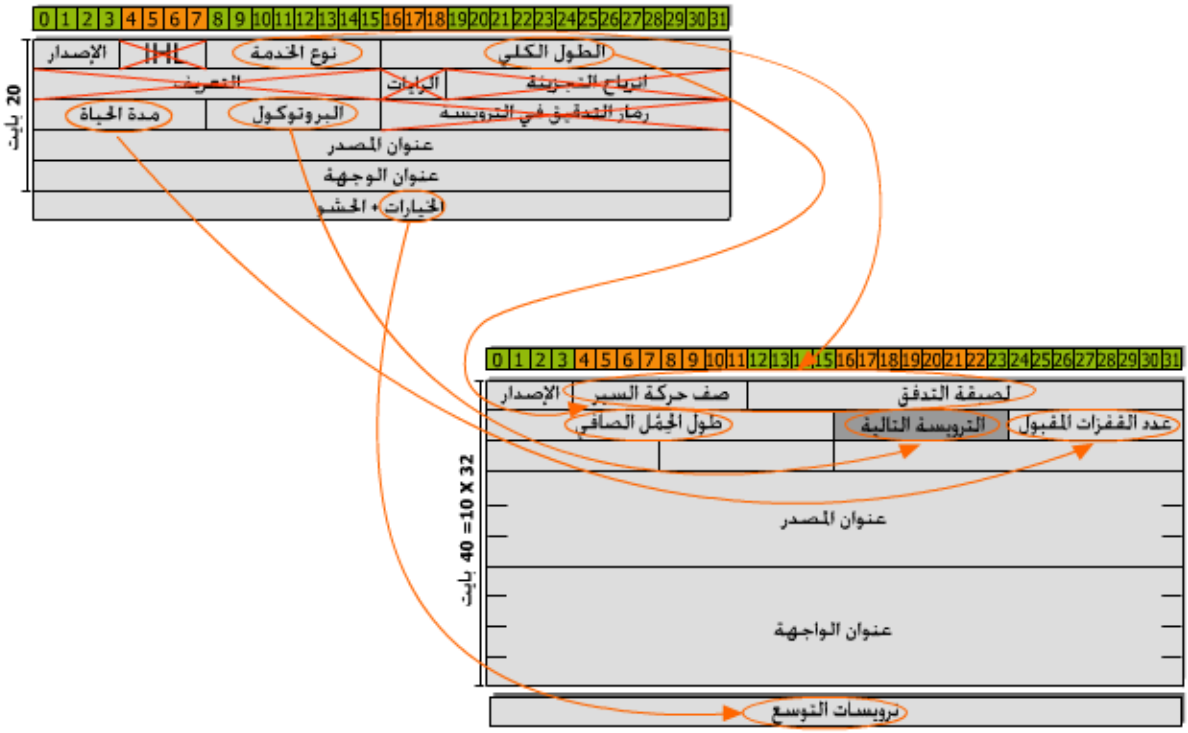
تأخذ وحدة معطيات بروتوكول **IPv6** (المعروفة برزمة) الشكل العام التالي:

يشار إلى الترويسة الوحيدة المطلوبة على أنها مجرد ترويسة **IPv6**. وهي ذات طول ثابت يبلغ **40** بايت، مقارنة بـ **20** بايتاً طول الجزء المفروض من ترويسة **IPv4**. أما باقي الترويسات فهي اختيارية.

3. بروتوكول IPv6

بنية IPv6

ترويسة IPv6



ترويسات التوسع في IPv6

يوصي مِقْيس **IPv6** باعتماد ترتيب محدد عند استخدام عدة ترويسات توسع، وهي مسرودة وفقاً لهذا الترتيب فيما يلي:

- **ترويسة خيارات القفزة فقفزة (hop-by-hop):** تعرف الخيارات الخاصة التي تتطلب معالجة في كل قفزة.
- **ترويسة خيارات الوجهة:** للخيارات التي يجب أن تعالجها أولُ وجهةٍ تظهر في الحقل عنوان وجهة **IPv6**، وفي الوجهات التالية الموجودة في ترويسة التسيير.
- **ترويسة التسيير:** تتيح التسيير الموسع المماثل للتسيير المصدري في **IPv4**.
- **ترويسة التجزيئة:** تحتوي معلومات التجزئة وإعادة التجميع التي يعنى بها النظام الطرفي.
- **ترويسة الاستيقان:** توفر استيقان الرزمة وسلامتها.

- **ترويسة تغليف الحِمل الصافي الأمني ESP:** توفّر الخصوصية.
- **ترويسة خيارات الوجهة:** للخيارات التي يجب معالجتها في وجهة الرزمة النهائية فقط.

عناوين IPv6

يبلغ طول عناوين **IPv6** **128** بتاً. وتُسند العناوين إلى كل واجهة إفرادية في العقدة، لا إلى العقدة نفسها. وقد يكون للواجهة الواحدة عدة عناوين بث وحيد الوجهة، وهذه العناوين وحيدة، ويمكن استخدام أي عنوان بث وحيد الوجهة مرتبط بواجهة عقدة ما للإشارة إلى هذه العقدة بطريقة وحيدة.

يسمح الجمع بين العناوين الطويلة وتعدد العناوين المرتبطة بالواجهة الواحدة، بتحسين أداء التسيير مقارنة بـ **IPv4**:

- فالعناوين في **IPv4** لا تملك عموماً بنية تسمح بدعم التسيير، ولذلك قد يحتاج المسير إلى الاحتفاظ بجدول ضخم من المسارات. وتسمح عناوين أطول في الشبكات البينية بدمج العناوين وفق بنى هرمية للشبكات، أو مزودي خدمة النفاذ، أو جغرافياً، أو تبعاً للشركة، إلخ. ومن المفترض أن يساهم هذا الدمج في تقليص جداول التسيير وتسريع البحث فيها.
- ويسمح تعدد العناوين للواجهة الواحدة لمشتركٍ، يستخدم عدة مزودي خدمة النفاذ عبر الواجهة نفسها، بأن يكون لديه عناوين مستقلة مدمجة داخل فضاءات العناوين لكل مزود خدمة.

أنواع العناوين في IPv6

- **البث الوحيد الوجهة unicast:** معرف لواجهة وحيدة. تُسلم الرزمة المرسلة إلى عنوان "بث وحيد الوجهة" إلى الواجهة التي يعرفها هذا العنوان.
- **البث إلى أي وجهة anycast:** معرف واحد لمجموعة من الواجهات (عادة ما تكون منتمية إلى عقد مختلفة). تُسلم الرزمة المرسلة إلى عنوان "بث إلى أي وجهة" إلى وجهة واحدة معرفة بهذا العنوان (وهي "أقرب" وجهة وفقاً لمقياس المسافة في بروتوكولات التسيير).
- **البث المتعدد الوجهات multicast:** معرف واحد لمجموعة من الواجهات (عادة ما تكون منتمية إلى عقد مختلفة). تُسلم الرزمة المرسلة إلى عنوان "بث متعدد الوجهات" إلى كل الواجهات المعرفة بهذا العنوان.

الفصل الثالث: التسيير في إنترنت

1. تعريف التسيير ومتطلباته

تعريف:

إن الوظيفة الأولية لشبكات ابتدال الرزم هي تلقي الرزم المرسلة من المحطة المصدرية وتسليمها إلى المحطة الوجهة. ولتحقيق ذلك تقوم بتحديد طريق من المصدر إلى الوجهة داخل الشبكة وتسمى هذه العملية "التسيير".

عندما ترسل رسالة بريدية إلى أحدهم، فإنك عادة تضعها في أقرب مركز بريدي إليك وتُلصق عليها العنوان البريدي لوجهتها. لا يهتم المكتب البريدي المحلي بالعنوان الكامل لها وإنما يقوم بتسييرها نحو البلد المحدد على العنوان أولاً فتنتقل الرسالة البريدية من مكتب إلى آخر إلى أن تصل إلى أول مكتب بريدي في البلد الوجهة. يجري عندئذ معاينة ما تبقى من العنوان تدريجياً لتوصيل الرسالة إلى المنطقة ثم إلى الحي وأخيراً إلى الشخص المرسل إليه.

تعمل شبكات **IP** بنفس الطريقة فهي تتألف من مجموعة من الشبكات المستقلة تدعى نظم مستقلة. يتألف فيها كل نظام مستقل من مجموعة من المسيرات (المكاتب) تنتمي لبنية إدارية معينة وتتعاون فيما بينها لتؤدي وظيفة تسيير داخلية خاصة بهذا النظام المستقل، تماماً كما هو الحال ضمن بلد أو منطقة أو حي، تهدف إلى إيجاد مسار للرزمة **IP** (الرسالة) المعنونة حتى بلوغها النظام المستقل التالي.

تُنجز وظيفة التسيير على المسيرات في الشبكة ويسعى كل مسير في الشبكة إلى إيجاد القفزة التالية (**next hop**) (المسير التالي) لكل رزمة مارة به في طريقها نحو وجهتها المحددة. قد تكون الطرق المؤدية إلى وجهة محددة وحيدة. ولكن غالباً ما يوجد أكثر من طريق واحد للوصول إلى الوجهة، ويتوجب على الشبكة حينئذ اختيار الطريق الأمثل وهو الأقل تكلفة عبر الشبكة، سواء كانت التكلفة معتمدة على عدد القفزات في الشبكة (عدد المسيرات على الطريق)، أو مدة التأخير المتوقع أو غيرها من المقاييس الأخرى.

متطلبات التسيير

بغية القيام بمهمة التسيير تحتاج الشبكة إلى ما يلي:

- اختيار مسير أو أكثر في الشبكة كمسؤول عن حساب أقصر الطرق وبثها إلى بقية المسيرات في الشبكة. فإذا جرى اختيار مسير وحيد سميت عملية التسيير هذه **التسيير المركزي**. وإذا جرى اختيار مجموعة من المسيرات أو كل المسيرات سميت عملية التسيير هذه **التسيير الموزع**.
- استخدام **خوارزميات التكلفة الدنيا** لحساب تكلفة أقصر طريق بالاعتماد على نظرية المبيان. تُعتبر فيها الشبكة مبياناً تمثل عقده المسيرات في الشبكة، ووصلاته الوصلات فيما بين المسيرات في الشبكة. تُثقل الوصلات في المبيان بالكلف المحسوبة والمسنَدة إلى وصلات الشبكة.
- تخزين معلومات التسيير عن أقصر الطرق في **جداول التسيير** وتحديثها آلياً لدى كل مسير كلما تغيرت حالة إحدى عقد أو وصلات الشبكة أو كلما تغيرت تشكيلة الشبكة بإضافة أو تعطيل مسير/وصلة ضمنها. إن التحديث الديناميكي لمعلومات التسيير وبالتالي لجداول التسيير يجعل **عملية التسيير تكيفية**.
- **بروتوكولات التسيير** المسؤولة عن التخاطب فيما بين مسيرات الشبكة بغية تبادل المعلومات المتعلقة بحالة الشبكة وتغيرات حركة السير عليها، وكذلك جداول التسيير وكلف الوصلات.

التسيير المركزي والتسيير الموزع

ويتعلق بمكان اتخاذ قرار التسيير أي على عاتق أي من العقد في الشبكة تقع مسؤولية القيام بعملية اتخاذ قرار التسيير. يحدد قرار التسيير الطريق الذي ستسلكه رزمة ما للوصول إلى وجهة محددة وهو حقيقة عبارة عن وصلات متتابعة تقوم عقد الشبكة الوسيطة بالربط فيما بينها.

في التسيير المركزي، يؤخذ القرار في عقدة محددة سلفاً، كمركز التحكم في الشبكة ثم يبث هذا القرار إلى كل عقد الشبكة. تَكمن خطورة التسيير المركزي في أنه قد يشلّ حركة السير في الشبكة كلها عند تعطل مركز التحكم. ولهذا فإن التسيير الموزع هو أكثر متانة وأيضاً أكثر تعقيداً وهو الأكثر شيوعاً.

في التسيير الموزع، يتخذ القرار في كل عقدة على حدة ويجري التسيير وفق المراحل التالية:

1. تجمع العقدة كل المعلومات الممكنة عن طبولوجيا وحالة الشبكة مما يتوفر لديها محلياً

كتكلفة كل وصلة خارجة لديها، وقد تَجمع أيضاً معلومات من العقد المجاورة لها (العقد المتصلة بها مباشرة)، مثلاً حجم الاختناق الذي تعاني منه تلك العقد المجاورة، أو تتبادل معها جداول التسيير المتوفرة لدى كل منها.

2. عند توفر كل المعلومات في العقدة تتكون لديها صورة كافية (شاملة أو جزئية) عن طبولوجية الشبكة وكلفها وطرقها وتقوم بحساب أقصر الطرق منها إلى بقية هذه الشبكة.
3. تعيد كل عقدة حساباتها إذا وردها تحديث لمعلومات التسيير بناءً على تغيرات حصلت غي الشبكة.

التسيير الثابت والتسيير التكيفي

لا يجري مطلقاً تحديث المعلومات إذا كانت إستراتيجية التسيير ثابتة. على حين يجب تحديث المعلومات من وقت إلى آخر في استراتيجيات التسيير التكيفية ليكون قرار التسيير متلائماً مع التغيرات الفعلية لحالة الشبكة. يتعلق تحديد توقيت تحديث المعلومات بكلٍ من مصدر المعلومات وإستراتيجية التسيير. فإذا كانت المعلومات المستخدمة محليةً يكون تحديثها مستمراً، فكل عقدة على علم مستمر بحالتها المحلية. أما فيما يخص الأنواع الأخرى من مصادر المعلومات (العقدة المجاورة أو كل العقد)، فيتعلق توقيت التحديث مباشرة بإستراتيجية التسيير.

أهم الظروف التي تتعرض لها الشبكة والتي تُؤثّر في قرار التسيير:

- **الأعطال:** يؤدي تعطل عقدة أو وصلة إلى استبعاد استخدامها في طرق التسيير.
- **الاختناقات:** عند حدوث اختناق في أحد أجزاء الشبكة، من الأفضل تسيير الرزم بحيث تلتف على الجزء المختنق دون أن تعبره.

لا يمكن للتسيير التكيفي تحقيق ذلك إلا بتبادل معلومات حالة الشبكة فيما بين العقد.

هناك عدد من السلبيات الناتجة عن استخدام التسيير التكيفي مقارنة بالتسيير الثابت، وهي:

- إن عملية اتخاذ قرار التسيير أكثر تعقيداً، وتتطلب من ثَم زمناً أطول للمعالجة في عقد الشبكة.
- إن الاستراتيجيات التكيفية تَعتمد، في أغلب الأحيان، على معلومات عن الحالة يجري تجميعها في مكان واستخدامها في مكان آخر. ويجب هنا الموازنة بين جودة المعلومات وحجم الحمل المضاف (الناتج عن تبادل هذه المعلومات). فكُلما كثُرت المعلومات المتبادلة وتسارع تواتر تبادلها، أثّر ذلك إيجاباً في صحة قرار التسيير المتخذ. ولكن بالمقابل، تُشكّل هذه المعلومات حملاً إضافياً في حد ذاتها على الشبكة فتؤدي إلى انحطاط

في أدائها.

- قد يكون رد فعل الإستراتيجية التكيفية سريعاً جداً، مما يسبب تقلبات (**oscillation**) مولدة للاختناقات، وقد يكون بطيئاً جداً بحيث يفقد معناه.

بالرغم من هذه الأخطار الحقيقية، ينتشر استخدام الاستراتيجيات التكيفية انتشاراً واسعاً، وذلك لسببين اثنين:

- مساهمة استراتيجيات التسيير التكيفي في رفع أداء الشبكة كما يراه مستخدم الشبكة.
- يمكن أن تساعد استراتيجيات التسيير التكيفي على التحكم في الاختناق. إذ يمكنها تأخير هجوم الاختناقات الخطيرة انطلاقاً من سعيها لموازنة الأحمال على الشبكة.

تَعتمد الطريقة التقليدية في تصنيف استراتيجيات التسيير التكيفي على مصدر المعلومات عن الحالة، فقد يكون محلياً أو من العقد المجاورة أو من كل العقد.

نادراً ما تُستخدم الطرق التكيفية المبنية على المعلومات المحلية فقط، نظراً لعدم الاستفادة فيها بسهولة من المعلومات المتاحة. ويشيع استخدام الاستراتيجيات التكيفية المبنية على المعلومات المستمدة من العقد المجاورة أو من كل عقد الشبكة. إذ تستفيد هاتان الإستراتيجيتان من معلومات حالات التأخير والانقطاع التي تتعرض لها كل عقدة.

وكما هو متوقع، كلما كانت المعلومات أوفر وكان تواتر التحديث أعلى، كانت قرارات التسيير أكثر صواباً. ولكن بالمقابل يستهلك إرسال هذه المعلومات موارد الشبكة.

يمكن تلخيص مختلف عناصر التصميم اللازمة في تحديد إستراتيجية التسيير بالجدول التالي. ومع أن الأصناف المذكورة تتراكب فيما بينها ويتبع بعضها بعضها الآخر، فإنها تساعد في توضيح مفاهيم التسيير وتنظيمها.

معايير الأداء	عدد القفزات	التكلفة	التأخير	معدل التدفق	
زمان القرار	الرزمة (برقية المعطيات)	الجلسة (الدارة الافتراضية)			
مكان القرار	كل عقدة (موزعة)	العقدة المركزية (مركزية)	العقدة المصدرية (مصدر)		
مصدر معلومات الشبكة	لا يوجد	محلي	عقدة مجاورة	عقد على الطريق	كل العقد
توقيت تحديث معلومات الشبكة	مستمر	دوري	عند التغيرات الرئيسية للأحمال	عند تغير الطبولوجيا	

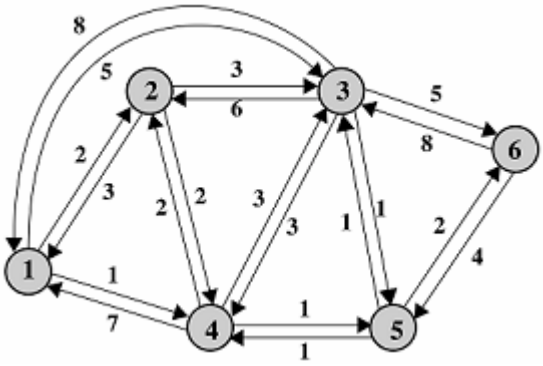
عناصر تقنيات التسيير في شبكات ابتدال الرزم

خوارزميات التكلفة الدنيا

يعتمد اختيار الطريق عادة على معيارٍ ما للأداء، وأسهل معيار هو الطريق الأقصر مقيساً بعدد العقد المكونة له (عدد **القفزات**). وهو معيار يسهل قياسه إضافة إلى أنه يجب ألا يستهلك من موارد الشبكة إلا أقلها. ويعتَبر معيار التسيير ذي التكلفة الدنيا تعميماً لمعيار أقل القفزات. حيث يستَند في هذه الحالة تكلفة لكل وصلة، ويجري اختيار الطريق لزوج ما من المحطات المرتبطة، الذي يحقق أصغر مجموع لتكاليف الوصلات عليه.

ليكن لدينا شبكة من العقد المرتبطة فيما بينها بوصلات ثنائية الاتجاه، حيث يسند إلى كل عقدة قيمتان هما تكلفة كل اتجاه. ولنعرف تكلفة المسار بين عقدتين بمجموع تكاليف الوصلات المعبورة على هذا المسار. تهدف الخوارزمية إلى إيجاد المسار ذي التكلفة الصغرى بين كل زوج من العقد، وتبني بذلك شجرة أقصر الطرق من أجل كل عقدة وهي ما يسمى شجرة الاستمثال (**optimality tree**).

لاحظ أن المسار الأقصر (أقل القفزات) بين العقدة **1** والعقدة **6** هو **1-3-6** (التكلفة: **5+5=10**)، على حين أن المسار ذو التكلفة الدنيا هو **1-4-5-6** (التكلفة: **1+1+2=4**). ولاحظ أنه قد تختلف تكلفة الاتجاهين على الوصلة. فعلى سبيل المثال، يصح هذا إذا ارتبطت تكلفة الوصلة بطول رتل الرزم التي تنتظر الإرسال من عقدتي الوصلة.



تُسنَد التكاليف إلى الوصلات لتعزيز هدف أو أكثر من أهداف التصميم. فمثلاً، قد تتناسب التكلفة عكساً مع معدل المعطيات (تُسنَد قيمة صغيرة إلى تكلفة الوصلة ذات معدل المعطيات العالي)، أو مع مدة الانتظار الحالي في رتل الإرسال على الوصلة. يوفر الطريق ذو التكلفة الدنيا في الحالة الأولى أعلى تدفق ممكن، على حين يوفر في الحالة الثانية أقل مدة تأخير.

تَعتمد جميع شبكات ابتدال الرزم والشبكات البينية تقريباً على أحد أشكال معيار التكلفة الدنيا بغية اتخاذ قرار التسيير. فإذا كان المعيار هو تخفيض عدد القفزات كانت قيمة كل وصلة تساوي **1**.

والأكثر شيوعاً هو أن تكون قيمة الوصلة متناسبة عكساً مع سعتها، أو متناسبة طرداً مع الحمل الحالي عليها، أو أن تكون تركيبة من الاثنين معاً. ومهما كانت الحالة، تُستخدم تكلفة الوصلة أو عدد القفزات مدخَلاً لخوارزمية حساب التكلفة الدنيا.

إن خوارزميات التكلفة الدنيا المستخدمة في شبكات ابتدال الرزم والشبكات البينية هي ضروب من خوارزمية من اثنتين من الخوارزميات المشهورة، هما خوارزمية ديجكسترا وخوارزمية بلمان – فورد (الملحق **Appendix3_1**).

جداول التسيير

الهدف الأساسي لتبادل المعلومات بين المسيرات وتطبيق خوارزمية التكلفة الدنيا هو بناء وتحديث جداول التسيير.

جدول التسيير:

هو المعلومة المرجعية التي يلجأ إليها المسير لحظة وصول رزمة عابرة إليه. وهو جدول من سجلات مدخل كل منها وجهة في الشبكة (عنوان شبكة) ومخرجها العقدة (القفزة) التالية الواجب سلوكها للوصول إلى الوجهة بأقل تكلفة ممكنة. تُسجل التكلفة الدنيا للطريق أيضاً في السجل لاستخدامه في حساب التكلفة الدنيا ولبثه عبر الشبكة عند اللزوم.

كمثال، لننظر مم يتألف جدول التسيير في مضيف يعمل أيضاً كمسير **IP** على شبكة محلية.

RRAS-ROUTER1 - IP Routing Table

Destination	Network mask	Gateway	Interface	Metric	Protocol
10.57.76.0	255.255.255.0	10.57.76.1	Local Area C...	1	Local
10.57.76.1	255.255.255.255	127.0.0.1	Loopback	1	Local
10.255.255.255	255.255.255.255	10.57.76.1	Local Area C...	1	Local
127.0.0.0	255.0.0.0	127.0.0.1	Loopback	1	Local
127.0.0.1	255.255.255.255	127.0.0.1	Loopback	1	Local
192.168.45.0	255.255.255.0	192.168.45.1	Local Area C...	1	Local
192.168.45.1	255.255.255.255	127.0.0.1	Loopback	1	Local
224.0.0.0	224.0.0.0	192.168.45.1	Local Area C...	1	Local
224.0.0.0	224.0.0.0	10.57.76.1	Local Area C...	1	Local
255.255.255.255	255.255.255.255	192.168.45.1	Local Area C...	1	Local
255.255.255.255	255.255.255.255	10.57.76.1	Local Area C...	1	Local

يجري تخزين معلومات التسيير في جدول يتألف من سجلات يحوي كل سجل منها الحقول التالية:

- يحوي الحقل الأول عنوان الوجهة المرغوب التسيير نحوها وقد تكون عنوان وجهة نهائية (محطة طرفية أو مسير محدد) أو عنوان شبكة.
- يحوي الحقل الثاني قناع العنوان الوجهة الموجود في السجل. ويستخدم لمعرفة عدد بتات بادئة الشبكة المعنية.
- يحوي الحقل الثالث عنوان المسير التالي الذي يعتبر القفزة التالية لرزم المعطيات على الطريق الأمثل آنياً إلى الشبكة الوجهة.
- يشير الحقل الرابع إلى خط الخرج الذي يمكن عبره الوصول إلى الشبكة المحددة بالعنوان الوجهة.
- يحوي الحقل الخامس تكلفة الطريق المحدد بالقفزة التالية المحددة في السجل المعني. غالباً ما يعبر عن التكلفة في إنترنت بعدد القفزات من القفزة التالية وحتى الوجهة الهدف.
- يشير الحقل السادس إلى البروتوكول الذي جرى عن طريقه تحديث جدول التسيير. وهو في حالتنا يدوياً أي ليس باستخدام بروتوكول تسيير.

نشاط:

استنتج من جدول التسيير السابق العناوين المسندة إلى هذا المسير والشبكات التي يرتبط بها.

يقوم المسير، عند وصول رزمة إليه، بإجراء عملية تمرير اعتماداً على الخطوات التالية:

1. يستخرج المسير عنوان الوجهة **IP** للرزمة الواصلة.
2. يمر على كل سجلات جدول التسيير سجلاً إثر سجل ويختار السجلات الذي تتطابق فيها نتيجة عملية **AND** على عنوان الوجهة والقناع مع قيد العنوان في السجل.
3. يختار السجل الأمثل وهو عادة السجل الذي يحوي أطول قناع.
4. يستخلص القفزة التالية (العقدة التالية) في الطريق نحو الوجهة ويوجه الرزمة نحو الوصلة المؤدية إلى العقدة التالية على الطريق.

تسمى هذه العملية التمرير (**forwarding**): وهي عملية البحث في جداول التسيير من أجل تعيين الوجهة التالية على الطريق التي يجب توجيه الرزمة إليها.

بروتوكولات التسيير

إن وظيفة المسيرات في الشبكة هي استقبال وتمرير الرزم عبر الشبكة. يقوم كل مسير باتخاذ قرارات التسيير بالاعتماد على معرفته بطبولوجية الشبكة وظروف حركة السير والتأخير فيها. قد يكون استخدام أسلوب تسيير ثابت في شبكة بسيطةٍ ممكناً. أما في الشبكات البينية المعقدة، فهناك حاجة إلى درجة معينة من التعاون الديناميكي فيما بين المسيرات. ويجب على المسير، بوجهٍ خاص، أن يتجنب أجزاء الشبكة المتعرضة للأعطال وكذلك الأجزاء المزدحمة منها. ولاتخاذ قرارات تسيير ديناميكية وتكيفية من هذا النوع، يجب على المسيرات أن تتبادل المعلومات فيما بينها باستخدام بروتوكول تسيير من نوع خاص.

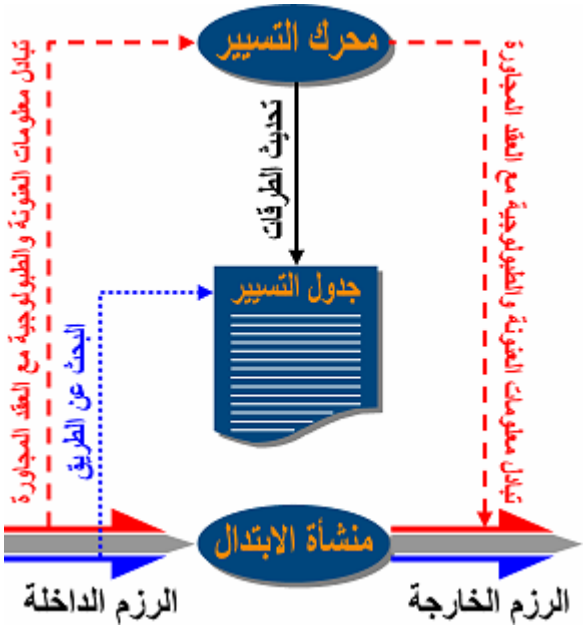
2. بروتوكولات التسيير في إنترنت

نَنظر هنا في أمثلة مختلفة من إستراتيجيات التسيير ابتُكرت جميعها في الأصل لمصلحة شبكة ابتدال الرزم **ARPANET** التي بنيت عليها الشبكة المعروفة اليوم باسم الإنترنت واستُخدمت أيضاً في الشبكات البينية الخاصة.

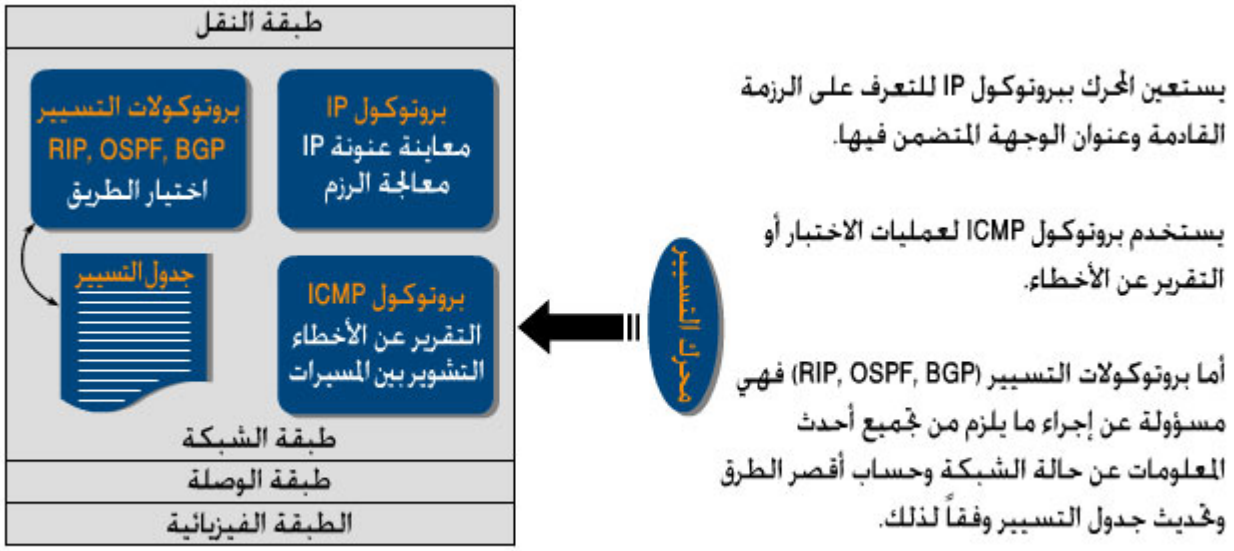
بنيان المسير IP

يتألف المسير في إنترنت من ثلاثة مكونات رئيسية:

1. **خطوط الدخل والخرج:** تستقبل خطوط الدخل الرزم القادمة وتستخلص منها عنوان وجهتها، ومن ثم تقوم بالبحث في جدول التسيير عن القفزة القادمة التي يجب تسيير الرزمة إليها. تمرر بعدئذ الرزمة إلى منشأة الابتدال ليصار إلى إرسالها إلى خط الخرج المناسب. إن خطوط الدخل والخرج مسؤولة عن استقبال الرزم وتخزينها (تصوينها) إلى أن يحين وقت معاينتها أو إرسالها.
2. **منشأة الابتدال:** نعرف منشأة الابتدال بأنه مزيج من المكونات الصلبة والمكونات البرمجية المسؤولة عن تمرير الرزم من خطوط دخل إلى خطوط خرج وفقاً لتعليمات محرك التسيير.
3. **محرك التسيير (routing engine):** هو البنية، في طبقة الشبكة للمسير، المسؤولة عن بناء جدول التسيير وتحديثه.



يستعين محرك التسيير من أجل بناء جدول التسيير وتحديثه ببروتوكولات التسيير التي ترفده بمعلومات عن تغيرات طبولوجية الشبكة وببروتوكولات أخرى متوضعة في طبقة الشبكة.



مكدس البروتوكولات في محرك تسيير IP

النظم المستقلة Autonomous Systems

نحتاج إلى شرح مفهوم النظام المستقل (AS) قبل المضي قدماً في دراسة بروتوكولات التسيير.
يتمتع النظام المستقل بالخصائص التالية:

1. AS هو مجموعة من المسيرات والشبكات تديرها مؤسسة واحدة.
2. يتألف AS من مجموعة مسيرات تتبادل المعلومات فيما بينها عن طريق بروتوكول تسيير

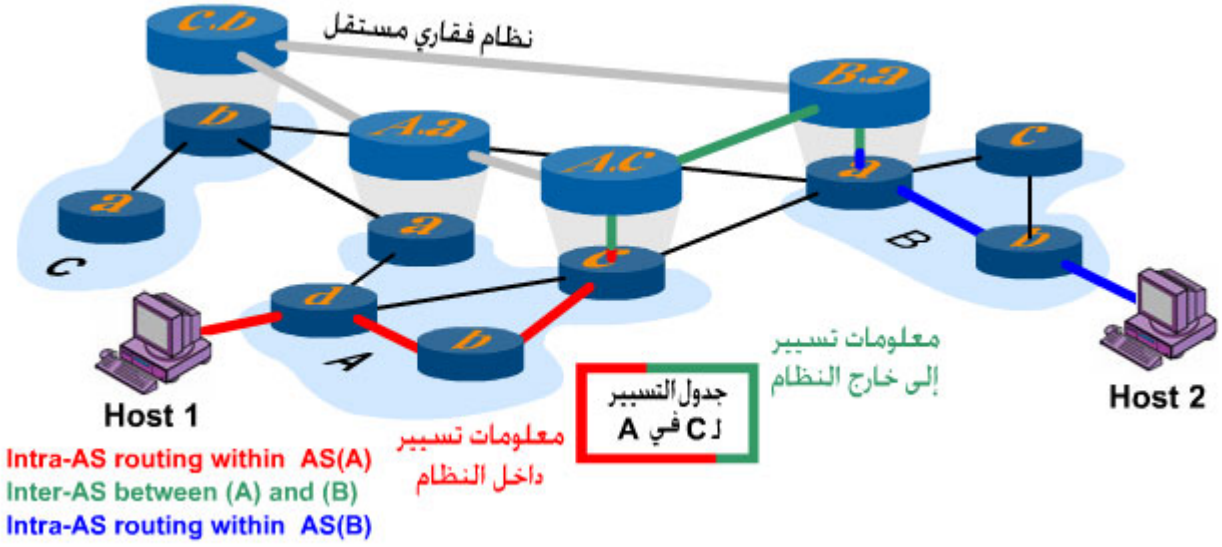
مشترك.

3. فيما عدا حالات الإخفاق، يكون **AS** مرتبطاً (بمعنى نظرية المبيان)؛ أي يوجد مسار بين كل زوجين من العقد.

يجري تمرير معلومات التسيير بين المسيرات في النظام المستقل (**AS**) بوساطة بروتوكول تسيير مشترك نطلق عليه اسم بروتوكول تسيير داخلي **IRP** (**Interior Router Protocol**). لا يحتاج البروتوكول المستخدم ضمن النظام المستقل إلى أن ينجز في خارجه. تسمح هذه المرونة لبروتوكولات التسيير الداخلية بأن يجري إعدادها وفقاً لتطبيقات واحتياجات خاصة.

يمكن أن تكون جميع الشبكات المحلية في موقع ما، مثل تجمع مكاتب أو حرم جامعة، مترابطة فيما بينها بمسيرات لتكون نظاماً مستقلاً. هذا النظام يمكن أن يكون مربوطاً بوساطة شبكة واسعة إلى نظم مستقلة أخرى. وتكون هذه الشبكة الواسعة بحد ذاتها نظاماً مستقلاً آخر.

إذن، قد يحدث أحيانا أن تتألف الشبكة البينية من أكثر من نظام مستقل، كما في المثال الذي يبينه الإيضاح عن شبكة بينية مؤلفة من ثلاثة نظم مستقلة **A** و**B** و**C** مترابطة فيما بينها عبر نظام مستقل فقاري مؤلف من مجموعة متشارك بها من المسيرات.



لاحظ أنه يمكن لبعض من المسيرات، تسمى المسيرات الحدودية (**Border Roter**)، الانتماء إلى أكثر من نظام مستقل وتستخدم بالتالي بروتوكولات تسيير مختلفة. ولكن يكون لكل بروتوكول تسيير مجال تطبيق محدد بالنظام المستقل الذي يعمل ضمنه. ففي النظام المستقل **A**، يستخدم المسير **c** بروتوكول تسيير داخلي ضمن **A** وبروتوكول تسيير آخر

ضمن النظام الفقاري (المسير **Ac** هو وجه آخر للمسير **c**).

لاحظ أنه قد تختلف الخوارزميات والمعلومات في جداول التسيير التي تستخدمها المسيرات بين النظم المستقلة المختلفة. ومع ذلك، فالمسيرات في نظام مستقلٍ ما تحتاج على الأقل إلى حد أدنى من المعلومات عن الشبكات الممكن الوصول إليها خارج هذا النظام. توفر المسيرات الحدودية هذه المعلومات للمسيرات ضمن نظام مستقل.

لاحظ أن المسار الذي يربط بين مضيفين من نظامين مستقلين مختلفين يتكون من ثلاثة أجزاء: طريقاً (داخلياً) عابراً للنظام المستقل المصدر، وطريقاً (خارجياً) عابراً للنظام المستقل الفقاري، وطريقاً (داخلياً) عابراً للنظام المستقل الوجهة.

يسمى البروتوكول المستخدم لتمرير معلومات التسيير بين المسيرات في النظم المستقلة المختلفة ببروتوكول تسيير خارجي **ERP** (**Exterior Router Protocol**).

لماذا الحاجة إلى بروتوكولات تسيير داخلية وخارجية؟

لثلاثة أسباب جوهرية:

1. **السياسة:** التسيير الداخلي له علاقة بنظام إداري واحد أي بجهة إدارية واحدة تتبع سياسة موحدة، بينما يقوم التسيير الخارجي بين نظم مستقلة مختلفة تابعة لجهات حكومية أو إدارية مختلفة يتبع كل منها سياسة خاصة به.
2. **الحجم:** كلما ازداد حجم الشبكة كبرت أحجام جداول التسيير. يؤدي الفصل بين التسيير الداخلي والخارجي إلى الفصل أيضاً بين جداول التسيير لكل منهما مخففاً بذلك من حجم جداول التسيير من جهة ومن حجم حركة المرور اللازمة لتبادل معلومات التسيير ضمن النظام المستقل. [مرجع]
3. **الأداء:** تركز النظم المستقلة قي نطاقها على معيار الأداء لتخفيض التكلفة ما أمكن ذلك. ولكن من الصعب قياس الأداء خارج النظام المستقل وفيما بين الأنظمة نظراً لعوامل مختلفة من التأخير والخصوصية. ثم إن للمعايير السياسية في هذا النطاق أهمية أجدى.

بإمكانك التوقع أن بروتوكول التسيير الخارجي يحتاج إلى تمرير معلومات أقل من بروتوكول التسيير الداخلي للسببين التاليين:

- إذا كان علينا نقل برقية معطيات من حاسوب مضيف في نظام مستقل إلى مضيف في نظام مستقل آخر، فإن ما يحتاج إليه مسير في النظام الأول هو تحديد النظام المستقل المستهدف فقط، ثم تحديد مسار للوصول إليه.

- حالما تصل برقية المعطيات إلى النظام المستقل المستهدف، تتعاون المسيرات ضمن هذا النظام فيما بينها لتوصيل برقية المعطيات إلى وجهتها.

إذن لا يحتاج **ERP** إلى معرفة أي من التفاصيل عن المسار المتبع ضمن النظام المستقل المستهدف.

طرائق التسيير

تَستخدم بروتوكولات التسيير في الشبكات البينية واحدةً من ثلاث طرائق لتجميع واستخدام معلومات التسيير:

1. التسيير وفق متجه المسافة
2. التسيير وفق حالة الوصلة
3. التسيير وفق متجه المسار

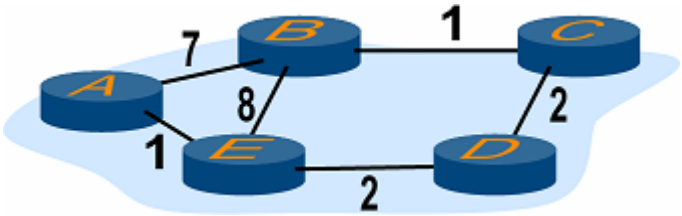
التسيير وفق متجه المسافة

يتطلب التسيير وفق متجه المسافة (**distance-vector routing**) أن تتبادل كل عقدة (مسير أو مضيف ينجز بروتوكول التسيير) المعلوماتِ مع العقد المجاورة لها. وتعتبر هذه الطريقة أحد متغيرات خوارزمية بلمان-فورد.

لتحقيق هذا الغرض، تحتفظ كل عقدة بما يلي:

- متجه تكاليف الوصلات لكل شبكة مربوطة بها ربطاً مباشراً بحيث تكون دوماً على علم بهوية العقد المجاورة لها وبتكلفة الوصلات إلى كل منها. حيث تعتبر عقدتان ما متجاورتين إذا كانتا مربوطتين مباشرة إلى نفس الشبكة.
- متجه المسافة والقفزة التالية من أجل كل وجهة معروفة لديها على الشبكة. يبين هذا المتجه القفزة التالية التي تحقق أقل تكلفة من أجل كل وجهة.

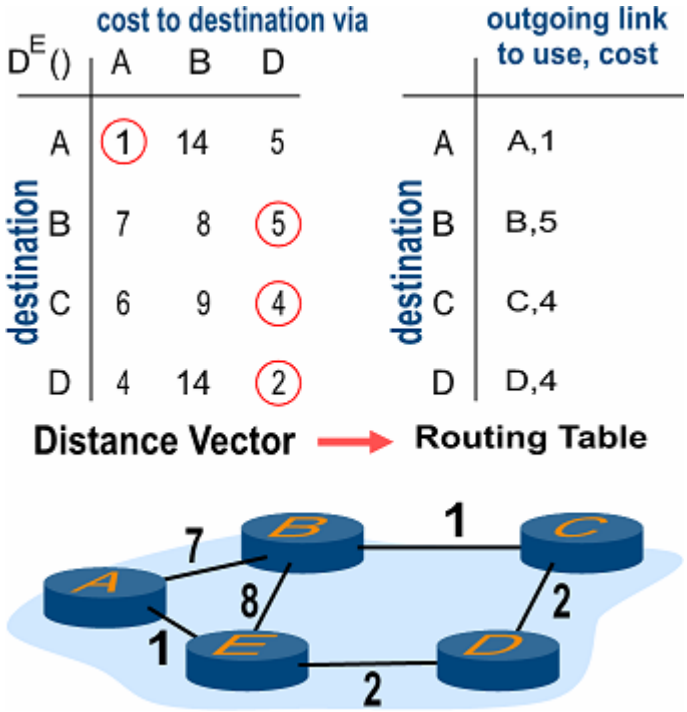
على سبيل المثال، تحتفظ العقدة **E** في الشبكة التالية بمتجه التكاليف إلى كل من **A**، **B** و**D**. وتحتفظ كذلك بمتجه المسافة إلى كل العقد الذي يعطي تكلفة الطريق إلى وجهة ما (عقدة ما) من أجل كل قفزة تالية محتملة.



التسيير وفق متجه المسافة

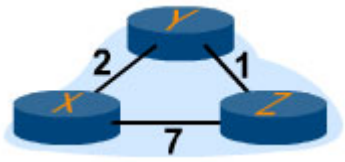
لاحظ

- أنه في البداية تعرف العقدة **E** فقط العقد المجاورة لها والطرق المباشرة إلى كل منها.
- أن العقدة **E** لا تعرف في البداية بوجود الوجهة **C** ولكن يردها الطريق إليها من أحد العقد المجاورة لها.
- أنها استكملت بناء متجه المسافة لديها بعد انتهاء ورود كل المعلومات من الشبكة.
- أنه يمكن عندئذ استخلاص الطرق ذات التكلفة الدنيا من متجه المسافة هذا بغية بناء جدول التسيير للعقدة **E**.



ولكن كيف يقوم المسير ببناء ثم بتحديث متجهات المسافة لديه؟ في الحقيقة، تتبادل المسيرات متجهات المسافة عدة مرات وتعيد حسابات أقصر الطرق في كل مرة قبل أن تتوصل إلى متجه المسافة الذي يعكس حقيقةً طبولوجية الشبكة.

من أجل توضيح ذلك لنأخذ مثالاً بسيطاً ولتكن الشبكة التالية:



تبني كل عقدة النسخة الابتدائية من متجه المسافة الخاص بها. وتضع القيمة "لانهاية" للطرق التي لا يمكنها بعد معرفة قياسها.

D^X

destination	cost via Y	cost via Z
Y	2	∞
Z	∞	7

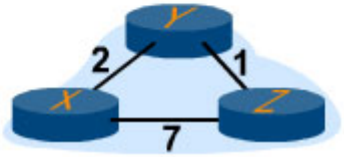
D^Y

destination	cost via X	cost via Z
X	2	∞
Z	∞	1

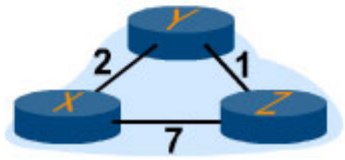
D^Z

destination	cost via X	cost via Y
X	7	∞
Y	∞	1

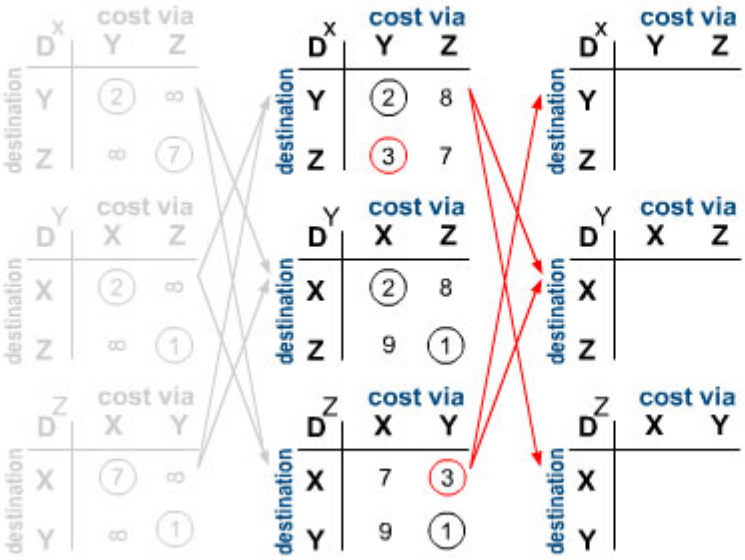
تعلن كل العقد إلى جميع المسيّرات الأخرى المجاورة لها. متجه يحوي لائحة بالوجهات التي يمكنها الوصول إليها بأقصر طريق إضافةً إلى مقياس مسافةٍ مرتبطٍ بالطريق إلى تلك الوجهة.
يتألف هذا المتجه في مثالنا من الطرق التي أُحيطت قيمها بدائرة والتي تدل على أقصر الطرق.

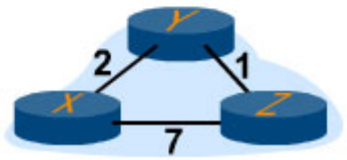


تصل النسخة الأولى من متجهات المسافة الواردة من العقد المجاورة إلى كل مسير. فيحدّث المسير متجه المسافة الخاص به ويستنتج منه جدول التسيير الجديد لديه.

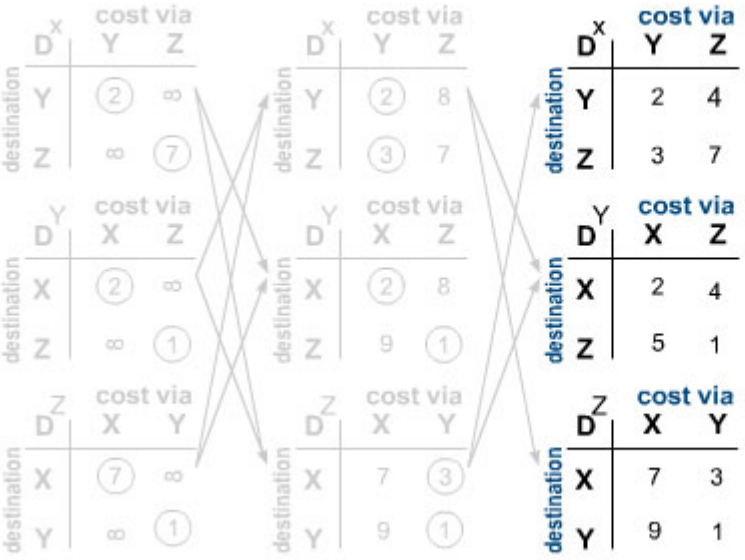


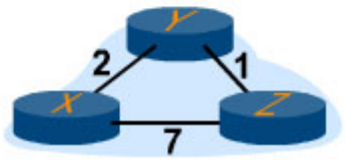
لاحظ تغير جداول التسيير لدى العقدتين X وZ فقط الذي يُدَل عليه باللون الأحمر. وتُبث من جديد فقط متجهات المسافة (جداول التسيير) المحدَّثة.



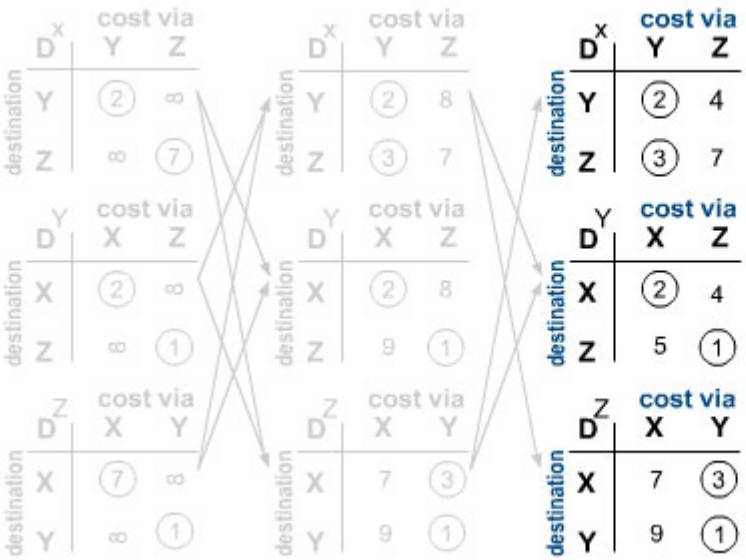


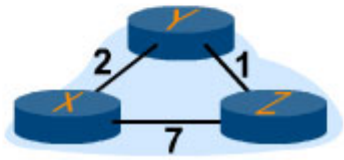
تصل النسخة الثانية من متجهات المسافة الجديدة للعقد X وZ، فيحدّث كل مسير متجه المسافة الخاص به ويستنتج منه جدول التسيير الجديد لديه.



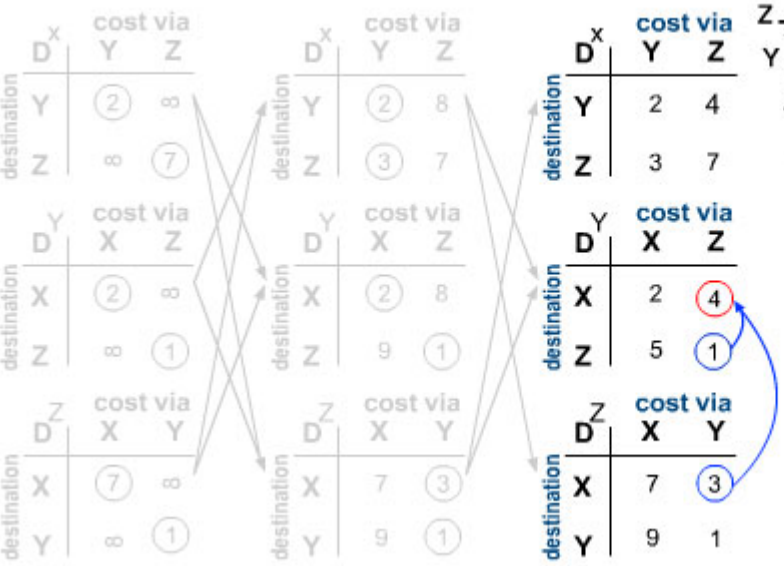


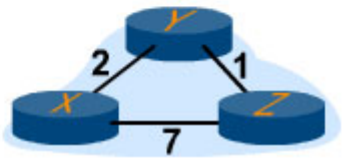
لاحظ استقرار متجهات المسافة الآن (أقصر الطرق) بما يتناسب مع طبولوجية الشبكة.

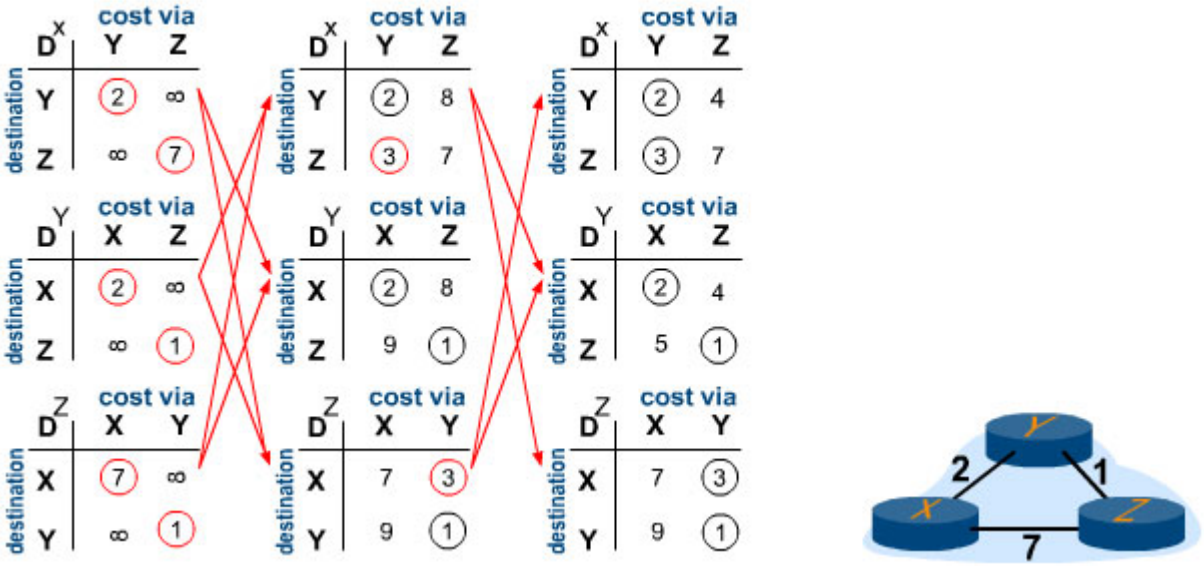




لاحظ أن المسار المحسوب بين Y وX مروراً بـ Z له القيمة **4**. لأنه يفترض أن المسافة من Y إلى Z هي **1** والمسافة من Z إلى X هي **3**. إلا أن Y يجهل أن المسار من Z إلى X هو أصلاً مروراً به.





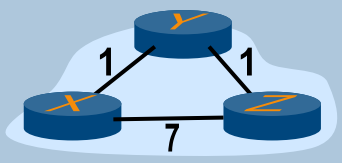


نقاط ضعف التسيير وفق متجه المسافة:

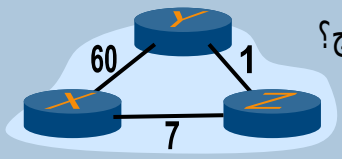
- لا يتوفر لدى المسير أية معلومات عن تفاصيل المسارات التي تأتيه من العقد المجاورة. ومن المحتمل أن تكون العقدة نفسها جزءاً من مسار يردها من أحد العقد المجاورة. يؤدي هذا إلى حدوث حلقات ويسبب تقلبات في الشبكة تؤخر استقرار جداول التسيير فيها.
- عندما يكون هناك تغيير هام في تكلفة وصلة ما أو عندما تصبح وصلة ما غير متاحة، فإن هذه المعلومة تستغرق وقتاً كبيراً لتنتقل عبر الشبكة.
- يتطلب التسيير وفق متجه المسافة أن يرسِل كل مسير كميةً كبيرة من المعلومات. على كل مسير إرسال متجه مسافةٍ إلى جميع جيرانه، وهذا المتجه يحتوي التكلفة المتوقعة للمسارات إلى جميع الوجهات في الشبكة كاملةً.

استُخدمت هذه الطريقة في الجيل الأول من خوارزميات التسيير لشبكة **ARPANET**. تُستخدم هذه الطريقة في بروتوكول معلومات التسيير **RIP** (**Routing Information Protocol**) الذي يعتبر بسيطاً نسبيا (الملحق **Appendix3_2**).

تدريب:



تغيرت كلفة الطريق من **X** إلى **Y** فأصبحت **1**، ما لذي يحدث؟



تغيرت كلفة الطريق من **X** إلى **Y** فأصبحت **60**، ما الذي يحدث؟ وماذا تستنتج؟

ما الحل الذي تقترحه؟

التسيير وفق حالة الوصلة

صممت طريقة التسيير وفق حالة الوصلة (**link-state routing**) هذه للتغلب على عيوب التسيير وفق متجه المسافة، وتعمل وفق الخطوات التالية:

- عندما يستبدأ مسير ما، فإنه يقوم بالتعرف على جواره وبتحديد تكلفة الوصلة على كل واجهة شبكية لديه تربطه مع أحد جيرانه.
- يقوم المسير ببناء رزم حالات الوصلات **LSP** (**Link State Packet**) مبيناً فيها تكلفة وصلاته مع جواره.
- يقوم المسير بعد هذا بإعلان رزم **LSP** (أي مجموعة تكاليف وصلاته مع جواره) إلى جميع المسيرات في الشبكة وليس فقط إلى جيرانه من المسيرات. يجري الإعلان باستخدام التسيير بالتعويم(الملحق **Appendix3_3**).
- ولأن كل مسير يستقبل تكاليف الوصلات لجميع المسيرات الأخرى في التشكيلة، فإن بإمكان كل مسير أن ينشىء طبولوجية التشكيلة بتمامها، وأن يحسب بعد ذلك أقصر مسار إلى كل شبكةٍ وجهة.

وهكذا، يمكن لكل مسير أن ينشىء جدول التسيير الذي يحتوي القفزة التالية لكل وجهة.

يقوم كل مسير بعد هذا بمراقبة تكلفة الوصلات لديه. كلما حدث تغيير كبير في التكلفة (كأن تزداد أو تنقص تكلفة الوصلة بقدرٍ كبير جداً، أو تضاف وصلة جديدة، أو تخرج إحدى

الوصلات من العمل)، يقوم المسير مرة ثانية بإعلان المجموعة الجديدة من تكاليف الوصلات إلى جميع المسيرات في التشكيلة.

لأنّه لدى كل مسير تمثيل لكل الشبكة فهو لا يستخدم نسخة موزعة من خوارزمية التسيير كما في التسيير وفق متجه المسافة. بدلاً من ذلك، يستخدم المسير أية خوارزمية تسيير لتحديد أقصر المسارات. عملياً، تُستخدم خوارزمية ديجكسترا.

يعتبر "البروتوكول المفتوح لإيجاد أقصر مسار أولاً" (**OSPF**) مثالاً على بروتوكولات التسيير التي تَستخدم طريقة التسيير وفق حالة الوصلة. تُستخدم هذه الطريقة أيضاً في الجيل الثاني من خوارزميات التسيير في شبكة الإنترنت.

نشاط:

مقارنة بين طريقتي التسيير **DV** (متجه المسافة) و**LS** (حالة الوصلة)

معيار المقارنة	DV	LS
➢ تعقيد حركة السير الناتجة عن الرسائل المتبادلة		
يولد حركة سير تزداد بازدياد عدد عقد الشبكة ووصلاتها		√
يولد حركة سير محلية	√	
➢ **سرعة الاستقرار**		
تتباطأ مع كبر حجم الشبكة		√
تتعرض لتقلبات وحلقات في التسيير	√	
➢ **المتانة في وجه الأعطال**		
قد تعلن عقدة الشبكة عن مسارات خاطئة	√	
قد تعلن عقدة الشبكة عن وصلات خاطئة		√

التسيير وفق متجه المسار

كلتا الطريقتين السابقتين، التسيير وفق متجه المسافة والتسيير وفق حالة الوصلة، قد استخدمتا في بروتوكولات التسيير الداخلية. لكنهما غير فعالتين في بروتوكولات التسيير الخارجية.

لماذا لا يمكن اعتماد طريقة التسيير وفق متجه المسافة في حالة بروتوكول خارجي للمسير؟

1. يفترض بروتوكولُ متجهِ المسافةِ أن جميع المسيرات تشترك في وحدة قياس مسافة مشتركة يمكن استخدامها للحكم على تفضيلات المسير. إلا أن هذه قد لا تكون الحالة القائمة بين النظم المستقلة المختلفة. إذا أعطت المسيرات المختلفة معاني مختلفة لوحدة قياس ما، فقد لا يكون بالإمكان إنشاء طرق مستقرة وخالية من الحلقات.
2. قد يكون لدى نظام مستقل ما أولويات مختلفة عن باقي النظم المستقلة كما قد يكون لديه قيود تمنعه من استخدام نظام مستقل آخر محدد. لا تزود خوارزمية متجه المسافة بأي معلومات عن النظم المستقلة التي سوف يمر بها على طول طريق ما.

هناك بديل، يعرف بالتسيير وفق متجه المسار (**path-vector routing**) وهو بالتخلي عن واحدات قياس التسيير، وبمجرد التزويد بالمعلومات عن الشبكات التي يمكن الوصول إليها من

مسير ما والنظم المستقلة التي يجب المرور عبرها للوصول إلى هذه الشبكات.

لماذا لا يمكن اعتماد طريقة التسيير وفق حالة الوصلة في حالة بروتوكول خارجي للمسير؟

1. قد تَستخدم النظم المستقلة المختلفة واحداتِ قياس مختلفة وقد يكون لكل نظام قيود تختلف عن قيود غيره. ومع أن بروتوكول حالة الوصلة يسمح لكل مسير ببناء صورة عن طبولوجية الشبكة بتمامها، فإن واحدات القياس المستخدمة قد تختلف من نظام مستقل إلى آخر، وهذا ما يجعل إنجاز خوارزمية تسيير منسجمة أمراً مستحيلاً.
2. إذا أُغرقَتْ بمعلوماتِ حالة الوصلة جميع المسيرات التي تُنجز بروتوكولاً خارجياً للمسير عبر العديد من النظم المستقلة، فإن هذا الإغراق قد يكون غير قابل للإدارة.

يعتبر بروتوكول البوابة الطرفية **BGP** مثالاً على بروتوكولات التسيير التي تَستخدم طريقة التسيير وفق متجه المسار. وهو يشبه طريقة التسيير وفق متجه المسافة إلا أنه يختلف عنها بناحيتين:

أولاً: لا تتضمن طريقة متجه المسار أي تقدير للمسافة أو التكلفة.

ثانياً: تسرد كل كتلة من معلومات التسيير جميع النظم المستقلة التي يجري المرور بها للوصول إلى الشبكة الوجهة على هذا المسار.

نتيجة لكون كل متجهِ مسارٍ يحتوي لائحة بالنظم المستقلة التي يجب على برقية معطيات عبورها في حال اتباعها لهذا المسار، فإن أي مسير يستطيع أن ينفذ سياسة تسيير وفق معلومات المسار هذه:

- قد يقرر المسير تجنب مسار ما لرغبته في تجنب المرور بنظام مستقل ما.
- وربما قد يقرر المسير تجنب نظام مستقل ما اعتماداً على معلومات عن أداء أو جودة جزء من الشبكة البينية الواقعة ضمن هذا النظام المستقل. تتضمن الأمثلة على واحدات قياس الأداء أو الجودة سرعةَ الوصلة، وسعتها، ونزعتها إلى الاختناق، والجودة الإجمالية للعملية. يمكن أيضاً استعمال معيار آخر وهو تخفيض عدد النظم المستقلة التي يمر بها.

الفصل الرابع: البروتوكول المفتوح لإيجاد أقصر مسار أولاً OSPF

1. مقدمة

اعتُمد البروتوكول **OSPF** "**Open Shortest Path First Protocol**" (انظر الملحق **Appendix4_2**) مقيساً في الإنترنت عام **1990** ويستخدم حالياً على نطاق واسع كبروتوكول تسيير داخلي في شبكات **TCP/IP**.

مميزات بروتوكول OSPF

- هو مِقيس مفتوح يمكن لأي مصنع مسيرات الحصول عليه وتنجيزه. ومن هنا أتت التسمية "المفتوح".
- هو بروتوكول تسيير تكيفي يعمل وفق حالة الوصلة.
- يحسب **OSPF** مساراً عبر الشبكة البينية موافقاً للتكلفة الدنيا اعتماداً على مقاييس تكلفة يعرفها المستخدم. يمكن للمستخدم أن يشكّل التكلفة للتعبير عن دالة التأخير أو معدل المعطيات أو التكلفةِ النقدية، أو غير ذلك من العوامل.
- يمكن لبروتوكول **OSPF** أن يوازن الأحمال على المسارات المتعددة المتساوية التكلفة بغية توزيع الحمل.
- تبنى مبدأ التسيير الهرمي (**hierarchical routing**) من أجل تحسين فعالية أداء التسيير في الشبكات الكبيرة حيث تصبح جداول التسيير كبيرة ومعلومات التسيير مستهلكة لموارد الشبكة، الأمر الذي يجعل من الصعب إدراك طبولوجية الشبكة كاملة.

التسيير الهرمي

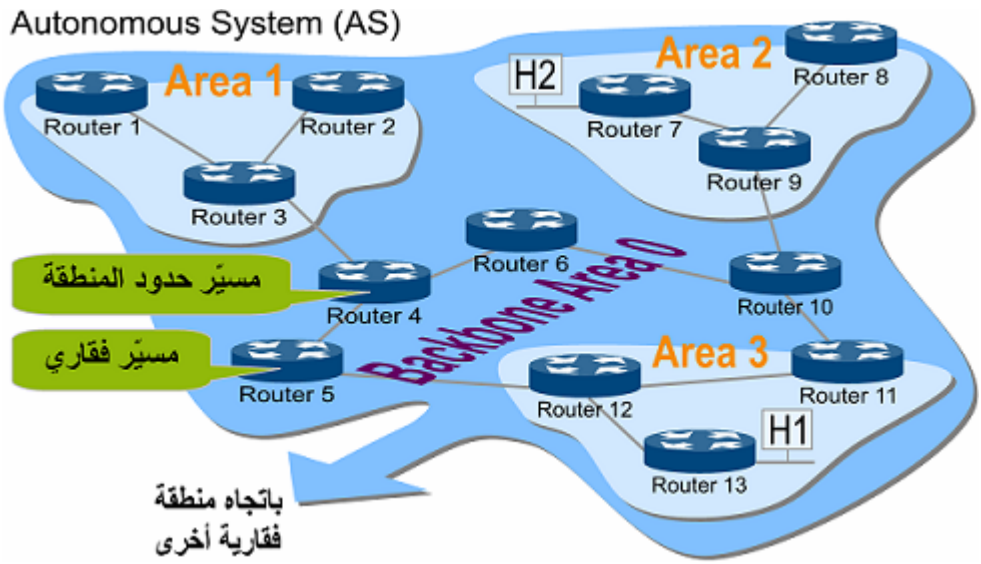
يعمل بروتوكول التسيير الداخلي ضمن نطاق مستقل ما يتبع سلطة إدارية واحدة. ولكن عندما يكبر حجم النطاق المستقل وامتداده يصبح من الصعب على المسيرات إدراك طبولوجية الشبكة بتمامها وبالدقة المطلوبة. ولذلك يقسم النطاق إلى مجموعة من المناطق (**area**) بحيث يحد عمل البروتوكول ضمن كل منطقة وفقاً للقواعد التالية:

- يجب أن تكون الشبكات والمسيرات التابعة لمنطقة ما مترابطة فيما بينها.
- تقوم المسيرات داخل منطقة ما بتعويم معلومات التسيير داخل المنطقة فقط.
- هناك منطقة خاصة تدعى المنطقة الفقارية (**backbone area**) (وضمنها مسيرات فقارية)

وهي منطقة تربط فيما بين المناطق، أي يجب أن تكون جميع المناطق موصولة إلى المنطقة الفقارية.

- تكون طبولوجية المنطقة وتفاصيلها خفية على المناطق الأخرى.
- هناك على حدود كل منطقة مسيرات خاصة تدعى مسيرات حدود المنطقة تُسند إليها مهمة تلخيص معلومات المنطقة وإرسالها إلى المنطقة الفقارية.
- كل مسير مرتبط بأكثر من منطقتين هو حكماً مسير فقاري.
- هناك على حدود كل نظام مستقل مسيرات خاصة تدعى مسيرات حدودية تسند إليها مهمة تلخيص معلومات النظام وإرسالها إلى النظم المستقلة الأخرى.

تخصص كل منطقة بمعرف منطقة (**Area Identification**) وتكون قيمة معرف المنطقة الفقارية صفر، كما يخصص كل نطاق مستقل بمعرف نطاق. يظهر الشكل التالي نظام مستقل مؤلف من ثلاثة مناطق.



المبيان الموجه

يدعم **OSPF** ثلاثة أنواع من الوصلات والشبكات المكونة لشبكة بينية:

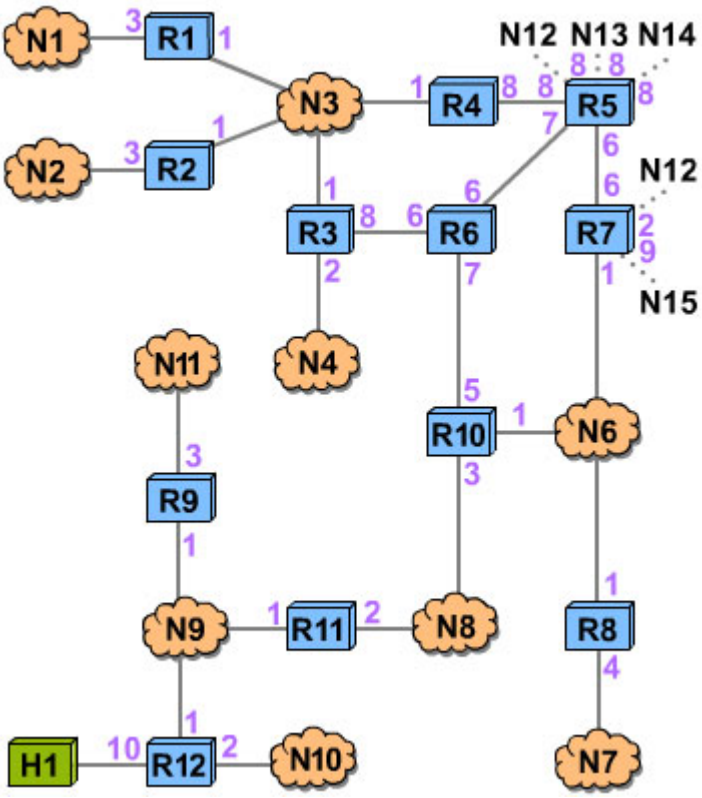
1. وصلة من نقطة إلى نقطة بين مسيرين.
2. شبكة متعددة النفاذ أي تحوي مجموعة من المسيرات التي يمكنها الاتصال مباشرة فيما بينها قد تكون داعمة لميزة البث (مثال شبكة محلية **LAN**)، أو غير داعمة لميزة البث (مثال شبكة واسعة **WAN**). وهي من نوعين:

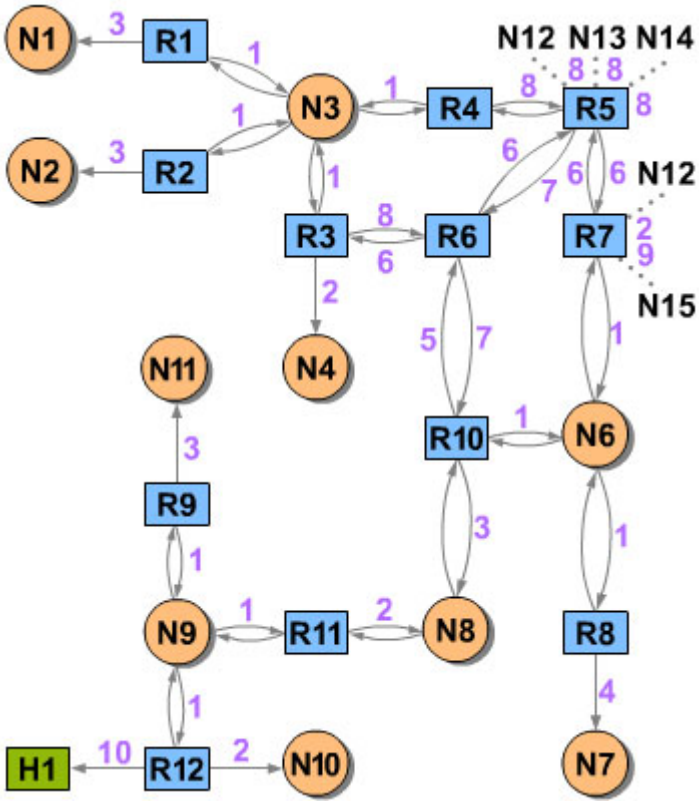
- شبكة عبور (**transit**)، إذا احتوت معطيات غير صادرة وغير موجهة إلى نظام طرفي مرتبط بهذه الشبكة.
- شبكة عقب (**stub**)، إذا لم تكن شبكة عبور.

يحتفظ كل مسير (ضمن منطقة ما) بقاعدة معطيات تجسد طبولوجية معلومة للمنطقة التي ينتمي إليها. يعبر عن هذه الطبولوجية بواسطة مبيان موجه (**directed graph**) يتألف من رؤوس وأضلاع تمثل مختلف مكونات الشبكة وفق ما يلي:

- تُمثل وصلة من نقطة إلى نقطة تربط بين مسيرين مرتبطان بزوجين من الأضلاع ضلعاً لكل اتجاه.
- تُمثل شبكة متعددة النفاذ بمجموعة من الرؤوس رأساً عن الشبكة ورأساً عن كل مسير مرتبط مباشرة إلى الشبكة وتكون تكلفة الوصلة من الشبكة إلى المسير صفر.
- تُمثل شبكة عقب برأس عقب له ضلع باتجاه وحيد.

انظر مثالاً على نظام مستقل، جرى تمثيله بالمبيان الموجه الناتج، ولاحظ أن الانتقال من الأول إلى الثاني هو عملية مباشرة:





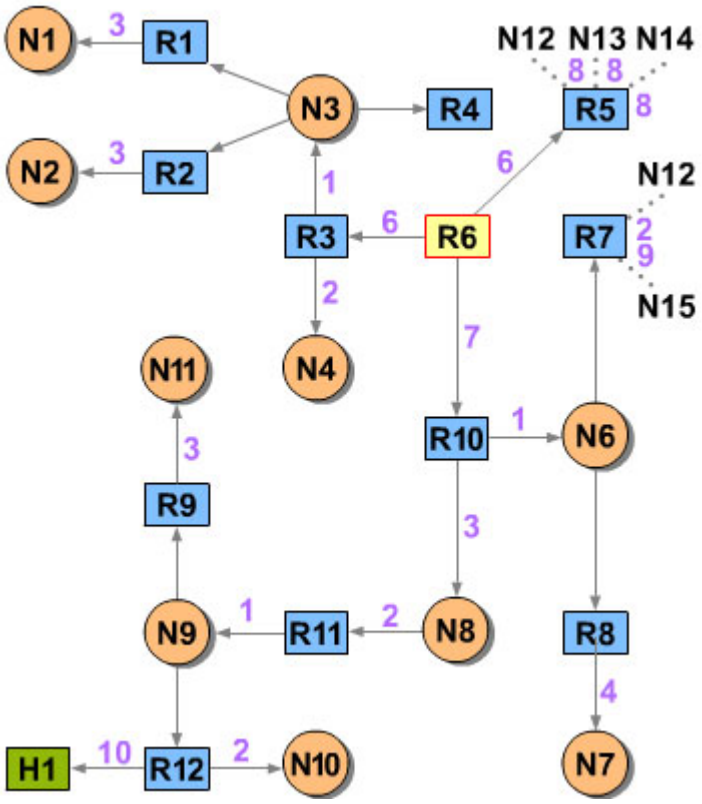
- إن المسيرات 1 و2 و3 و4 جميعها مربوطة إلى الشبكة 3 بضلع ذي اتجاهين، والاتجاه من الشبكة إلى المسير صفر.
- إذا كان هناك مسير منفرد مربوط إلى شبكة، فإن الشبكة تَظْهر بصفتها ارتباط عقب في المِبيان (الشبكة 7 على سبيل المثال).
- يستطيع أي نظام طرفي، يسمى مضيفاً، أن يربط مباشرة إلى مسير. في هذه الحالة يجب تمثيله في المِبيان الموافق (المضيف 1 على سبيل المثال).
- إذا كان أحد المسيرات مربوطاً إلى نظام مستقل آخر، فيجب عندئذ الحصول على تكلفة المسار إلى كل شبكة في ذلك النظام المستقل بوساطة بروتوكول خارجي للمسير (ERP). تُمثل كل شبكة في المِبيان بضلع عقب إلى المسير يحدد عليه تكلفة المسار المعلومة (الشبكات من 12 إلى 15 مثلاً).

يحافظ كل من المسيرات على قاعدة معطيات موافقة للمِبيان الموجه بإجراء الخطوات التالية:

- يجري تجميع قاعدة المعطيات هذه من رسائل حالات الوصلة القادمة من المسيرات الأخرى في الشبكة البينية عن طريق تبادل رسائل البروتوكول OSPF.

- يقوم المسير بحساب المسار ذي التكلفة الدنيا إلى جميع الشبكات الوجهة باستخدام خوارزمية ديجكسترا على المبيان الموجه لديه.

تظهر النتيجة في حالة المسير 6 الوارد في التشكيلة الشبكية السابقة على هيئة شجرة في جذرها المسير R6. تعطي هذه الشجرة كل المسار إلى أي شبكة أو مضيفٍ وجهةٍ. وتستخلص منها جدول التسيير للمسير 6 ومعلومات التسيير للتعويم على الشبكة.



يحتوي جدول التسيير للمسير R6 القفزة التالية من أجل كل الوجهات الممكنة كونها المعلومة الوحيدة المستخدمة في إجرائية التمرير. كما يحوي مداخل المسيرات التي تعلن مسارات خارجية (المسيران 5 و7). يحوي الجدول كذلك مداخلَ للشبكات الخارجية المعروفة الهوية.

جدول التسيير لـ R6

الوجهة	القفزة التالية	المسافة
N1	R3	10
N2	R3	10
N3	R3	7
N4	R3	8
N6	R10	8
N7	R10	12
N8	R10	10
N9	R10	11
N10	R10	13
N11	R10	14
H1	R10	21

2. بروتوكول OSPF

يقع على عاتق البروتوكول مهمة تبادل معلومات التسيير فيما بين المسيرات ويجري هذا التبادل محملاً في بروتوكول **IP** وفقاً للخطوات التالية:

1. اكتشاف الجوار
2. إرسال حالات الوصلات
3. تحديث حالات الوصلات.

قبل الدخول بتفصيلٍ لهذه الخطوات لننظر إلى مصاغة ورسائل **OSPF**.

مصاغة OSPF

لكل رسالة **OSPF** ترويسة مؤلفة من **24** بايت وحقل معطيات يتغير تبعاً لنوع الرسالة. تتألف الترويسة من الحقول المبينة في الإيضاح والتي يظهر شرح كل منها بالنقر فوقه بمؤشر الفأرة.

رقم الإصدار **version number** (4 بتات): يشير إلى رقم الإصدار، وهذا ما يسمح بتطوير البروتوكول، والإصدار الحالي **2**.

النوع **type** (4 بتات): يشير إلى واحد من خمسة أنواع سنأتي إلى تفصيلها لاحقاً.

طول الرزمة **packet length** (16 بت): يعطي طول كامل رزمة **OSPF** بعدد البايتات متضمنة بايتات الترويسة.

معرف المسير **router Id** (32 بت): يحوي عنوان **IP** للمسير مصدر هذه الرسالة.

معرف المنطقة **area Id** (32 بت): يحوي معرف المنطقة التي ينتمي إليها المسير مصدر هذه الرسالة.

نوع الاستيقان **Authentication type** (16 بت): يحدد نوع الاستيقان وهو غير موجود (القيمة=**null**) أو بكلمة سر أو بالتشفير.

معطيات الاستيقان **Authentication data** (64 بت): يحوي معطيات الاستيقان المرتبطة بنوع التوثق المستخدم.

أنواع رسائل OSPF

Hello	تستخدم لاكتشاف المسيرات المجاورة
Link state update	تستخدم لإرسال كاف وصلات هذا المسير المرسل مع جيرانه
Link state ack	إقرار وصول رسالة تحديث حالة وصلة
Database description	تستخدم للإعلان عن أرقام آخر نسخ رزم حالات الوصلات التي استقبلها هذا المسير واعتمدها في قاعدة المعطيات لديه.
Link state request	تستخدم عندما يرغب المسير المرسل طلب إرسال كاف الوصلات من جيرانه

مراحل عمل بروتوكولOSPF

1. **اكتشاف الجوار:** يبدأ المسير عند بدء عمله باكتشاف الجوار عن طريق إرسال رسالة **Hello** على كل وصلة من نقطة إلى نقطة لديه وببث رسالة **Hello** على كل شبكة محلية لديه.
2. **إرسال حالات الوصلات:** تجيب المسيرات المجاورة له بإرسال رزمة تحديث حالات الوصلة لتعرف عن نفسها وعن حالة الوصلات لديها. وتُبث هذه الرزم مع رقم تسلسلي وعمر لها إلى كامل الشبكة عن طريق التعويم.

   عندما يستقبل المسير رزمة حالة وصلة صالحة يستبدل بها النسخة الأقدم لديه محدثاً بذلك قاعدة معطياته، ومن ثم يعيد حسابات أقصر الطرق لديه. تعتبر الرزمة القادمة غير صالحة إذا انقضى عمرها أو كانت تحمل رقماً تسلسلياً أقدم من آخر رقم سجل في قاعدة معطيات المسير المستقبل.
3. **تحديث حالات الوصلات:** تستخدم رزمة وصف قاعدة المعطيات عادة عند تشغيل وصلة جديدة عند المسير المرسل وتُمكن المسيرات المستقبلة من معرفة حداثة أو قدم رزم حالات الوصلات الموجودة لديه. كما يمكن لأي مسير وفي أي وقت الاستعلام من جواره عن حالات الوصلة وتحديث معلوماته بناءً على ذلك. وفي كلتا الحالتين، تجيب المسيرات المستقبلة (المجاورة له) بإرسال رزمة تحديث حالات الوصلات لديها. وتُبث هذه الرزم مع رقم تسلسلي وعمر لها إلى كامل الشبكة عن طريق التعويم. يمكن لأي مسير الإعلان عن تغير في حالات الوصلات لديه بإرسال رزمة تحديث حالات الوصلات تُبث مع رقم تسلسلي وعمر لها إلى كامل الشبكة عن طريق التعويم.

الفصل الخامس: بروتوكول البوابة الطرفية BGP

1. مقدمة

ابتُكر بروتوكول البوابة الطرفية **BGP** (**Border Gateway Protocol**) لكي يستخدم مقترناً بالشبكات البينية التي تستخدم طقم **TCP/IP** مع أن هذه المفاهيم يمكن تطبيقها على أي شبكة بينية. حالياً، أصبح **BGP** هو بروتوكول التسيير الخارجي المفضل للاستخدام مع شبكة الإنترنت.

صمم **BGP** للسماح للمسيرات، التي تسمى مسيرات طرفية (أو حدودية) في نظم مستقلة مختلفة، للتعاون على تبادل معلومات التسيير. الإصدار الحالي من **BGP** معروف بـ **BGP-4** (انظر الملحق **Appendix5_1**).

مميزات بروتوكول BGP

- يشبه البروتوكول في عمله بروتوكول تسيير وفق متجه المسافة، ولكنه لا يستخدم مقياس التكلفة في اختيار الطريق الأمثل.
- يعتمد البروتوكول في اختياره للطريق الأمثل على معايير سياسية تفرضها إدارة النظام المستقل المعني. قد تُوضع هذه المعايير بشكل ساكن في المسير وقد تُستنتج وفق قواعد معينة يعرفها مدير الشبكة (النظام).
- تحمل رسائل البروتوكول تفصيلاً للمسارات المتوفرة لدى المسير المرسل يبين النظم المستقلة التي يعبرها هذا المسار.
- يمكن تفصيل المسار المسير من التغلب على سيئة طريقة متجه المسافة باستبعاد المسارات التي هو جزءاً منها متجنباً بذلك الحلقات.

رسائل BGP

يعمل البروتوكول على شكل رسائل تُنقل عبر ارتباطات **TCP**. يعرف الإصدار **4** من **BGP** الرسائل المسرودة في الجدول التالي:

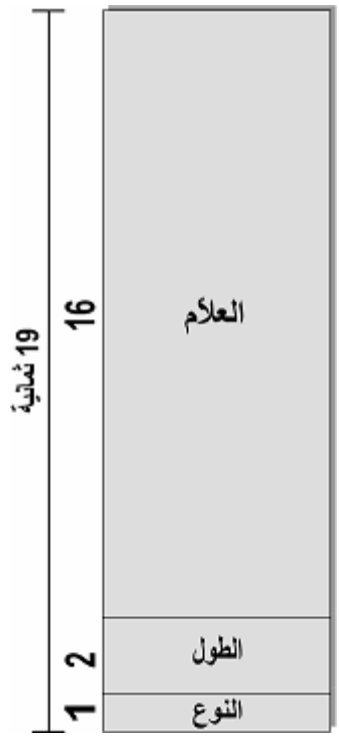
Open (فتح)	تستخدم لفتح علاقة جوار مع مسير آخر
Update (تحديث)	تستخدم لِـ: 1. نقل معلومات عن مسير وحيد، و/أو 2. تسرد مسارات متعددة يراد عزلها
Keepalive (الإبقاء حياً)	تستخدم لِـ: 1. إشعار باستلام رسالة **open** 2. تأكيد علاقة جوار دورياً
Notification (إعلام)	ترسل عندما تُكتشف حالة خطأ

رسائل BGP

تبدأ كل رسالة **BGP** بترويسة من **19** ثُمانية تحتوي ثلاثة حقول هي:

- **العلاّم (marker):** محجوز لأغراض الاستيقان، يمكن أن يضع المرسِل في هذا الحقل قيمةً تُستخدم جزءاً من آلية الاستيقان التي تمكن المستقبِل من تحقق هويةِ المرسل.
- **الطول:** طول الرسالة بالبايتات.
- **النوع:** نوع الرسالة (**Open, Update, Notification, Keepalive**).

قبل الدخول في تفاصيل مصاغة رسائل البروتوكول لننظر في وظائف بروتوكول **BGP**.



2. بروتوكول BGP

يتضمن **BGP** ثلاثة إجراءات وظيفية:

- اكتساب علاقة الجوار **neighbor acquisition**
- قابلية بلوغ الجار **neighbor reachability**
- قابلية بلوغ الشبكة **network reachability**

ينظر إلى مسيرين على أنهما جاران إذا كانا مربوطين إلى نفس الشبكة. يمكن أن يرغب مسيران في تبادل معلومات التسيير حتى لو كانا في نظامين مستقلين مختلفين. من الضروري لتحقيق هذا الغرض أولاً إنجاز **اكتساب علاقة الجوار**.

تستخدم إجرائية **قابلية بلوغ الجار** للحفاظ على علاقة الجوار بين المسيرات حالما يتم تأسَيس هذه العلاقة. يحتاج كل شريك في هذه العلاقة إلى ضمان أن الشركاء الآخرين فيها ما زالوا عاملين ومساهمين في العلاقة.

الإجراء الأخير المحدد في **BGP** هو **قابلية بلوغ الشبكة**. يَحتفظ كل مسير بقاعدة معطيات عن الشبكات التي يمكنه الوصول إليها والمسارات المفضلة للوصول إلى كل منها. يقوم المسير ببث رسائل تحديث إلى جميع المسيرات الأخرى المنجزة لِـ **BGP** كلما طرأ تعديل على قاعدة المعطيات هذه.

اكتساب علاقة الجوار

من حيث الجوهر، يحدث اكتساب علاقة الجوار عندما يتفق مسيران من نظامين مستقلين مختلفين على تبادل معلومات التسيير بانتظام. هنالك حاجة إلى إجراء رسمي لاكتساب علاقة الجوار، لأن أحد المسيرات قد لا يرغب في المشاركة. على سبيل المثال، يمكن أن يكون المسير محملاً بإفراط ولا يريد أن يكون مسؤولاً عن حركة السير القادمة من خارج النظام.

لا يتطرق البروتوكول إلى كيفية معرفة مسير ما بعنوان مسير آخر أو بوجوده، ولا يتطرق كذلك إلى كيفية وصول مسير ما إلى قرار أنه بحاجة إلى تبادل المعلومات مع ذلك المسير الآخر تحديداً. يجب التعامل مع هذه القضايا أثناء تشكيل الشبكة أو بتدخل مدير الشبكة تدخلاً مباشراً وفعالاً.

في إجرائية اكتساب علاقة الجوار يجري مايلي:

- يقوم مسير بإرسال رسالة طلب إلى المسير الآخر بإرسال رسالة **Open**.

- قد يقبل هذا المسير الآخر اكتساب هذه العلاقة أو قد يرفضها. إذا قبل هذا المسير المستهدف علاقة الجوار فإنه يستجيب برسالة **Keepalive**.

رسالة Open

لاكتساب علاقة الجوار، يقوم المسير أولاً بفتح ارتباط **TCP** مع المسير المجاور الذي يهمه. ثم يقوم بإرسال رسالة **Open** إليه عبر هذه الارتباط.

تعرف رسالة **Open**:

- النظامَ المستقل (**AS**) الذي ينتمي إليه المرسل وتزود بعنوان **IP** للمسير المرسل.
- قيمة مدة الإمساك (**hold time**) التي تعبر عن عدد الثواني التي يقترحها المرسِل قيمةً لمؤقت الإمساك. وهذه القيمة المحسوبة هي عدد الثواني الأعظم التي يمكن انقضاؤها بين استقبال الرسائل المتتالية من نوع **Keepalive** و/أو رسائل **Update** من قِبل المرسِل.

إذا كان المستقبِل مستعداً لفتح علاقة الجوار فإنه يحسب قيمة مؤقت الإمساك التي هي أصغر القيمتين: مدة الإمساك الخاصة به، ومدة الإمساك المتضمنة في الرسالة (رسالة **Open**).

رسالة Open

رسالة Keepalive

تتكون رسائل **Keepalive** من الترويسة فقط. يصدِر كل مسير هذه الرسائل إلى كل واحد من أقرانه بالقدر اللازم لمنع قيمة مؤقت الإمساك من الانتهاء.

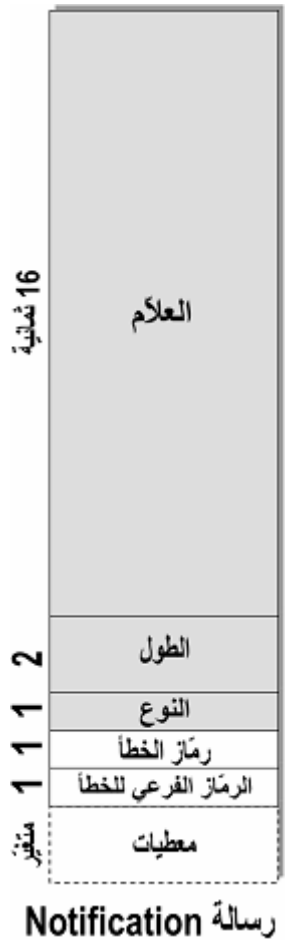
قابلية بلوغ الجار

حالما يتم تأسَيس علاقة جوار يحتاج كل شريك في هذه العلاقة إلى ضمان أن الشركاء الآخرين فيها ما زالوا عاملين ومساهمين في العلاقة. ولذلك يتبادل المسيران دورياً رسائل **Keepalive** لتحقيق هذا الغرض. وقد يتبادلان أيضاً رسائل إعلام.

رسالة Notification

ترسَل رسالة **Notification** للإخبار عن اكتشاف حالة من حالات الخطأ الممكنة التالية:

- **خطأ في ترويسة الرسالة:** تتضمن أخطاءَ الاستيقان والشكل النَحْوي.
- **خطأ في رسالة Open:** تتضمن أخطاء في الشكل النَحْوي وخيارات لا يمكن تعرفها في رسالة **Open**. يمكن استخدام رسالة الخطأ هذه أيضاً للإشارة إلى أن القيمة المقترحة لمدة الإمساك في رسالة **Open** غير مقبولة.
- **خطأ في رسالة Update:** تتضمن أخطاء في الشكل النَحْوي وأخطاء تتعلق بصحة رسالة **Update**.
- **انقضاء مدة مؤقت الإمساك:** إذا لم يستقبل المسير المرسلُ أي رسائل متتالية من نوع **Keepalive** و/أو **Update** و/أو **Notification** خلال مدة الإمساك، يرسَل هذا الخطأ ويقطع الارتباط.
- **خطأ الآلة ذات الحالات المنتهية:** يشمل الأخطاء الإجرائية.
- **التوقف أو الانقطاع:** يَستخدم المسير هذا الخطأ لقطع ارتباطه مع مسير آخر بغياب أي أخطاء أخرى.



قابلية بلوغ الشبكة

يَحتفظ كل مسير بقاعدة معطيات عن الشبكات التي يمكنه الوصول إليها والمسارات المفضلة للوصول إلى كل منها. يقوم المسير ببث رسالة **Update** إلى جميع المسيرات الأخرى المنجزة لِـ **BGP** كلما طرأ تعديل على قاعدة المعطيات هذه. ولأن رسالة **Update** هي رسالة بث فإن جميع المسيرات تستطيع بناء معلومات التسيير تدريجياً وصيانتها.

تُستخدم الرسالة من نوع **Update** لتوصيل نوعين من المعلومات، وقد تحتوي رسالة **Update** أحد هذين النوعين من المعلومات أو كليهما:

- معلومات عن مسار وحيد ضمن الشبكة البينية. هذه المعلومات متوفرة للإضافة إلى قاعدة المعطيات لأي مسير يستقبلها.
- لائحة بالمسارات التي أعلنها سابقاً هذا المسير والتي يجري سحبها حالياً.

إذا كانت الرسالة تحوي معلومات تحديث لسحب أو عزل مسار أو أكثر، يكون المسار معيناً في

هذه الحالة بواسطة عنوان IP للشبكة الوجهة في حقل المسارات المسحوبة.

رسالة Update

رسالة Update عن مسار أحادي

تتضمن رسالة **Update** تحوي معلومات عن مسار أحادي عبر الشبكة ثلاثة حقول:

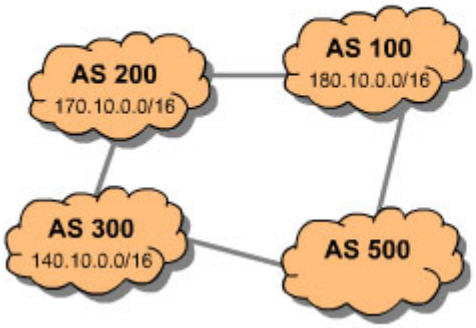
1. حقل معلومات قابلية بلوغ طبقة الشبكة (**NLRI**): ويتألف من لائحة من معرفات الشبكات التي يمكن الوصول إليها بهذا المسار. تُعرف كل شبكة بمعرف هو فعلياً جزء من عنوان IP كامل. تَذكر هنا أن عنوان **IP** هو كمية من **32** بتاً من الشكل {شبكة، مضيف}، وأن الجزء اليساري أو السابقة (أي الشبكة) من هذه الكمية يعين هوية شبكة محددة.
2. حقل طول واصفات المسار الكلي
3. حقل واصفات المسار: ويحتوي لائحة بالواصفات التي تنطبق على مسار معين وهي:
   - **المنشأ origin:** يدل على مصدر هذه المعلومات: بروتوكول تسيير داخلي (مثلاً **OSPF**) أو بروتوكول تسيير خارجي (تحديداً **BGP**).

- **النظم المستقلة على المسار AS_path:** لائحة بالنظم المستقلة التي يمر عبرها هذا المسار.
- **القفزة التالية (next-hop):** عنوان IP للمسير الطرفي الذي يجب استخدامه على أنه قفزة تالية للوصول إلى الوجهة المذكورة في حقل **NLRI**.
- **حقل Multi_Exit_Disc:** يستخدم لتوصيل معلومات عن المسارات الداخلية ضمن نظام مستقل. سيوصَف هذا الحقل لاحقاً في هذه الفقرة.
- **حقل الأفضليات المحلية Local_Pref:** يستخدمه المسير لإعلام المسيرات الأخرى ضمن نفس النظام المستقل عن درجة الأفضلية الخاصة به لمسار معين. ليس لهذه المعلومة أي قيمة للمسيرات في النظم المستقلة الأخرى.
- **الحقلان Aggregate وAtomic_aggregate:** ينجز هذان الحقلان مفهوم تجميع المسار. من حيث المبدأ، يمكن تنظيم شبكة بينية وفضاء العناوين الخاص بها هرمياً (بنية شجرية على سبيل المثال). في هذه الحالة، يكون لعناوين الشبكات بنيةٌ من جزأين أو أكثر. تشترك جميع الشبكات من شجرة فرعية معينة في عنوان جزئي مشتَرك من الشبكة البينية. يمكن تخفيض كمية المعلومات الواجب توصيلها في حقل **NLRI** بقدْر كبير إذا استخدمنا هذا العنوان الجزئي المشترك.

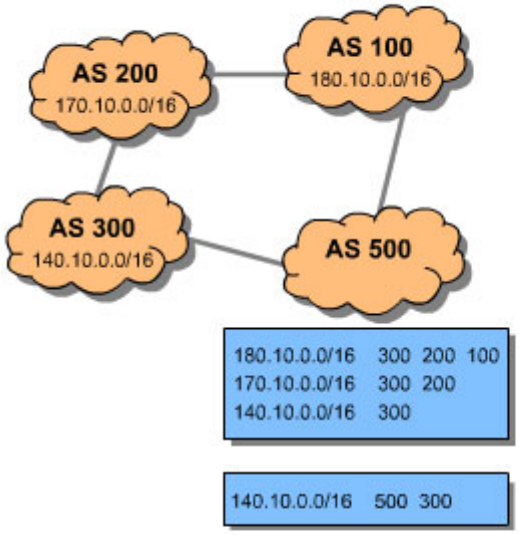
كيف يقوم مسير **BGP** باكتشاف الحلقات؟

تمكن الواصفة **AS_Path** المسير من استبعاد المسارات التي ترده من المسيرات المجاورة والتي تشير إلى نظامه المستقل كأحد الأنظمة المعبورة على المسار.

لننظر في مثالنا المكون من شبكة تضم أربعة نظم مستقلة.

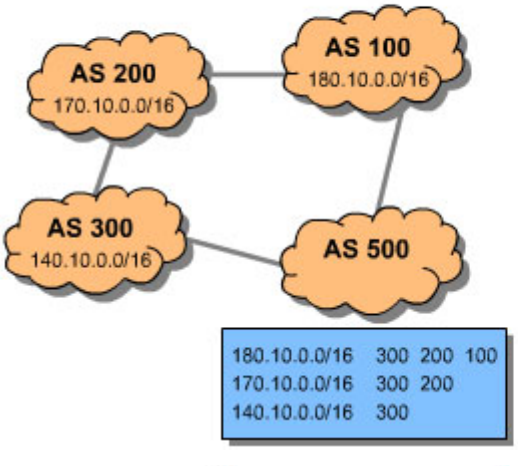


تتوافر لدى النظام المستقل AS 500 المسارات التي تُوصِل إلى الأنظمة AS 100 و AS 200 و AS 300.



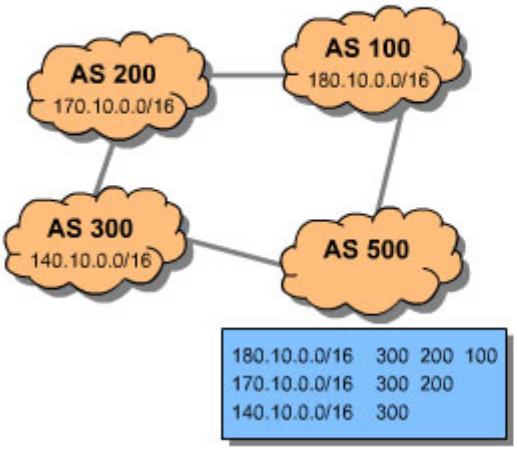
تتوافر لدى النظام المستقل AS 500 المسارات التي تُوصِل إلى الأنظمة AS 100 و AS 200 و AS 300.

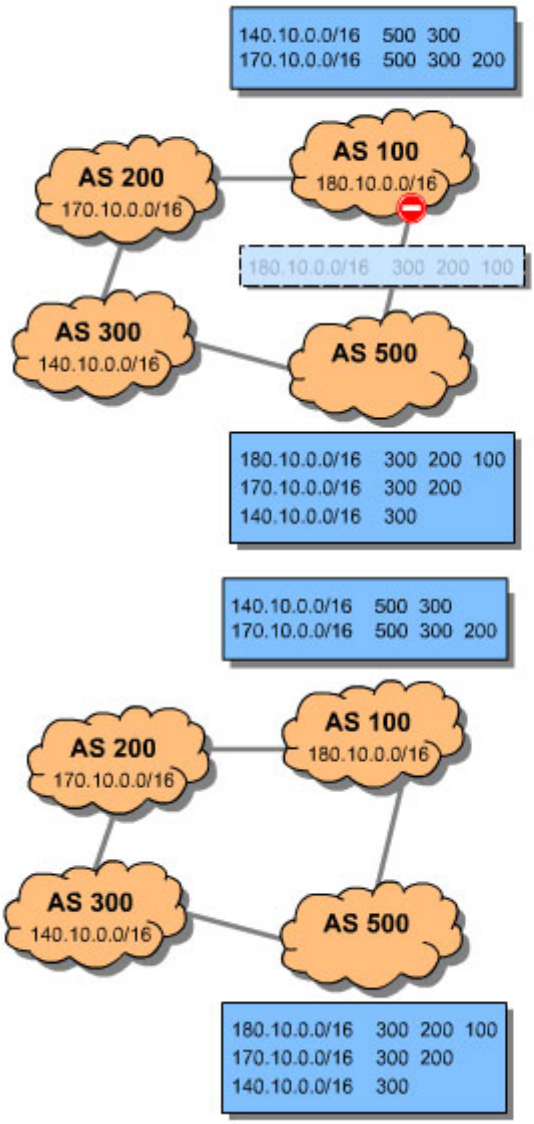
يعلن AS 500 هذه المسارات إلى النظام المستقل AS 100 الذي يقبل المسار الذي يُوصِل إلى النظام AS 300...



تتوافر لدى النظام المستقل AS 500 المسارات التي تُوصِل إلى الأنظمة AS 100 و AS 200 و AS 300.

يعلن AS 500 هذه المسارات إلى النظام المستقل AS 100 الذي يقبل المسار الذي يُوصِل إلى النظام AS 300. ويقبل كذلك المسار الذي يُوصِل إلى النظام AS 200...





تتوافر لدى النظام المستقل AS 500 المسارات التي تُوصِل إلى الأنظمة AS 100 و AS 200 و AS 300.

يعلن AS 500 هذه المسارات إلى النظام المستقل AS 100 الذي يقبل المسار الذي يُوصِل إلى النظام AS 300. ويقبل كذلك المسار الذي يُوصِل إلى النظام AS 200. إلا أن المسيّر الطرفي في النظام المستقل AS 100 يرفض قبول المسار إلى الشبكة 180. 10. 0. 0 (النظام المستقل AS 100) الذي أعلن عنه المسير الطرفي في النظام المستقل AS 500 لوروده كجزء من المسار.

180.10.0.0/16 is not accepted by AS 100 as the prefix has AS100 in its AS-PATH attribute.

This is loop detection in action.

كيف يقوم مسير BGP بتنجيز سياسات التسيير؟

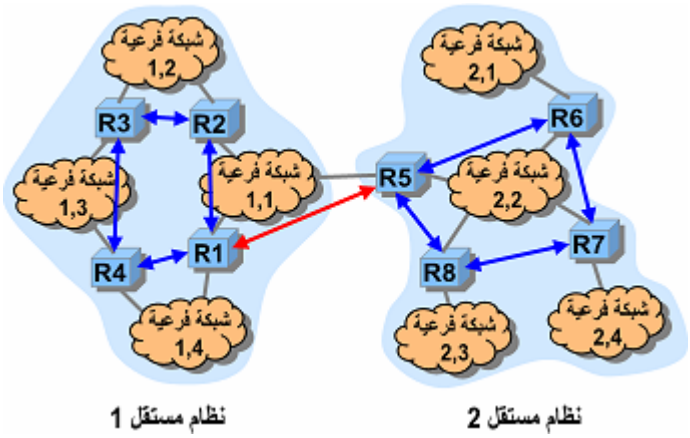
تمكن الواصفة AS_Path المسير من تنجيز سياسات التسيير لديه لأنها تحتوي لائحة بالنظم المستقلة التي يجب على كل برقية معطيات أن تجتازها إذا اتبعت هذا المسار. من ضمن هذه السياسات:

- أن مسيراً ما قد يقرر أن يتجنب مساراً محدداً لتجنب المرور بنظام مستقل محدد، بسبب وجود معلوماتٍ سرية، على سبيل المثال، محصورة بأنواع محدودة من النظم المستقلة.
- قد يمتلك المسير بعض المعلومات عن أداء أو جودة جزء من الشبكة البينية، موجودٍ ضمن نظام مستقل ما وهذه المعلومات قد تقود هذا المسير إلى تجنب ذلك النظام المستقل
- هناك معيار آخر قد يستخدمه المسير وهو تقليل عدد النظم المستقلة التي يجب المرور بها.

قد تتساءل عن غرض الواصفة **next_hop** (القفزة التالية). قد يضطّر المسير صاحب الطلب إلى معرفة الشبكات التي يمكنه الوصول إليها بوساطة المسير صاحب الإجابة، فلِمَ نعطيه معلومات عن المسيرات الأخرى إذن؟

يمكن توضيح ذلك بأفضل طريقة بالرجوع إلى مثال عن شبكة نظم مستقلة كالمبين، ففي هذا المثال:

- ينجز المسيران **R1** في النظام المستقل **1** و**R5** في النظام المستقل **2** بروتوكولَ **BGP** ويكتسبان علاقة جوار.
- يصدِر **R1** رسالة **Update** إلى **R5** محدداً الشبكات التي يمكنه الوصول إليها والمسافات إليها (عدد القفزات عبر الشبكات). يقدم **R1** أيضاً نفس هذه المعلومات ولكن عن المسير **R2**. أيْ، يخْبِر **R1** المسيرَ **R5** عن الشبكات الممكن الوصول إليها عبر **R2** لأن **R2**، في هذا المثال، لا ينجز بروتوكول **BGP**.
- يمتلك المسير **R1** المعلوماتِ اللازمة عن **R2** لأن كليهما يعتمد بروتوكول تسيير داخلي (**IRP**).



3. تبادل معلومات التسيير في BGP

إن جوهر **BGP** هو تبادل معلومات التسيير بين المسيرات المساهمة في عدة نظم مستقلة. قد تكون هذه الإجرائية على درجة عالية من التعقيد، نعطي فيما يلي فكرة مبسطة عنها.

تأمل المسير **R1** في النظام المستقل **1** (**AS1**) في مثالنا السابق. وتذكّر أن المسير الذي ينجز **BGP** سينجز كذلك بروتوكول تسيير داخلي مثل **OSPF**.

- يستطيع المسير **R1** باستخدام **OSPF** تبادل معلومات تسيير مع المسيرات الأخرى ضمن

AS1 وتكوين صورة عن طبولوجية الشبكات والمسيرات في **AS1** وإنشاء جدول تسيير.

➢ بعد ذلك، يستطيع المسير **R1** إصدار رسالة **Update** إلى **R5** في النظام المستقل **AS2** تتضمن ما يلي:

- **AS_Path**: هوية النظام **AS1**.
- **Next_Hop**: عنوان **IP** للمسير **R1**.
- **NLRI**: لائحة بجميع الشبكات في النظام المستقل **AS1**.

تُعلِم هذه الرسالةُ المسيرَ **R5** أن جميع الشبكات المسرودة في **NLRI** يمكن الوصول إليها عن طريق **R1** وأن النظام المستقل الوحيد الذي يجري المرور به هو **AS1**.

لنفترض الآن أن المسير **R5** يمتلك علاقة جوار مع مسير آخر في نظام مستقل آخر، مثلاً المسير **R9** في النظام المستقل **AS3**.

➢ يقوم المسير **R5** بإرسال المعلومات التي استقبلها للتّو من **R1** إلى **R9** برسالة **Update** جديدة تتضمن ما يلي:

- **AS_Path**: لائحة بالمعرفين **{AS2, AS1}**.
- **Next_Hop**: عنوان **IP** للمسير **R5**.
- **NLRI**: لائحة بجميع الشبكات في النظام **AS1**.

تُعلم الرسالةُ المسيرَ **R9** أن جميع الشبكات المسرودة في **NLRI** هي شبكات يمكن الوصول إليها عن طريق **R5** وأن النظم المستقلة المعبورة هي **AS1** و**AS2**.

يجب على **R9** أن يقرر الآن: هل هذا المسار هو المفضل للوصول إلى الشبكات المسرودة في **NLRI**؟

قد يمتلك **R9** معلومات عن مسار بديل إلى بعض هذه الشبكات أو جميعها وقد يكون هذا المسار مفضلاً لديه لأسباب تتعلق بالأداء أو مقاييس أخرى متعلقة بالسياسات. إذا قرر المسير **R9** أن المسار المزود في رسالة **Update** القادمة من **R5** هو المسار المفضل، فإنه يقوم بتضمين معلومات هذا المسار في قاعدة معطيات التسيير الخاصة به، ويوجه معلومات التسيير الجديدة هذه إلى المسيرات الأخرى المجاورة له. هذه الرسالة الجديدة سوف تتضمن **{AS3, AS2, AS1}** في الحقل **AS_Path**.

وعلى هذا المنوال، يجري تناقلُ تحديثِ معلوماتِ التسيير ضمن شبكة بينية أكبر، مؤلفة من عدد

من النظم المستقلة المترابطة فيما بينها. يستخدم الحقل **AS_Path** لضمان أنه لن يَحْدث تداول هذه الرسائل إلى مالا نهاية؛ وإذا استَقبَل رسالةَ **Update** مسير في نظام مستقل ما، وكان هذا النظام متضمناً في الحقل **AS_Path** فإن ذلك المسير لن يوجه معلومات التحديث إلى المسيرات الأخرى.

إذا احتوى نظام مستقل على أكثر من نقطة دخول متاحة لمسيرٍ طرفي في نظام مستقل آخر، فإنه يمكن استخدام الواصفة **Multi_Exit_Disc** لاختيار واحدة من هذه النقاط للدخول منها. تحتوي هذه الواصفة رقماً يبرز بعض المقاييس الداخلية للوصول إلى الوجهات ضمن هذا النظام المستقل. على سبيل المثال، لنفترض أن كلا المسيرين **R1** و**R2** ينجزان **BGP** وكلاهما يمتلك علاقة جوار بالمسير **R5**. يزود هذان المسيران المسيرَ **R5** برسالة **Update** بخصوص الشبكة **1,3** تتضمن مقياس تسيير يستخدم داخل النظام **AS1**، مثل مقياس التسيير المرتبط ببروتوكول التسيير الداخلي **OSPF**. يستطيع **R5** عندئذ أن يستخدم هذين المقياسين قاعدةً للاختيار بين هذين المسارين.

الفصل السادس: دعم جودة الخدمة في إنترنت

صممت الإنترنت منذ بداياتها لتحقيق خدمة بأفضل جهد **best effort service** واضعة احتياجات التشبيك البيني نصب عينها ولم تركز على احتياجات التطبيقات التي تركت على عاتق الطبقات العليا في النظم الطرفية. إلا أن نمو حركة السير السريع على الإنترنت وظهور التطبيقات المتعددة الوسائط أبرز متطلبات جودة خدمة جديدة وأصبحت هناك ضرورة لتلبية هذه المتطلبات.

1. مفاهيم جودة الخدمة

نسمي دفق المعطيات بين مصدرٍ ووجهةٍ معطيين:

التدفق (flow).

ونعرف جودة الخدمة **QoS** (**Quality Of Service**) بأنها:

قياس لسلوك الشبكة في مواجهة تدفقات ذات خواص مختلفة.

ونعرف صف خدمة (**service class**) بأنه:

مجموعة التدفقات التي تشترك بنفس سوية جودة الخدمة.

يمكن تحديد سوية جودة الخدمة بالخواص الأربعة التالية:

- الموثوقية،
- والتأخير،
- والرجرجة،
- وعرض الحزمة.

يسرد الجدول التالي أهم التطبيقات المستخدمة في الإنترنت ويبين سوية جودة الخدمة المطلوبة لكل منها.

التطبيق	الموثوقية	التأخير	الرجرجة	عرض الحزمة
بريد إلكتروني SMTP	عالية	منخفضة	منخفضة	منخفضة
نقل ملفات FTP	عالية	منخفضة	منخفضة	معتدلة
نفاذ إلى الوب HTTP	عالية	معتدلة	منخفضة	معتدلة
دخول من بعد TELNET	عالية	معتدلة	معتدلة	منخفضة
سمعي عند الطلب	منخفضة	منخفضة	عالية	معتدلة
فيديوي عند الطلب	منخفضة	منخفضة	عالية	عالية
الهتف	منخفضة	عالية	عالية	منخفضة
الإئتمار من بعد	منخفضة	عالية	عالية	عالية

تعتبر **الموثوقية** (reliability) عامل مهم بالنسبة لتطبيقات تبادل المعطيات (التطبيقات الأربعة الأولى). إذ لا يمكن قبول وصول معلومات خاطئة كما لا يمكن فقدان أو ضياع بعض المعطيات. من الضروري في هذه التطبيقات تنفيذ إجرائيات لكشف وتصحيح الخطأ كأرمزة التدقيق وطرق الإقرار.

لا تتأثر تطبيقات البريد الإلكتروني ونقل الملفات **بالتأخير** (delay)، بينما تتحسس تطبيقات الزمن الحقيقي كالائتمار من بعد والهتف بعامل التأخير. لا يمكن إجراء مكالمة هاتفية سليمة إذا تعرضت كل الكلمات المرسلة للتأخير.

تؤدي **الرجرجة** (jitter) إلى وصول رزم المعطيات بشكل متقطع عند المستقبل. قد يؤثر هذا على تطبيق الدخول من بعد لأنه لا يروق للمستخدم رؤية عدم انسيابية كتابة المحارف على الشاشة. فكيف يكون أثرها على التطبيقات السمعية والفيديوية؟ سيكون ذلك واضحاً للعيان وغير مرغوب به على الإطلاق.

هناك بعض التطبيقات التي تستهلك حزمة واسعة من **عرض الحزمة** المتاح في الشبكة ويتطلب نقلها معدل تدفق عال كالتطبيقات الفيديوية.

حركة السير في الإنترنت

يمكن تقسيم حركة السير في شبكة ما أو في الشبكات البينية إلى فئتين عامتين:

- حركة السير المرنة،
- وحركة السير غير المرنة.

إن مجرد النظر إلى المتطلبات المختلفة لكليهما يوضح مدى الحاجة إلى تعزيز بنيان الشبكات البينية في دعم جودة الخدمة.

حركة السير المرنة

حركة السير المرنة (**elastic traffic**) هي الحركة التي بإمكانها أن تتكيف ضمن مجالات واسعة مع التغييرات في التأخير وفي معدل التدفق عبر الشبكة البينية، وتحافظ في الوقت نفسه على متطلبات تطبيقاتها. هذا هو النوع التقليدي من حركة السير الذي صممت لأجله شبكة الإنترنت.

من ضمن التطبيقات التي يمكن تصنيفها مرنةً التطبيقات العامة التي تعمل على **TCP** أو **UDP** وتشمل نقل الملفات، والبريد الإلكتروني، والدخول من بعد، وإدارة الشبكات (**SNMP**)، والنفاذ إلى الوب. إلا أن هناك بعض الاختلافات بين ما يتطلبه كل من هذه التطبيقات عندما يتعلق الأمر بالتأخير.

من المهم هنا أن نُدرك أن المقدار الذي يهمنا هو ليس التأخير في الرزمة الواحدة. عوضاً عن ذلك، فإن جودة الخدمة التي يتلقاها المستخدم تتعلق بالوقت الكلي الذي ينقضي لنقل عنصر من التطبيق الحالي. في حالة تطبيق تفاعلي يعتمد على **TELNET**، قد يكون هذا العنصر ضربة مفتاح واحدة أو سطراً واحداً. أما في حالة تطبيقات النفاذ إلى الوب، فإن هذا العنصر هو صفحة وب، وقد تكون صغيرة بحجم عدة كيلو بايتات أو قد تكون كبيرة جداً مثل صفحة فيها العديد من الصور. وفي حالة بعض التطبيقات العلمية قد يكون هذا العنصر بحجم عدة ميغا بايتات من المعطيات.

حركة السير غير المرنة

لا تتكيف حركة السير غير المرنة (**inelastic traffic**) بسهولة، هذا إن تمكنت من التكيف، مع التغيرات في التأخير ومعدل التدفق عبر شبكة بينية. المثال الأولي على ذلك هو حركة السير في الزمن الحقيقي. قد تتضمن متطلبات حركة السير غير المرنة ما يلي:

- **قيمة دنيا لمعدل التدفق** لا يجوز النزول عنها. فعلى العكس من معظم حالات حركة السير المرنة التي يمكنها أن تستمر بتوصيل المعطيات مهما انحط مستوى الخدمة، تتطلب معظم التطبيقات غير المرنة، بكل تأكيد، قيمة محددة دنيا لمعدل التدفق لتستمر في عملها.
- **ضمان عدم التأخير**. أحد الأمثلة على التطبيقات الحساسة للتأخير هو تجارة الأسهم فالشخص الذي يتسلّم خدمته متأخرة دائماً سيتأخر دائماً في التصرف، لذا يكون الضرر أكبر.

- **حداً أعلى معقولاً للرجرجة**. تُعتبر الرجرجة، وهي مدى تَغَيُر التأخير، عاملاً حرجاً في تطبيقات الزمن الحقيقي. فكلما ازداد تغير التأخير المسموح به طال زمن التأخير في توصيل المعطيات وكان حجم صوان التأخير المطلوب عند المستقبِل أكبر. ولهذا قد تتطلب تطبيقات الزمن الحقيقي التفاعلية، مثل الائتمار من بعد، حداً أعلى معقولاً للرجرجة.
- **معدل فقدان الرزم المسموح به**. تختلف تطبيقات الزمن الحقيقي في كمية ضياع الرزم التي يمكنها تحملها.

تضيف حركة السير غير المرنة زوجاً من المتطلبات الجديدة إلى بنيان الشبكة البينية:

أولاً، هناك حاجة إلى طريقة لإعطاء أفضلية في المعالجة للتطبيقات التي متطلباتها أكثر إلحاحاً. على هذا تحتاج التطبيقات إلى آلية تمكنها من التعريف بمتطلباتها قبل البدء بالنقل بوساطة وظيفة معينة لطلب خدمة. الأمر الذي يوفر مرونةً في التعريف بالمتطلبات ويمكن الشبكة من تَوقّع الطلبات، ورفض الطلبات الجديدة إذا كانت الموارد اللازمة غير متوفرة. تقتضي هذه الطريقة ضمناً استخدام ما يشبه بروتوكول حجز موارد.

ثانياً، يتطلب دعم حركة السير غير المرنة في بنيان شبكة بينية أن تدعم هذه الشبكة حركة السير المرنة. ولكن قد تستمر حركة السير غير المرنة ذات الأفضلية الأعلى في ضخ حِمل عالٍ على حساب حركة السير المرنة. يمكن أن يساعد بروتوكول الحجز على التحكم في هذا الوضع عن طريق رفض طلبات الخدمة التي تترك القليل جداً من الموارد المتاحة لتولي حركة السير المرنة الحالية.

لا يوجد حقيقة حل سحري لمعالجة دعم جودة الخدمة وإنما مجموعة من الآليات التي يمكن استخدام تركيبة منها لتنجيز حل معقول لتحقيق جودة الخدمة. وقد عرفت معظم هذه الآليات ضمن إطاري عمل هما بنيان **ISA** والخدمات المتمايزة.

2. بنيان ISA

يقوم فريق العمل الهندسي لإنترنت حالياً بتطوير طقم من المقاييس لتحقيق المتطلبات اللازمة لتوفير خدمات معتمدة على جودة الخدمة، هذه المقاييس مجموعة ضمن مظلةٍ عامةٍ تسمى بنيان الخدمات المتكاملة. القصد من تطوير **ISA** هو توفير نقل يحقق جودة الخدمة عبر الشبكات البينية المعتمدة على **IP**.

جرى تعريف **ISA** إجمالاً في **RFC 1633** (انظر الملحق **Appendix6-2**).

لماذا بنيان ISA؟

إن الهدف من بنيان الخدمات المتكاملة **ISA** (**Integrated Services Architecture**) هو تقديم دعم لجودة الخدمة على الشبكات البينية المعتمدة على **IP**. إن القضية المركزية في تصميم **ISA** هي كيفية اقتسام السعة المتاحة في أوقات الاختناق. ولكن أدواتِ التحكم في الاختناق وتقديم الخدمة محدودةٌ في شبكات **IP** البينية التي لا توفر سوى خدمات بأفضل جهد. من حيث الجوهر، تمتلك المسيرات آليتين للعمل:

1. **خوارزمية تسيير:** تسمح معظم بروتوكولات التسيير المستخدمة في الشبكات البينية باختيار المسارات بحيث يكون التأخير أصغرياً. تتبادل المسيرات المعلوماتِ فيما بينها لِتُكون صورة للتأخيرات في أرجاء الشبكة البينية. يساعد التسيير حسب التأخير الأصغري على موازنة الأحمال، أي على تخفيف الاختناق المحلي ويساعد على تخفيض التأخيرات التي يمكن رصدها في ارتباطات **TCP** المنفردة.
2. **استبعاد الرزم:** يقوم المسير باستبعاد الرزم عندما يفيض حِوانه. يجري عادةً استبعاد الرزمة الأخيرة. يسبب فقدان الرزم على ارتباط **TCP** في طبقة النقل تراجع كيان **TCP** المرسِل وتخفيف حمله، وبهذا يساعد على التخفيف من اختناق الشبكة البينية.

مع أن هذه الأدوات قد أدت الغرض المطلوب منها بكيفية مقبولة حتى الآن، فإنها غير ملائمة لأنواع قادمة من حركة السير على الشبكات البينية.

أركان بنيان ISA

إن بنيان الخدمات المتكاملة **ISA** هو بنيان إجمالي يتضمن عدداً من التعزيزات في قيد التطوير للآليات ذات أفضل جهد التقليدية.

يمكن ربط كل رزمة **IP** في بنيان **ISA** بتدفق. ويعرف التدفق في **RFC 1633** على أنه دفقة قابلة للتمييز عن غيرها من رزم **IP** المرتبطة فيما بينها، والناتجة عن فعاليةِ مستخدمٍ وحيد وتتطلب نفس مستوى جودة الخدمة.

فعلى سبيل المثال، يمكن أن يتألف التدفق من ارتباط نقل أو دفقة فيديو يمكن تمييزها في بنيان **ISA**. يكون التدفق وحيد الاتجاه، ويمكن أن يكون هناك أكثر من مستقبِل للتدفق (بث متعدد الوجهات). رزمة **IP** هي عنصر من تدفق يؤسس على عنوانَي **IP** مصدر ووجهة ورقمي بوابة فيهما ونوع بروتوكول.

يقوم بنيان **ISA** لدعم جودة الخدمة على الأركان الوظيفية التي يبين الإيضاح كل منها بالنقر فوقه بمؤشر الفأرة:

التحكم في القبول (Admission Control):

تتطلب **ISA** لتحقيق نقل بمواصفات جودة الخدمة **QoS** (إضافةً إلى النقل بأفضل جهد اغتفالاً) أن يكون هناك حجز لإنشاء تدفق جديد. إذا قررت المسيرات مجتمعة أن الموارد الموجودة غير كافية لضمان جودة الخدمة المطلوبة فعندئذ يرفض هذا التدفق. تُعرف لذلك موسطات الخدمة المطلوبة ويستخدم البروتوكول **RSVP** لحجز الموارد المطلوبة لها.

نظام أرتال الانتظار:

أحد العناصر الحيوية في **ISA** هو سياسة إدارة أرتال فعالة تأخذ بعين الاعتبار الاحتياجات المختلفة للتدفقات والصفوف المختلفة. تتضمن إدارة الأرتال جدولة الرزم (**packet scheduling**) للإرسال وضبط حركة السير (معدل التدفق للرزم) وفق شروط جودة الخدمة المتفق عليها (**traffic policing**).

خوارزمية التسيير:

يتخذ قرار التسيير اعتماداً على عدد من موسطات جودة الخدمة وليس فقط التأخير الأصغر.

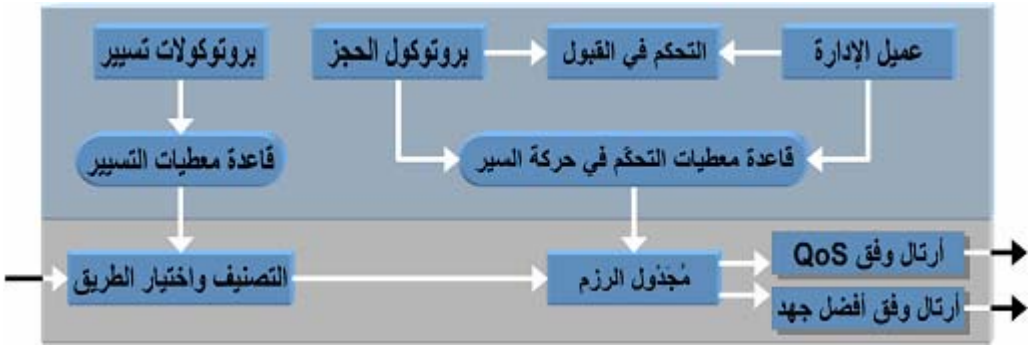
فعلى سبيل المثال، يستطيع بروتوكول التسيير **OSPF** الذي نوقش في الوحدة **4** أن يختار المسارات اعتماداً على جودة الخدمة.

تصنيف الرزم (packet classification):

تُصنف الرزم في صفوف وفقاً لجودة الخدمة المطلوبة لها. ويستخدم هذا التصنيف كأداة مساعدة في إدارة نظام الأرتال وفي سياسة الاستبعاد. تُستخدم سياسة الاستبعاد في تحديد أي الرزم التي تُرمى عندما تصل رزم جديدة ويكون الصوان ممتلئاً. يمكن أن تكون سياسة الاستبعاد هذه عاملاً مهماً في إدارة الاختناق وتحقيق ضمانات جودة الخدمة.

مكونات بنيان ISA في المسير

هناك نوعين من الوظائف المنجزة في مسير **ISA**: وظائف خلفية تقوم بإنشاء بنى المعطيات التي تَستخدمها وظائف التمرير في المسير ويجب أن تكون على درجة عالية من الاستمثال، ووظائف مرتبطة بالمهمة الرئيسية للمسير وهي التمرير الذي يطبق على كل رزمة عابرة له.



الوظائف الخلفية الرئيسية هي التالية:

- **بروتوكول الحجز**: وهو يستخدم لحجز موارد لتدفقٍ جديدٍ بمستوى معين من جودة الخدمة. ويستخدم بين المسيرات نفسها وكذلك بين المسيرات والنظم الطرفية. بروتوكول الحجز مسؤول عن إدارة معلومات حالةٍ خاصةٍ بالتدفق في النظم الطرفية وفي المسير على طول مسار التدفق، ويستخدم **RSVP** لهذا الغرض. يحدث بروتوكول الحجز قاعدةَ معطيات التحكم في حركة السير التي يستخدمها مجدول الرزم لتحديد الخدمة المقدمة لرزم كل تدفق.
- **التحكم في القبول:** يقوم بروتوكول الحجز باستدعاء وظيفة التحكم في القبول كلما طُلب تدفق جديد. تحدد هذه الوظيفة ما يلي: هل الموارد المتوفرة كافية للتدفق بما يوافق جودة الخدمة المطلوبة؟ يعتمد هذا التحديد على مستوى الالتزام الحالي بالحجوز الأخرى و/أو

على الحِمل الآني للشبكة.

- **عميل الإدارة:** يمكن لعميل إدارة الشبكة أن يعدل قاعدة معطيات التحكم في حركة السير وأن يوجه مجتزأ التحكم في القبول لوضع سياسات التحكم في القبول.
- **بروتوكول التسيير:** يكون مسؤولاً عن صيانة قاعدة معطيات التسيير التي تعطي القفزة التالية على الطريق لكل عنوان وجهةٍ ولكل تدفق.

تدعم الوظائفُ الخلفية هذه المهمةَ الأساسية للمسير، ألا وهي تمرير الرزم. المجالان الوظيفيان الأساسيان اللذان يحققان التمرير هما التاليان:

- **التصنيف واختيار الطريق:** يجري تصنيف الرزم القادمة وفق صفوفٍ لأغراض تتعلق بتمرير الرزم والتحكم في حركة السير. يقابل كل صف تدفق وحيد أو مجموعة تدفقات بنفس متطلبات جودة الخدمة. فعلى سبيل المثال، تُعامل رزم جميع تدفقات الفيديو أو رزم جميع التدفقات العائدة لنفس المؤسسة بالتساوي، وذلك بغية تحصيص الموارد وتنظيم أرتال الانتظار. يختار الصف اعتماداً على الحقول في ترويسة **IP**. تحدد هذه الوظيفةُ عنوان القفزة التالية للرزمة اعتماداً على صف الرزمة وعنوان **IP** للوجهة.
- **مجَدْول الرزم:** تقوم هذه الوظيفة بإدارة رتل أو أكثر على كل مخرج. تحدد هذه الوظيفةُ الترتيب الذي يجري وفقه إرسال الرزم الموضوعة في أرتال الانتظار، ومجموعة الرزم المراد استبعادها إذا كان هناك ضرورة لذلك. تُتخذ هذه القرارات اعتماداً على صف الرزمة ومحتويات قاعدة معطيات التحكم في حركة السير والفعاليات السابقة والحالية على هذا المنفذ الخارج. إن جزءاً من مهمة مجدول الرزم هو التنظيم والضبط، وهي وظيفة تُقرر: أتتجاوز حركة سير الرزم في تدفق معين السعةَ المطلوبة؟ وإذا كان الحال هكذا، تقرر كيفية معاملة الرزم الزائدة.

خدمات ISA

يوجد حالياً ثلاث فئات خدمة معرفة:

- خدمة مضمونة (**Guaranteed Services**)،
- حِمل متحكم فيه (**Controlled load**)،
- خدمة أفضل جهد (**Best effort**).

تعرف خدمات **ISA** لتدفق الرزم على مستويين:

- فئة الخدمة (**RSpec**): توفر نوعاً عاماً من ضمانات الخدمة.
- توصيف حركة النقل (**TSpec**) ضمن كل فئة: يحدد الخدمة اللازمة لتدفق محدد وفق قيم

موسطات معينة.

يمكن لأي برنامج أن يطلب حجز تدفق لأجل جودة خدمة مضمونة أو ذات حِمل متحكم فيه مع توصيفٍ **TSpec** يعرف تماماً مقاييس الخدمة المطلوبة. إذا قُبِل الحجز اعتُبر **TSpec** جزءاً من العقد بين تدفق المعطيات والخدمة. توافق الخدمة على توفير جودة الخدمة المطلوبة ما دامت حركة سير معطيات التدفق موصوفةً بدقة وفق **TSpec**. أما الرزم التي ليست جزءاً من تدفق محجوز فإنها تُعطى اغتفالاً خدمة توصيل بأفضل جهد.

استخدام حاوية العلام لتشكيل وضبط حركة السير

قبل تناول فئات خدمات **ISA** بالبحث، يجب تعريف المفهوم العام التالي: توصيف حركة سير حاوية العلاّم (**token bucket**)، وهي طريقة لتوصيف حركة السير لها الفوائد الثلاث التالية في سياق **ISA**:

1. يعطي أسلوب حاوية العلاّم وصفاً دقيقاً للحِمل الذي يفرضه تدفق ما، وهذا ما يمكن الخدمة من تحديد الموارد المطلوبة بسهولة؛
2. يوفر أسلوب حاوية العلام موسطات الإدخال اللازمة لضبط التدفق بما يتوافق مع الموارد المحجوزة؛
3. يوفر أسلوب حاوية العلام موسطات الإدخال اللازمة لتنسيب التدفق بحيث يؤمن تمرير الرشقات.

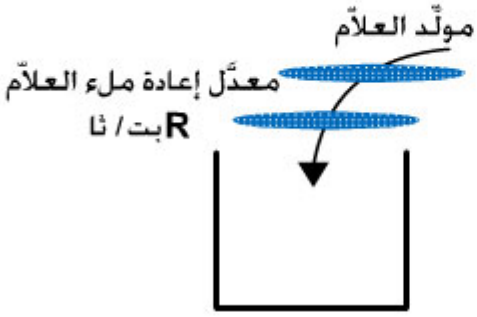
تتألف مواصفات حركة سير حاوية العلاّم من موسطين:

- **معدل إعادة مَلْء العلاّم R:** يحدد المعدل المستدام للمعطيات، بمعنى أن المعدل الوسطي للمعطيات الذي يمكن توفيره لتدفق ما على امتداد مدة زمنية طويلة نسبياً هو **R**.
- **حجم الحاوية B:** يحدد كمية المعطيات الزائدة عن **R** التي يمكن التسامح معها مدداً زمنية قصيرة. الشرط الدقيق هو التالي:

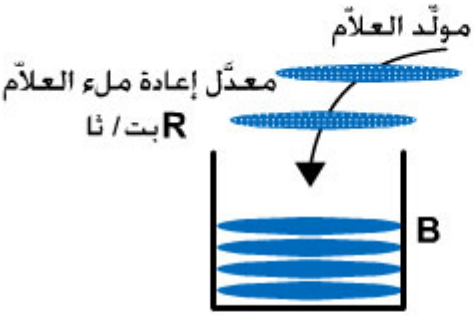
كمية المعطيات المرسلة خلال أي مدة زمنية T لا يمكن أن تتجاوز RT+B.

تجري عندئذ عملية تشكيل وضبط حركة سير حاوية العلام وفقاً للخطوات التالية:

1- يضع المسيّر العلاّمات في الحاوية وفق المعدل الوسطي المحدَّد للتدفق R. وهو معدَّل مَلْء حاوية العلاّم.



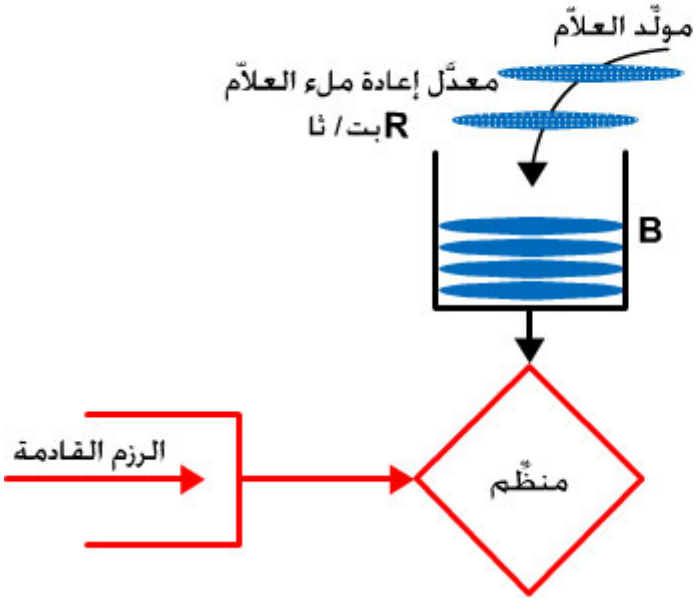
2- يمكن مراكمة العلاّمات حتى حجم الحاوية B وتُرمى العلاّمات الزائدة.



تمثّل الحاوية عداداً يشير إلى عدد البايتات المسموح به في معطيات IP التي يمكن إرسالها في أي وقتٍ كان.

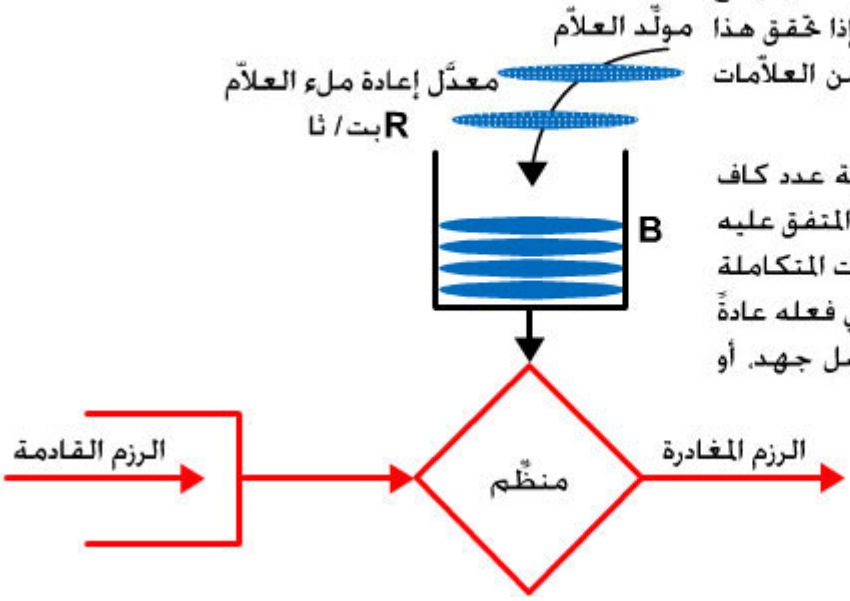
تُملأ الحاويات بعلاّمات من بايتات بالمعدل R (أيْ، يُزاد العداد R مرة كل ثانية) إلى أن تمتلئ الحاوية (حتى القيمة العُظمى للعداد).

3- يطلب منظِّمُ أرتال المسيِّر العلاّماتِ المساوية لحجم الرزمة التالية.

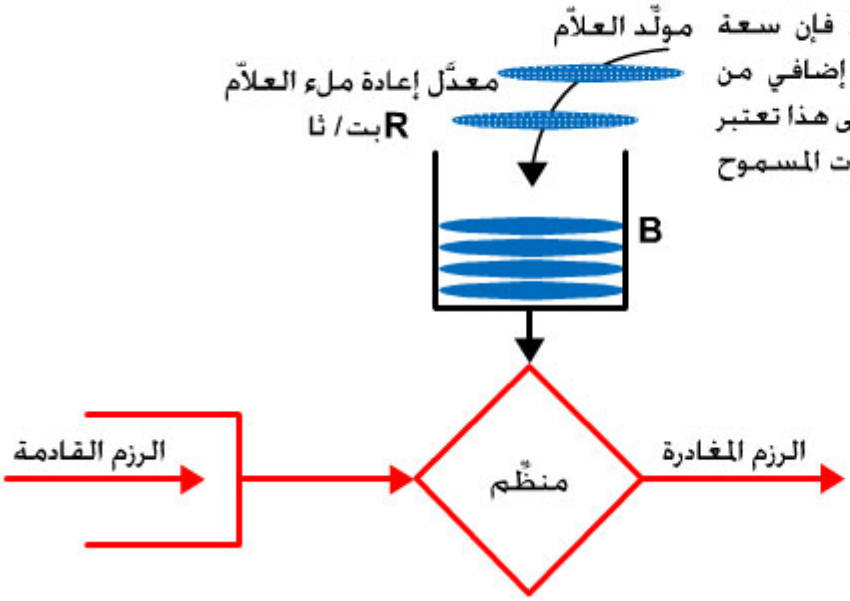


4- إذا كانت العلاّمات متوفِّرة. أي إذا وُجِدَ عدد كاف من علاّمات البايتات تساوي حجم معطيات IP، توضع رزمة IP في رتل عند وصولها لتعالَج. إذا تحقق هذا الشرط. تعالَج الرزمة وتفرَّغ الحاوية من العلاّمات التي فيها.

5- أمّا إذا وصلت رزمة ولم يكن في الحاوية عدد كاف من العلاّمات فإن الرزمة تتجاوز Tspec المتفق عليه لهذا التدفق. لا تحدد وثائق بنيان الخدمات المتكاملة ISA كيفية معالجة هذه الرزم. ما يجري فعله عادةً هو إحالة هذه الرزمة إلى خدمة أفضل جهد. أو استبعادها. أو تعليمها بحيث تُرمى فيما بعد.



إن معدل معطيات IP الذي تسمح به حاوية العلاّم على المدى الطويل هو R. إلا أنه في حال حدوث مدة راحة (سكون) أو مدة بطيئة نسبياً، فإن سعة الحاوية تزداد بحيث يمكن قبول عدد إضافي من البايتات يساوي B فوق المعدل المحدد. على هذا تعتبر B مقياساً لحجم رشقة تدفق المعطيات المسموح به.



نشاط:

- تساعد حركة سير حاوية العلام في ضبط الرشقات الواردة لأنها:
  1. ترسلها مادامت حاوية العلام ممتلئة
  2. تؤخر إرسالها إذا كانت حاوية العلام فارغة
  3. ترميها إذا كانت حاوية العلام فارغة
- تعتبر حركة سير حاوية العلام ضابطة لحركة سير واردة لأنها:
  1. تمرر الرزمة التي تحمل علاماً
  2. تمرر الرزم بمعدل له نفس ميقاتية معدل ملء العلام
  3. تمرر الرزم بمعدل وسطي يساوي معدل ملء العلام
- ماذا يعني امتلاء حاوية العلام؟
  1. أن هناك الكثير من الموارد غير المستخدمة في الشبكة
  2. أن معدل تدفق الرزم الوارد في الفترة الزمنية الأخيرة أقل بكثير من المعدل الوسطي المحجوز له
  3. أن معدل تدفق الرزم الوارد في الفترة الزمنية الأخيرة أكبر بكثير من المعدل الوسطي المحجوز له

الخدمة المضمونة

للخدمة المضمونة العناصر الرئيسية التالية:

- تقدم الخدمة سعةً مضمونة أو معدلَ معطيات مضموناً.
- هناك حد أعلى محدد للتأخير في رتل الانتظار ضمن الشبكة، يجب إضافته إلى تأخير الانتشار، أو التلبث (latency)، للوصول إلى حد التأخير الكلي ضمن الشبكة.
- لا يوجد ضياع ناتج عن الانتظار. بمعنى أنه لا تضيع الرزم بسبب فيض في الصوان، إلا أنه يمكن أن تضيع الرزم بسب أعطال الشبكة أو تغييرات في مسارات التسيير.

إحدى فئات التطبيقات التي تحتاج إلى هذه الخدمة هي التطبيقات التي تتطلب حداً أعلى للتأخير، بحيث يمكن استخدام صوان تأخير لتشغيل المعطيات الواردة تشغيلاً بالزمن الحقيقي، والتي لا تتسامح مع ضياع الرزم بسبب التردي في جودة الإخراج.

تعتبر الخدمة المضمونة أكثر خدمات **ISA** اشتراطاً. ولأن حد التأخير صارم، يجب إعطاؤه قيمة كبيرة ليشمل الحالات النادرة التي يحدث فيها انتظار طويل في الأرتال.

الحِمْل المتحكم فيه

لخدمة الحِمل المتحكم فيه العناصر الرئيسية التالية:

- تقرب هذه الخدمة بقدرٍ كبير السلوك الظاهر إلى تطبيقاتٍ مزودة بخدمةِ أفضل جهد في ظروف عدم تحميل.
- ليس هناك حد أعلى لزمن التأخير في الأرتال ضمن الشبكة. مع ذلك تضمن هذه الخدمة عدم تَعرض نسبة عالية من الرزم لتأخير يتجاوز كثيراً تأخير العبور الأصغر (تأخير العبور الأصغر هو التأخير الناجم عن مدة الانتشار إضافةً إلى مدة المعالجة في المسير بدون تأخير انتظار في الرتل).
- نسبة مئوية عالية جداً من الرزم المرسلة يجري تسلمها بنجاح (تقريباً لا يوجد فقدان في أرتال الانتظار).

كما سبق وذُكرنا، المخاطرةُ في شبكة بينية توفّر جودة الخدمة لتطبيقات الزمن الحقيقي هي استبعاد حركة السير ذات أفضل جهد. هذا ناتج عن أن تطبيقات أفضل جهد تَستخدم **TCP** الذي يتراجع في وجه الاختناق أو التأخير. تضمن خدمةُ الحِمل المتحكم فيه أن الشبكة ستضع جانباً موارد كافية تمكن التطبيق الذي يستقبل هذه الخدمة من الحصول على استجابة شبكة له كما لو أن تطبيقات الزمن الحقيقي هذه لم تكن موجودة ومتنافسة على الموارد.

نشاط:

- أي خدمة من خدمات **ISA** هي الأنسب للتطبيقات التالية؟
  1. النفاذ إلى الوب
  2. الائتمار من بعد
  3. نقل الملفات
  4. سمعي عند الطلب

نظام الأرتال

يعتبر نظام الأرتال المستخدم في المسيرات مكوناً هاماً في تنجيز بنيان الخدمات المتكاملة (**ISA**). تَستخدم المسيراتُ عادةً نظام "الداخل أولاً يخرج أولاً" (**FIFO**) عند كل منْفَذ إخراج. يحتفَظُ برتل وحيد عند كل منفذ إخراج. وعندما تصل رزمة جديدة وتُوجه إلى منْفَذ إخراج فإنها توضع في نهاية الرتل. يقوم المسير بإرسال الرزم من الرتل ما دام ليس فارغاً، وفق قاعدة: الرزمة التالية هي الرزمة التي بقيت أطول مدة في الرتل.

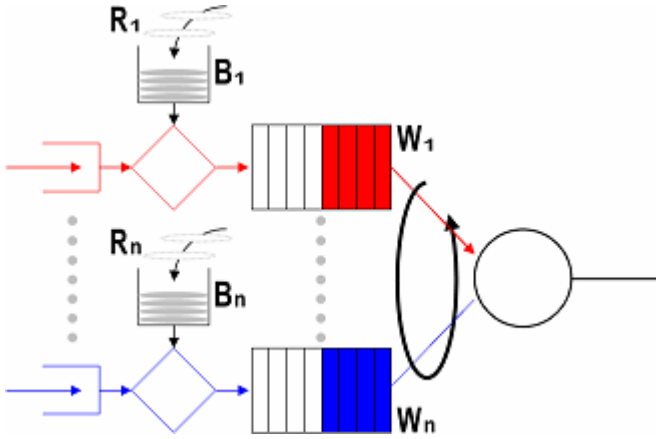
هناك عدة سلبيات لنظام الأرتال **FIFO**:

- لا يمكن إعطاء معاملة خاصة للرزم التابعة لتدفقات ذات أولوية عالية أو ذات حساسية عالية للتأخير.
- إذا كان هناك عدد من الرزم الصغيرة في الرتل خلف رزمة كبيرة الحجم، فإن نظام **FIFO** يؤدي إلى وسطي تأخير للرزمة الواحدة أعلى مما كان سينتج في حال إرسال الرزم الصغيرة قبل الرزمة الكبيرة. وبوجهٍ عام تحصل التدفقات ذات الرزم الكبيرة على خدمة أفضل.
- يمكن أن يسبب ارتباطُ **TCP** شره حرماناً (أو استبعاداً) لارتباطات أخرى غير أنانية. إذا حصل اختناق ولم يفلح ارتباط **TCP** ما في أن يتراجع، فإن الارتباطات الأخرى على نفس مقطع المسار يجب أن تتراجع أكثر مما تفعل عادةً.

للتغلب على سلبيات نظام **FIFO**، يستخدم نظام أرتال عادل يحتفظ المسير فيه بأرتال متعددة عند كل منفذ إخراج. في نظام الأرتال البسيط هذا، توضع كل رزمة واردة في رتل خاص بتدفقها. وتخدم هذه الأرتال بترتيب دائري بحيث تؤخذ رزمة من كل رتل غير فارغ بالدور. وتُتَخطّى

الأرتال الفارغة.

عند وصول رزمة إلى المسير، يتعرف المسير على الفئة التي تنتمي الرزمة إليها: مثلاً هل هي خدمة مضمونة أو خدمة بأفضل جهد؟ ويوجهها إلى رتل الإرسال المناسب حيث يجري تشكيلها وضبطها بواسطة حاوية العلام المعرفة لهذا التدفق (لهذه الفئة من الخدمة). ثم يجري تخديم أرتال الرزم المشكلة والمضبوطة دورياً من قبل المسير.



يعتبر هذا النظام عادلاً لأن كل تدفق يحظى بإرسال رزمة واحدة تماماً في كل دورة. ثم إن هذا يعد شكلاً من أشكال موازنة الأحمال بين التدفقات المختلفة. ليس هناك أي فائدة ترجى من شراهة التدفقات في هذا النظام. فالتدفق الشره يجد أن رتله يصبح طويلاً فيزداد انتظاره، على حين لا تتأثر التدفقات الأخرى بهذا السلوك.

نَجز عدد من البائعين تحسيناً لنظام الأرتال العادل بما يعرف بنظام الأرتال العادل المثقل **WFQ** (**Weighted Fair Queuing**). من حيث الجوهر، يأخذ **WFQ** بعين الاعتبار كمية حركة السير على كل رتل ويعطي الأرتال الممتلئة سعة أكثر، بدون إيقاف الأرتال التي هي أقل امتلاء إيقافاً كاملاً. إضافةً إلى ذلك، يستطيع **WFQ** أن يأخذ بعين الاعتبار كمية الخدمة التي يطلبها كل تدفق حركة سير، وأن يضبط نظام الأرتال وفق هذه الكميات.

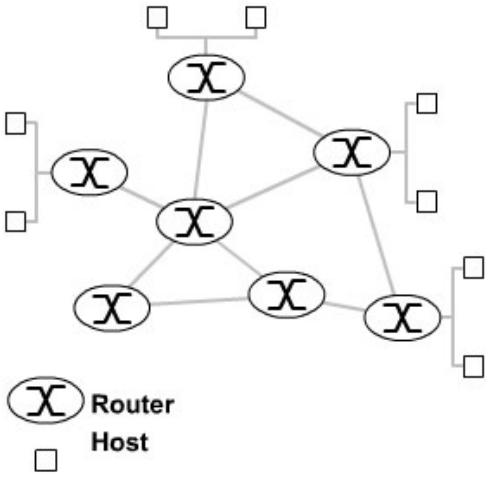
بروتوكول حجز الموارد

يعرف بروتوكول حجز الموارد **RSVP** (**Resource ReSerVation Protocol**) في **RFC 2205** بأنه يقدم وظائف داعمة لبنيان الخدمات المتكاملة.

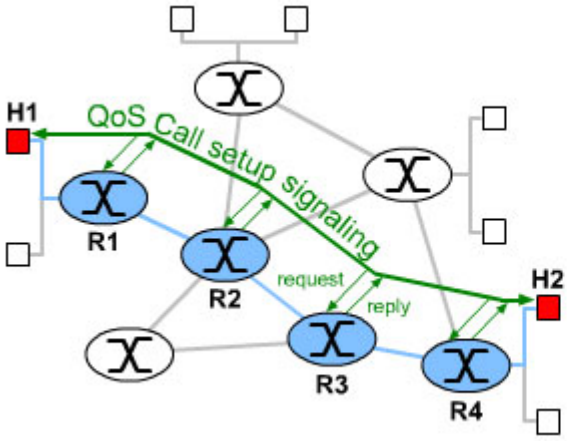
رأينا سابقاً أنه لا يكفي أن تكون الشبكة البينية قادرة على التفاعل مع الاختناق. بدلاً من ذلك، هناك حاجة لأداة لمنع الاختناق بالسماح للتطبيقات بحجز موارد الشبكة عند مستوى جودة خدمة

معين. وهذا ما يوفره بروتوكول حجز الموارد **RSVP**.

لننظر في كيفية قيام هذا البروتوكول بعمله.



لنفترض حدوث تدفق مثل ارتباط TCP بين H1 وH2. يقوم RSVP بتحصيص الموارد اللازمة لضمان جودة الخدمة المطلوبة لهذا التدفق في كل المسيّرات الواقعة على المسار المطلوب من R1 إلى R4.

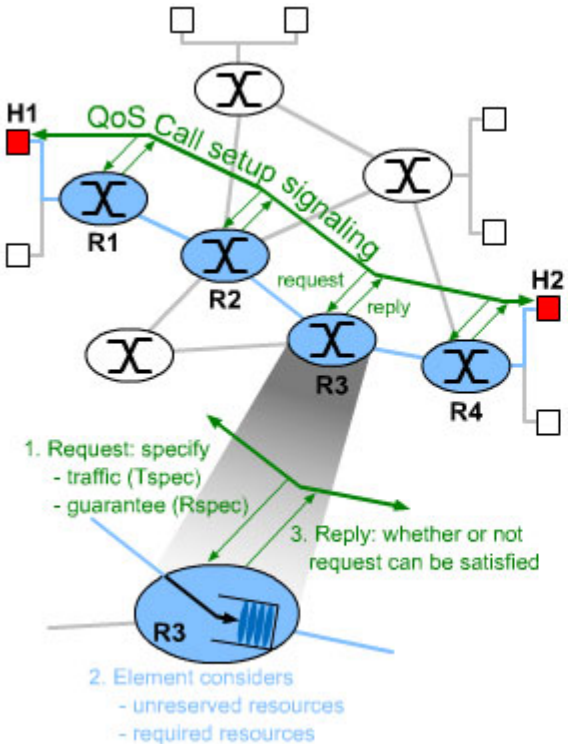


فمثلاً عند وصول طلب الحجز إلى المسير R3:

1. يتعرف المسير على مواصفات فئة الخدمة لهذا التدفق Tspec وRspec.
2. ثم يتفحص إمكان توفير الموارد المطلوبة لديه.
3. ويجيب بالقبول إن أمكن ذلك.

وهكذا حتى وصول الطلب إلى الطرف المستقبل.

إن لم يستطع أحد هذه المسيّرات حجز الموارد المطلوبة بسبب حجوز تنتظر قبلاً. فمن الممكن آنذاك إعلام التطبيق بهذا. حينئذٍ قد يقرر هذا التطبيق إعادة المحاولة مع تخفيض جودة الخدمة أو قد يقرر الانتظار والمحاولة لاحقاً.



يعتبر **RSVP** بروتوكول تشوير مهمته تبادل معلومات التشوير (**signaling data**) الخاصة بحجز الموارد بين المسيرات على الشبكة. يقوم عميل بروتوكول **RSVP** في مسير بالمهام التالية:

- تحصيص الموارد اللازمة في المسير، من عرض حزمة وسعة تصوين، لضمان جودة الخدمة المطلوبة من أجل كل تدفق.
- حفظ معلومات حالة عن كل تدفق جرى حجز الموارد له وتبادل هذه المعلومات مع المسيرات الأخرى في الشبكة.

يختلف حجز الموارد في الشبكات البينية عن نوع حجز الموارد الذي يمكن تنجيزه في أي شبكة ارتباطية التوجه، مثل **ATM** أو شبكة تنقيل الأطر. فطريقة حجز الموارد في شبكة بينية يجب أن تتفاعل مع إستراتيجية تسيير ديناميكية، تسمح بتغيير المسار الذي تتبعه الرزم التابعة لعملية إرسال محددة. لذا يجب تغيير حجز الموارد عندما يغير المسار.

يستخدم مبدأ **الحالة المرنة (soft state)** للتعامل مع الوضع الديناميكي هذا. الحالة المرنة هي مجرد مجموعة معلومات عن الحالة عند مسير ما، وتنتهي صلاحية هذه المعلومات ما لم يجددها باستمرار الكيان الذي طلب هذه الحالة. عندما يتغير مسار إرسال معين فإن بعض الحالات المرنة تنتهي صلاحيتها وتؤدي حجوز الموارد الجديدة إلى إنشاء حالات مرنة ملائمة على المسيرات الجديدة على طول المسار. لذا على النظام الطرفي الذي قام بطلب الموارد أن يقوم بتجديد طلباته دورياً خلال مدة الإرسال في التطبيق.

بالاعتماد على هذه الاعتبارات، يسرد التوصيفُ المميزاتِ التالية لِـ **RSVP**:

- **البث الوحيد الوجهة والبث المتعدد الوجهات:** يقوم **RSVP** بالحجوز للإرساليات البثية الوحيدة الوجهة والمتعددة الوجهات، ويتكيف ديناميكياً مع التغيرات في عضوية مجموعات البث المتعدد الوجهات والتغيرات في المسارات، ويقوم بحجز الموارد اعتماداً على الاحتياجات الفردية لأعضاء البث المتعدد الوجهات.
- **وحيد الاتجاه:** يقوم **RSVP** بالحجز لتدفقات معطيات وحيدة الاتجاه. لذا يتطلب تبادل المعطيات بين نظامين طرفيين حجزاً مستقلاً في الاتجاهين.
- **حجز يستبدئه المستقبِل:** يستبدئ مستقبِل تدفق المعطيات حجز الموارد لهذا التدفق ويصونه.
- **صيانة الحالة المرنة في الشبكة البينية:** يصون **RSVP** حالةً مرنةً في المسيرات

الوسيطة ويترك مسؤولية صيانة حالات الحجز هذه للمستخدمين الطرفيين.

بالاعتماد على هذه الاعتبارات، يسرد التوصيفُ المميزاتِ التالية لِـ **RSVP**:

- **توفير أساليب مختلفة من الحجز:** تمكن هذه الأساليب مستخدمي **RSVP** من تحديد كيفية تجميع الحجوز لنفس مجموعة البث المتعدد الوجهات عند البدالات الوسيطة. توفر هذه المِيزة استخداماً أشد فعاليةً لموارد الشبكة البينية.
- **تشغيل خفي عبر المسيرات غير الداعمة لِـ RSVP:** نظراً لاستقلال الحجوز و**RSVP** عن بروتوكولات التسيير، فإنه ليس هناك تناقض أساسي في وجود مسيرات لا تستخدم **RSVP** في بيئة مختلطة. تَستخدم هذه المسيرات تقنية التوصيل بأفضل جهد.
- **دعم IPv4 وIPv6:** يمكن أن يستفيد **RSVP** من حقل نوع الخدمة (**Type-of-Service**) في ترويسة **IPv4** ومن حقل لُصيقة التدفق (**Flow Label**) في ترويسة **IPv6**.

الفصل السابع: الخدمات المتمايزة

مع أن الخدمات المتكاملة بوجهٍ عام وRSVP بوجهٍ خاص هي أدوات مفيدة لدعم جودة الخدمة (QoS) في شبكة الإنترنت وفي الشبكات البينية الخاصة، فإن نشر هذه المِيزات مسألة معقدة نسبياً. إضافةً إلى ذلك، ربما تعجز هذه الأدوات عن معالجة حجوم حركة سير عالية، بسبب كمية تبادل معلومات التشوير المطلوبة لتنسيق عروض جودة الخدمة وبسبب صيانة معلومات الحالة المطلوبة من المسيرات.

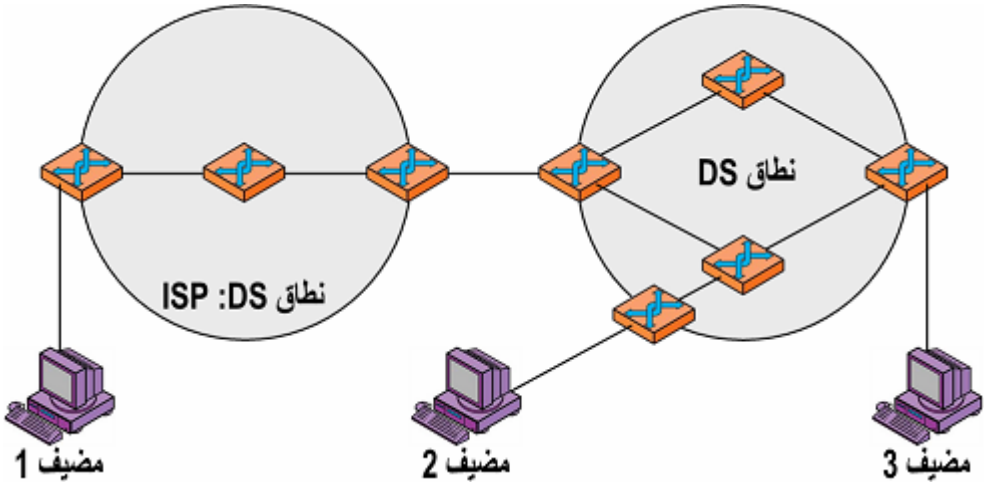
ولذلك صممت بنية الخدمات المتمايزة (Differentiated Services) (RFC 2475) لتقديم أداة بسيطة، سهلة التنجيز، وذات حِمل مضاف منخفض لدعم مجال من خدمات الشبكة التي يمكن التمييز فيما بينها على أساس الأداء.

1. مفاهيم الخدمات المتمايزة

مصطلحات الخدمات المتمايزة

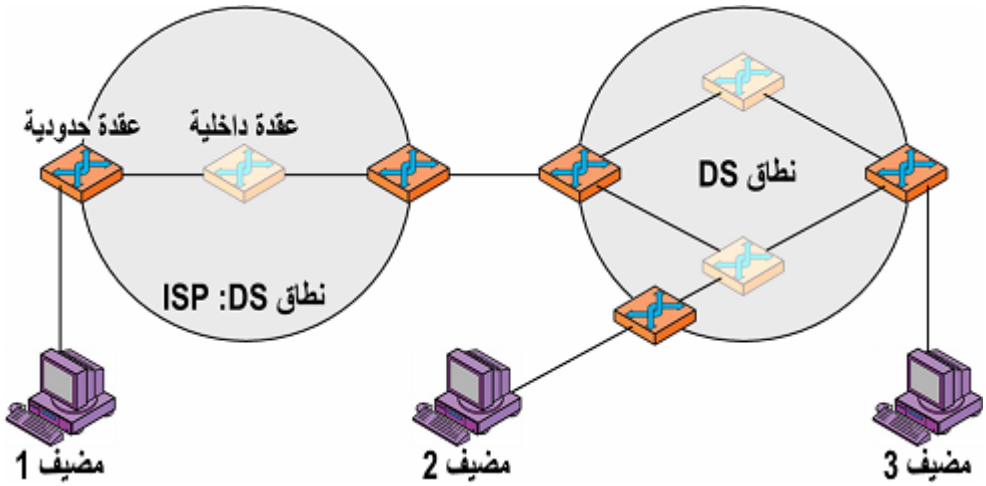
مع أن الخدمات المتمايزة مصممة لتوفير خدمة بسيطة اعتماداً على آليات بسيطة نسبياً، فإن RFCs المرتبطة بالخدمات المتمايزة معقدة نسبياً. نلخص هنا بعض المصطلحات الرئيسية من هذه المواصفات.

تُوفر الخدمات المتمايزة DS ضمن **نطاق** DS يعرف بأنه جزء مستمر من الإنترنت تُطبق عليه إدارة مجموعة متجانسة من سياسات الخدمات المتمايزة. يكون نطاق الخدمات المتمايزة عادةً تحت سيطرة كيان إداري واحد، ويعتبر مزود خدمة إنترنت ISP أحد الأمثلة على ذلك.



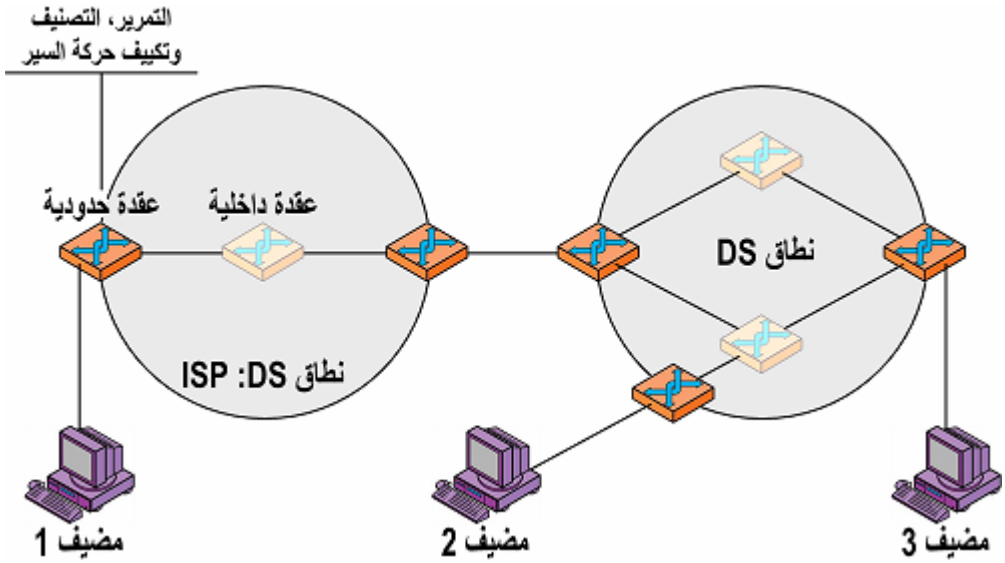
تعرف الخدمات المقدمة ضمن نطاق خدمات متمايزة في **اتفاقية مستوى الخدمة SLA** وهي عقْد بين الزبون ومزود الخدمة يحدد خدمة التسيير التي يتلقاها الزبون لصفوف مختلفة من الرزم. يمكن أن يكون الزبون مؤسسةً أو نطاق خدمات متمايزة آخر. وحالما تُنشأ اتفاقية مستوى الخدمة، يرسِل الزبون الرزم وفيها **ثُمانيّة DS** تحوي علامة صف الرزمة.

تكون المسيرات في نطاق خدمات متمايزة **عقداً حدودية** أو **عقداً داخلية** وتختلف بالمهام الموكلة إليها، ويقع جل المهام على العقد الحدودية.



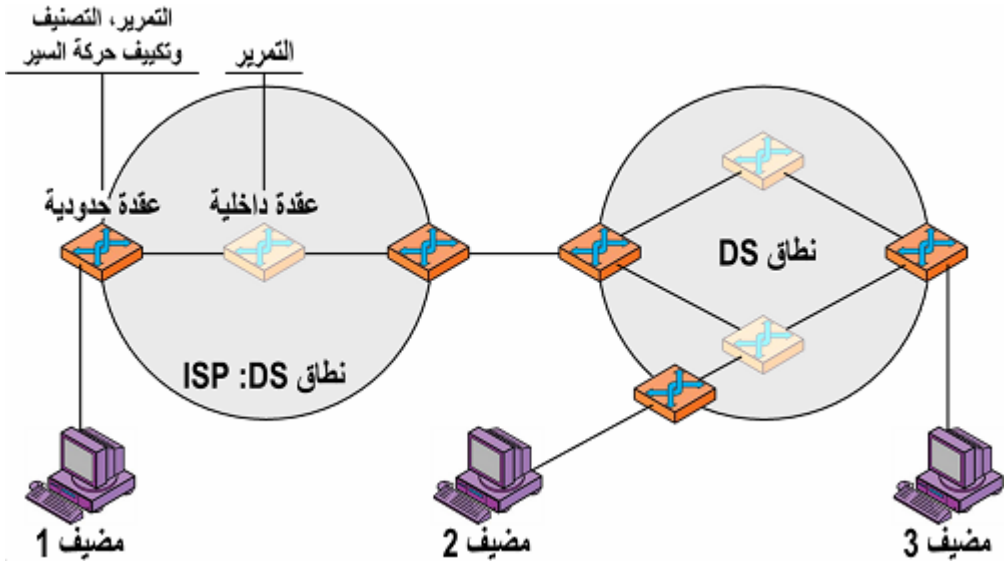
تتضمن العقد الحدودية آليات **تصنيف الرزم** وآليات **تكييف حركة السير**. تُعلم الرزم باستخدام بايت يحجز للخدمات المتمايزة في الرزمة (ثمانية **DS**). تتضمن آليات تكييف حركة السير

وظائف تحكم تنجز لإجبار تطبيق القواعد المحددة في اتفاقية تكييف حركة السير **TCA** ومنها: أخذ القياس، والتعليم، والتشكيل، والإسقاط.

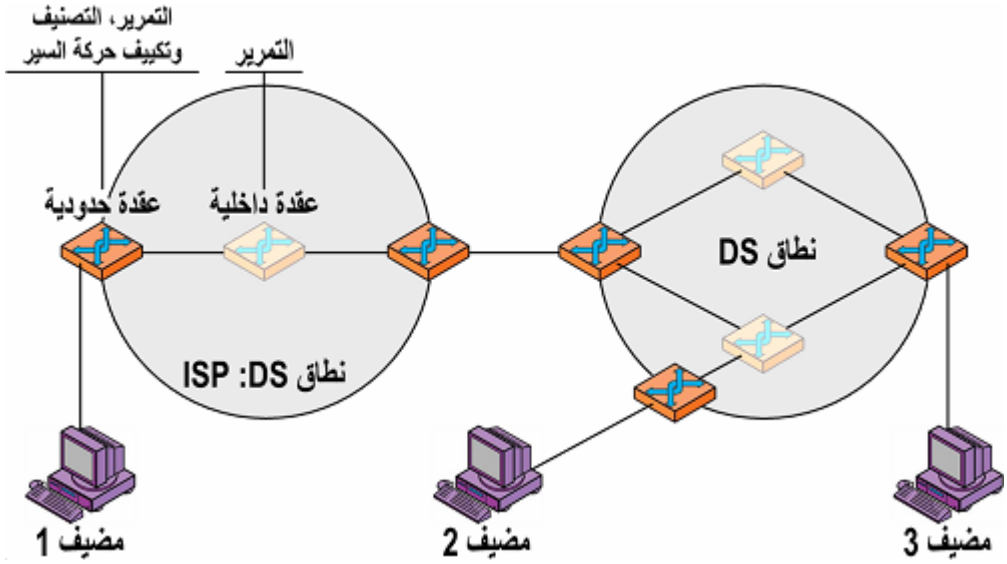


يجب على مزود الخدمة التحقق أن الزبون سيتلقى على الأقل جودة الخدمة المتفق عليها لكل صف رزمة. ولتحقيق جودة الخدمة هذه، يجب على مزود الخدمة أن ينظم سياسات **التمرير** الملائمة عند كل مسير (العقد الداخلية والحدودية) وعليه أيضاً قياس الأداء باستمرار لكل صف.

تنجز العقد الداخلية عادةً آليات بسيطة لمعالجة الرزم اعتماداً على قيم نقاط رماز **DS**. يتضمن هذا نظام أرتال لإعطاء معاملة تفضيلية اعتماداً على قيمة نقطة الرماز، وقواعد إسقاط الرزم لتحديد الرزم التي يجب أن تُرمى أولاً في حالات إشباع الصوان.



إذا أرسل الزبون الرزم إلى وجهتها ضمن نطاق الخدمات المتمايزة، فإن المتوقع من هذا النطاق أن يحقق الخدمة المتفق عليها. وإذا كانت الوجهة خارج نطاق الخدمات المتمايزة الخاص بالزبون، فإن هذا النطاق سيحاول إرسال الرزم عبر نطاقات أخرى، طالباً أكثر الخدمات ملاءمةً للخدمة المطلوبة.



[مرجع]

مصطلحات الخدمات المتمايزة:

- **مجموعة سلوك (Behavior Aggregate):**

مجموعة رزم بنفس نقطة رماز خدمات متمايزة DS تَعبر وصلة ما في اتجاه محدد.

- **مجموعة حركة سير (Traffic Aggregate):**

تدفق رزم مرتبط بخدمة محددة لمستخدم محدد.

- **مصَنف (Classifier):**

يختار رزماً اعتماداً على حقل DS (مصنف مجموعة سلوك BA) أو اعتماداً على عدة حقول ضمن ترويسة الرزمة (مصنف حقول متعددة MF).

- **عقدة DS حدودية (DS Boundary Node):**

عقدة DS تربط نطاق خدمات متمايزة بعقدة في نطاق آخر.

- **نقطة رماز DS (DS Codepoint):**

قيمة محددة من **6** بتات في الجزء **DSCP** من حقل **DS** الذي طوله **8** بتات في ترويسة **IP**.

- **نطاق DS (DS Domain):**

مجموعة متلاصقة من العقد (المترابطة) قادرة على تنفيذ الخدمات المتمايزة وتعمل مع مجموعة مشتركة من الخدمات تحدد السياسات وتُعرف السلوك على مستوى القفزة.

- **عقدة DS داخلية (DS Interior Node):**

عقدة **DS** غير حدودية.

- **عقدة DS (DS Node):**

عقدة تدعم الخدمات المتمايزة. وهي عادةً مسير. يمكن كذلك أن تكون نظام مضيف يوفر خدمات متمايزة لتطبيقات المضيف.

- **إسقاط (Dropping):**

إجرائية استبعاد الرزم اعتماداً على قواعد محددة. تسمى كذلك رسم السياسات (**Policing**).

- **تعليم (وضع علامة) (Marking):**

إعداد الحقل: نقطة رماز **DS** في رزمة ما. يمكن وضع علامة على الرزم عند إنشائها ويمكن إعادة وضع العلامة عليها بواسطة عقدة **DS** على المسار.

- **أخذ القياس (Metering):**

إجرائية قياس الخصائص الزمنية (مثل المعدل) لدفقة رزم اختارها المصنف. يمكن أن تؤثر الحالة الآنية لهذه الإجرائية في وظائف التعليم والإسقاط والتشكيل.

- **السلوك على مستوى القفزة PHB (Per-Hop Behavior):**

سلوك التمرير الملاحظ خارجياً والمطبق عند عقدة ما على مجموعة سلوك.

- **الاتفاقية على مستوى الخدمة SLA (Service Level Agreement):**

خدمة تعاقد بين زبون ومزود خدمة تحدد خدمات التمرير التي سيتلقاها الزبون.

- **تشكيل (Shaping):**

عملية تأخير الرزم ضمن دفقة رزم لجعل هذه الدفقة تتطابق مع وصف حركة السير المعرفة.

- **تكييف حركة السير (Traffic Conditioning):**

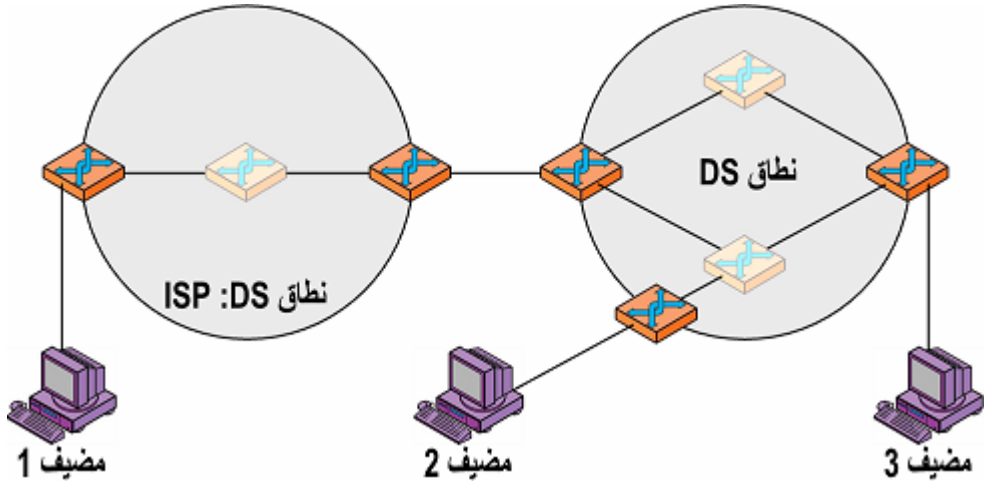
وظائف تحكم تنجز لإجبار تطبيق القواعد المحددة في **TCA** ومنها: أخذ القياس، والتعليم، والتشكيل، والإسقاط.

- **اتفاقية تكييف حركة السير TCA (Traffic Conditioning Agreement):**

اتفاقية تحدد قواعد التصنيف وتكييف حركة السير اللازم تطبيقها على رزم اختارها المصنف.

مبدأ عمل الخدمات المتمايزة

تعمل الخدمات المتكاملة بطريقة معتمدة على التدفق (**flow-based**) فهي تعالج كل تدفق على حدة وتحجز الموارد المطلوبة من أجل كل تدفق. يعتمد مبدأ الخدمات المتمايزة على تصنيف التدفقات وفق صفوف محددة سلفاً. وبهذا تعمل الخدمات المتمايزة بطريقة معتمدة على الصف (**class-based**) فهي تعالج كل صف على حدة وتحجز الموارد المطلوبة من أجل كل صف (مجموعة من التدفقات التي تتطلب نفس السوية من جودة الخدمة).

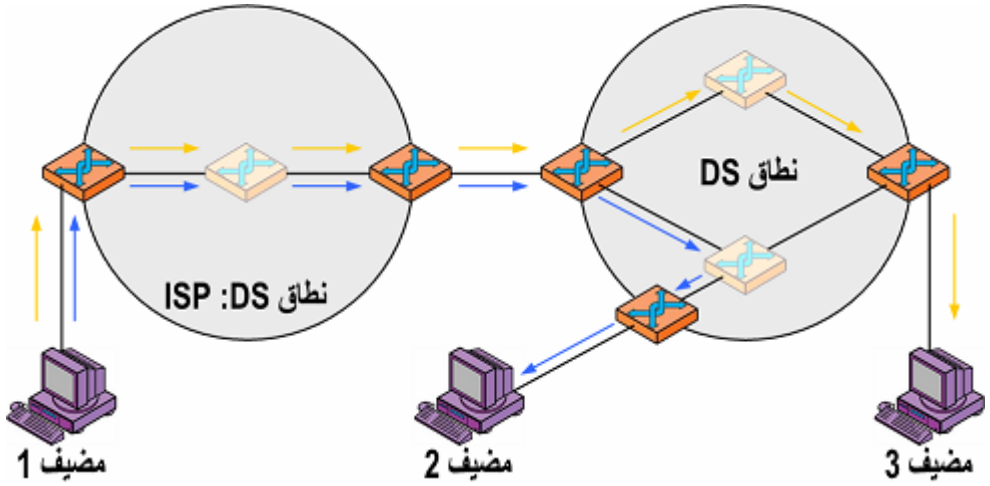


تقوم العقد الحدودية بتصنيف الرزم وفقاً لقيمة نقطة رماز **DS** (في ثمانية **DS**) وبتطبيق آليات تكييف حركة السير المعرفة وفقاً لاتفاقية مستوى الخدمة **SLA** المبرمة مع الزبون. ثم تقوم العقدة بتمرير الرزم إلى عقدة داخلية التي بدورها تمرر الرزم إلى عقدة أخرى، وهكذا تمرر الرزم من عقدة إلى عقدة أو من قفزة إلى قفزة على مسارها نحو الوجهة. تعتمد عملية التمرير في كل قفزة على السلوك المعتمد لدى العقدة لمعالجة كل صف من الصفوف المعرفة ضمن نطاق **DS**. تسمى عملية التمرير هذه **بالسلوك على مستوى القفزة PHB.**

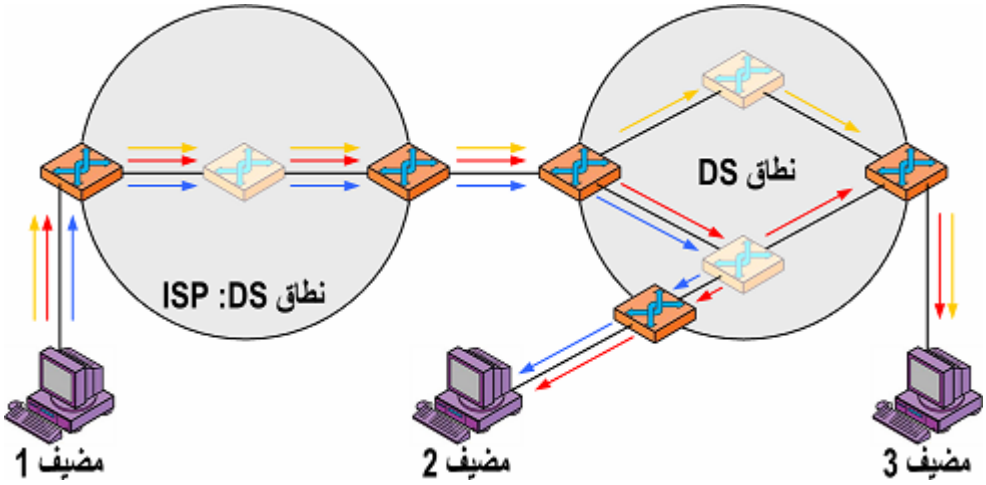
بغية توضيح هذا الاختلاف بين الخدمات المتكاملة والخدمات المتمايزة، لنأخذ مثالاً هو تطبيق الهتف على الإنترنت (**Internet telephony**) لنشاهد ما يجري من أجل إقامة اتصالين هاتفيين

مصدرهما المضيف 1، الأول لمحادثة مع المضيف 2 والثاني لمحادثة مع المضيف 3، في كلتا الحالتين.

تقوم شبكة تعمل وفق الخدمات المتكاملة **ISA** بقبول تدفقين واحد لكل محادثة وتحجز موارد مختلفة من أجل كل منهما على طول المسار الذي جرى اختياره لكل محادثة في الشبكة. يجري هذا عن طريق بروتوكول **RSVP** عند استبداء المحادثة وتخزن الشبكة معلومات عن حالة كلا التدفقين.



تقوم شبكة تعمل وفق الخدمات المتمايزة **DS** بقبول استخدام كلا المحادثتين للصف المناسب لتطبيق الهتف وليكن الصف **A**. هناك مجموعة من الموارد المحجوزة سلفاً للصف **A** في الشبكة يمكن لهاتين المحادثتين التشارك بهما مع تدفقات أخرى من نفس الصف على الشبكة. تختار الشبكة مساري المحادثة بحيث تستفيد ما أمكن من المسارات المتاحة سلفاً للصف **A**. وعلى كل مسير في الشبكة معالجة وتمرير الرزمة ذات الصف **A** وفقاً لقواعد التمرير المرتبطة بجودة الخدمة لهذا الصف.



اتفاقية مستوى الخدمة

تَسرد مسودةُ وثيقةِ إطار عمل **DS** موسطاتِ الأداء المفصلة التالية التي يمكن تضمينها في اتفاقية مستوى الخدمة **SLA**:

- موسطات أداء خدمة مفصلة مثل معدل التدفق المتوقع، احتمال إسقاط الرزم، التأخير.
- قيود على نقاط الدخول والخروج التي تقدم الخدمة عندها مشيرة إلى نطاق الخدمة.
- وصف حركة السير التي يجب الالتزام بها للخدمة المطلوب تقديمها مثل موسطات حاوية العلاّم.
- التخلص من حركة السير الزائدة عن الوصف المحدد.

لننظر في أمثلة لطلبات مستويات خدمة:

1. حركة السير المعروضة على مستوى الخدمة **A** سوف تُسلم بتلبث (**latency**) قليل.
2. حركة السير المعروضة على مستوى الخدمة **B** سوف تُسلم مع ضياع قليل.
3. **90%** من حركة السير المتقيدة بالمواصفات المسلمة على مستوى الخدمة **C** ستعاني من تلبث أقل من **50** ملّي ثانية.
4. **95%** من حركة السير المتقيدة بالمواصفات المسلمة على مستوى الخدمة **D** سوف تُسلم.
5. حركة السير المعروضة على مستوى الخدمة **E** سيخصص لها ضعف عرض الحزمة المخصص لتوصيل حركة السير على مستوى الخدمة **F**.
6. حركة السير بأسبقية إسقاطٍ **X** احتمالُ توصيلها أعلى من حركة السير بأسبقية إسقاط **Y**.

المثالان الأولاّن كيفيان (غير كميين) لهما معنى فقط بالمقارنة بحركة سير أخرى. مثل حركة السير المغتفلة التي تحصل على خدمة بأفضل جهد. المثالان اللاذان يليهما كميان ويقدمان ضماناً

محدداً يمكن التحقق منه بإجراء قياس على الخدمة الفعلية ودون الحاجة إلى المقارنة بخدمات أخرى مقدمة في نفس الوقت. أما المثالان الأخيران فهما كميان وكيفيان في الوقت ذاته.

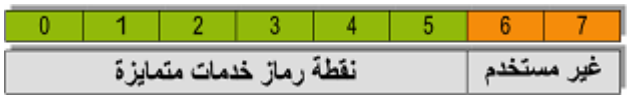
2. ثُمانيّة DS

يؤشر على الرزم لتعالج بثُمانية **DS** الموجودة في حقل نوع الخدمة في ترويسة **IPv4** أو حقل صف حركة السير في ترويسة **IPv6**.

تُعرف **RFC 2474** ثُمانية **DS** بأن لها المصاغة التالية:

- **6** بتات في أقصى اليسار تعرف نقطة رماز **DS** (**DS codepoint**)،
- وبتان في أقصى اليمين غير مستخدمين.

نقطة رماز **DS** هي لصيقة **DS** لتصنيف الرزم في الخدمات المتمايزة.



يمكن تعريف **64** من صفوف حركة السير باستخدام نقطة رماز **DS** بطول **6** بتات. تُقسم هذه الصفوف إلى ثلاث مجموعات كما يلي:

- نقاط رماز من الشكل **xxxx11** محجوزة للتجريب أو الاستخدام المحلي.
- نقاط رماز من الشكل **xxxx01** محجوزة كذلك للتجريب أو الاستخدام المحلي، لكن يمكن استخدامها لمقايس مستقبلية وفق الحاجة.
- نقاط رماز من الشكل **xxxxx0**، حيث **x** هي **0** أو **1**، محجوزة للإسنادات القياسية وهي:
  - نقطة الرماز **000000** لصف الرزم المغتفل. الصف المغتفل هو سلوك التمرير بأفضل جهد في المسيرات الموجودة. تُمرر هذه الرزم بالترتيب الذي تُستقبل به حالما تصبح سعة الوصلة متاحة. إذا كان هناك رزم أخرى بأولوية أعلى مطلوب إرسالها، فإنها تعطى أفضلية على الرزم المغتفلة بأفضل جهد.
  - نقطة الرماز **101110** لصف الرزم السريعة. وهو سلوك التمرير السريع **EF PHB** الذي سنأتي إلى تعريفه في فقرة لاحقة.
  - الأرمزة من الشكل **xxx000** محجوزة لتوفير تَوافُق تراجعي مع خدمة الأسبقية في **IPv4**.

لتوضيح التَوافُق التراجعي مع خدمة الأسبقية في **IPv4**، هناك حاجة إلى توضيح خدمة الأسبقية (**precedence**) في **IPv4**.

يتضمن حقل نوع الخدمة (**TOS**) في **IPv4** حقلين فرعيين: حقل فرعي بأسبقية طولها **3** بتات، وحقل فرعي بنوع خدمة (**TOS**) بطول **4** بتات، ويؤدي هذان الحقلان الفرعيان وظائف متَتَامة.

يقدم الحقل الفرعي (**TOS**) إرشاداً لكيان **IP** (في المصدر أو في المسير) يتصل باختيار القفزة التالية لبرقية المعطيات. ويوفر الحقل الفرعي للأسبقية إرشاداً حول التحصيص النسبي لموارد المسير لبرقية المعطيات هذه.

يعين حقل الأسبقية للإشارة إلى درجة الإلحاح أو الأولوية المرتبطة ببرقية المعطيات هذه. إذا كان المسير يدعم حقل الأسبقية فإن هناك ثلاث طرائق للاستجابة:

- **اختيار المسار:** يمكن اختيار مسار معين إذا وجد المسير أن رتل الانتظار لهذا المسير صغير أو كانت القفزة التالية على هذا المسار تدعم أولوية أو أسبقية الشبكة (مثلاً، حلقة العلاّم تَدعم الأولوية).
- **خدمة الشبكة:** إذا كانت الشبكة في القفزة التالية تدعم الأسبقية، فحينئذٍ تُستدعى هذه الخدمة.
- **نظام الأرتال:** يمكن للمسير أن يستخدم الأسبقية للتأثير في كيفية معالجة الأرتال. فمثلاً، يمكن للمسير أن يعطي معالجة تفضيلية في الأرتال لبرقيات المعطيات ذات الأسبقية العالية.

[مرجع]

توفر **RFC 1812** (متطلبات مسيرات الإصدار الرابع من **IP**) مجموعة من التوصيات لنظام الأرتال يمكن تقسيمها إلى زمرتين:

1. **خدمة الرتل:**

أ. يجب على المسيرات أن تنجز خدمة ترتيب الأرتال وفق الأسبقية. تعني خدمة ترتيب الأرتال وفق الأسبقية أنه عندما تختار رزمة لإرسالها على وصلة (منطقية)، فإن الرزمة ذات الأسبقية العليا التي كانت موضوعة في رتل انتظار لهذه الوصلة هي الرزمة التي أُرسلت.

ب. يمكن لأي مسير أن ينجز إجراءات أخرى لإدارة معدل التدفق معتمدة على السياسة، ينتج عنها ما يخالف الترتيب الصارم للأسبقية، إلا أن هذه المسيرات يجب تعريفها بحيث تُوقِف هذه الإجراءات (بكلام آخر، يجب استخدام الترتيب الصارم).

2. التحكم في الاختناق:

عندما يتسلم المسير رزمة تفوق سعة تخزينه فإن عليه إما استبعادها أو استبعاد رزمة أو مجموعة رزم أخرى.

أ. يمكن للمسير أن يستبعد الرزمة التي استقبلها توّاً، هذه أبسط طريقةٍ، لكنها ليست الفُضلى.

ب. في الحالة المثالية، على المسير أن يختار الرزمة من أسوأ الجلسات كثرةَ استخدامٍ للوصلة، على اعتبار أن سياسة جودة الخدمة المتبعة تسمح بذلك. هناك سياسة منصوح بها في بيئة برقيات المعطيات التي تستخدم أرتال **FIFO** (الداخل أولاً يخرج أولاً) وهي أن تُرمى رزم تُختار عشوائياً من الرتل. هناك خوارزمية مكافئة في المسيرات التي تَستَخدم أرتالاً عادلة هي استبعاد رزم من الرتل الأطول. يمكن للمسير استخدام هذه الخوارزميات ليعين الرزمة التي ستُرمى.

جـ. إذا كانت خدمة ترتيب الأرتال وفق الأسبقية منجزة ومفعلة، فإن على المسير عدم استبعاد رزمة ذات أسبقية **IP** أعلى من رزمة لم تُرم.

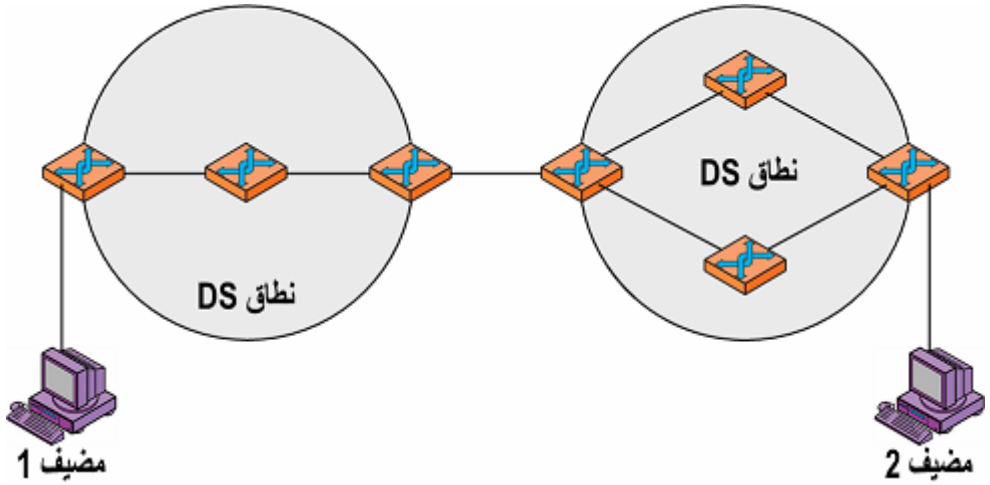
د. يمكن للمسير أن يحمي الرزم ذات ترويسات **IP** التي تطالب بنوع خدمة بموثوقية عظمى، إلا إذا كان عمل هذا سيخالف القاعدة السابقة.

هـ. يمكن للمسير أن يحمي رزم **IP** المجزأة، على أساس النظرية القائلة بأن إسقاط جزء من برقية معطيات يمكن أن يؤدي إلى زيادة الاختناق، لأنه يؤدي إلى قيام المصدر بإعادة إرسال كل أجزاء برقية المعطيات.

و. لمنع الإخلال بوظائف التسيير أو بوظائف الإدارة يمكن للمسير أن يحمي من الاستبعاد الرزم المستخدمة للتحكم في التسيير، أو التحكم في الوصلة، أو لإدارة الشبكة. يمكن للمسيرات المتخصصة (المسيرات التي ليست أيضاً مضيفات عامة الاستخدام أو مخدمات طرفيات، الخ...) أن تقارب هذه القاعدة عن طريق حماية الرزم التي مصدرها أو وجهتها هو المسير نفسه.

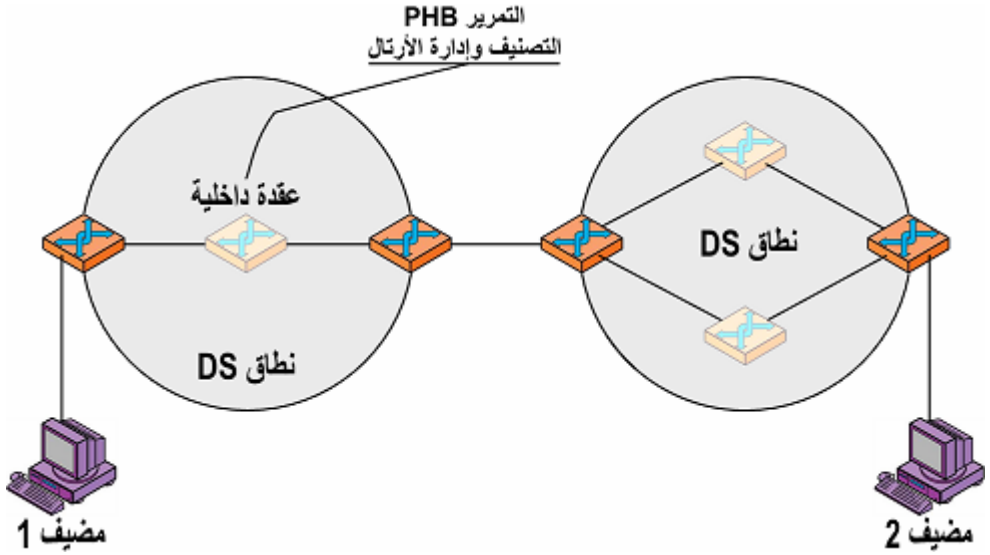
3. تشكيل الخدمات المتمايزة وتشغيلها

يوضح الشكل نوع التشكيلة المقترحة في وثائق الخدمات المتمايزة. يتألف نطاق الخدمات المتمايزة من مجموعة مسيرات متلاصقة؛ بمعنى أنه يمكن الوصول من مسير في النطاق إلى مسير آخر في النطاق عبر مسار لا يتضمن أي مسير خارج النطاق. يكون تفسير نقاط الرماز موحداً ضمن نطاق معين، بحيث تقدم خدمة موحدة ومتناسقة.

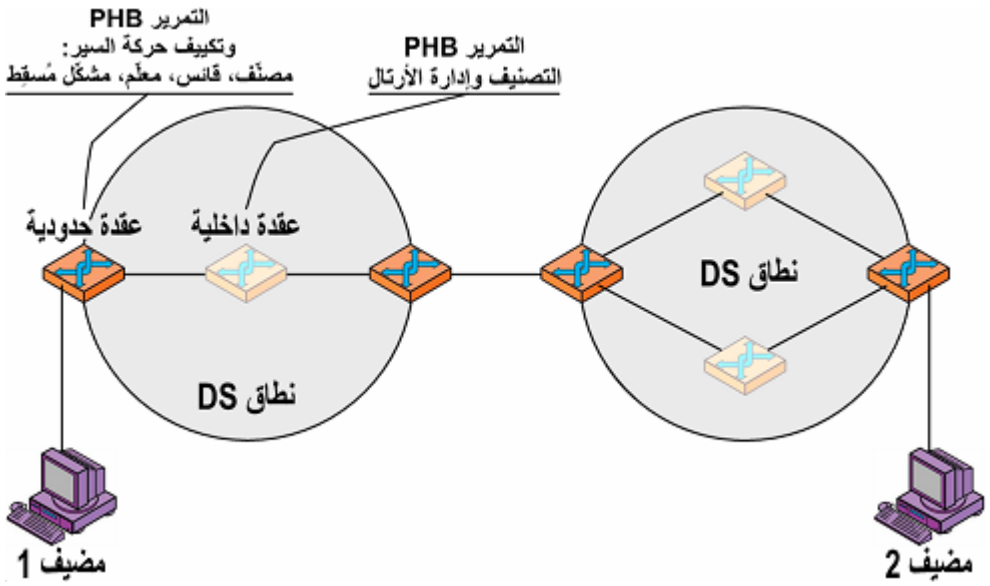


تكون المسيرات في نطاق خدمات متمايزة عقَداً حدودية أو عقَداً داخلية. تنجز العقد الداخلية عادةً آليات بسيطة لمعالجة الرزم اعتماداً على قيم نقاط رماز **DS**. يتضمن هذا نظام أرتال لإعطاء معاملة تفضيلية اعتماداً على قيمة نقطة الرماز، وقواعد إسقاط الرزم لتحديد الرزم التي يجب أن تُرمى أولاً في حالات إشباع الصوان.

تشير مواصفات الخدمات المتمايزة إلى معالجة التمرير التي يوفرها المسير بالسلوك على مستوى القفزة **PHB**. يجب أن يتوفر **PHB** عند جميع المسيرات وعادةً ما يكون **PHB** هو الجزء الوحيد من الخدمات المتمايزة المنجز في المسيرات الداخلية.



تتضمن العقد الحدودية آليات **PHB** لكنها تتطلب أيضاً آليات تكييف لحركة السير متطورة أكثر وذلك لتوفير الخدمة المرغوبة. وعلى هذا، فإن المسيرات الداخلية تمتلك وظيفية أصغرية وعبئاً (حِملاً مضافاً) أصغرياً لتوفير الخدمات المتمايزة، على حين يقع معظم التعقيد في العقد الحدودية. يمكن أيضاً توفير وظيفة العقد الحدودية بوساطة نظام مضيف مربوط إلى النطاق نيابةً عن التطبيقات الموجودة على هذا النظام المضيف.



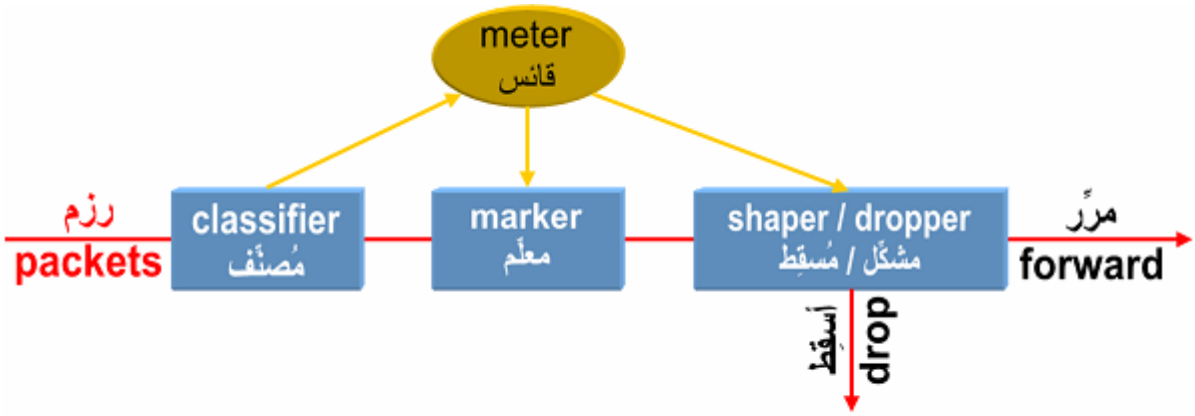
4. تكييف حركة السير

تتألف وظيفة تكييف حركة السير من خمسة عناصر:

- **مصنف:** يقسم الرزم إلى صفوف مختلفة. هذا هو أساس توفير الخدمات المتمايزة. يمكن للمصنف أن يقسم حركة السير اعتماداً على نقطة رماز DS (مصنف مجموعة سلوك) أو اعتماداً على عدة حقول ضمن ترويسة الرزمة أو حتى على حِمل الرزمة (مصنف حقول متعدد).
- **قائس (آخذ القياس):** يقيس مدى توافق حركة السير المعطاة مع وصف محدد. يحدد هذا القائس كون صف دفقِ رزمٍ ما واقعاً ضمن مستوى الخدمة المضمونة لهذا الصف أو يتجاوزه.
- **معلم:** يقوم بإعادة تعليم الرزم بنقاط رماز مختلفة حسب الحاجة. يحدث هذا للرزم التي تتجاوز الوصف المحدد؛ فعلى سبيل المثال إذا كان معدل تدفق معطى مضموناً لصف خدمةٍ معين فإن أي رزم في هذا الصف تتجاوز معدل التدفق هذا، في مجالٍ زمني ما معرضة لإعادة التعليم للمعالجة بأفضل جهد. يمكن أيضاً أن تكون إعادة التعليم مطلوبة على الحدود بين نطاقي خدمات متمايزة. فمثلاً، إذا كان صف حركة سير يمتلك أعلى أولوية ممكنة وكانت هذه القيمة 3 في نطاق و 7 في النطاق التالي، فإن الرزم ذات الأولوية 3 العابرة للنطاق الأول يعاد تعليمها لتصبح أولويتها 7 عندما تدخل النطاق الثاني.
- **مشكل:** يقوم بتأخير الرزم حسب الضرورة بحيث لا تتجاوز دفقة رزمة من صف معين معدل حركة السير المحدد في وصف ذاك الصف.
- **مسقِط**: يقوم بإسقاط (استبعاد) الرزم عندما يتجاوز معدل الرزم لصف معين القيمةَ المحددة في وصف ذاك الصف.

بعد تصنيف تدفق ما، يقاس استهلاك موارده:

- قوم وظيفةُ أخذِ القياس بقياس حجم الرزم خلال مجال زمني معين لتحديد توافق التدفق مع اتفاقية حركة السير. إذا كان المضيف رشقياً فإن معدل معطيات أو معدل رزم بسيطين قد لا يكفيان لحيازة مواصفات حركة السير المرغوبة. إن طريقة حاوية العلاّم الموضحة سابقاً هي مثال على طريقة لتعريف وصف حركة سير يأخذ بعين الاعتبار معدل الرزم ومعدل الرشقات.



مكيِّف حركة سير الخدمات المتمايزة

بعد تصنيف تدفق ما، يقاس استهلاك موارده:

- إذا تجاوز تدفق حركة سير وصفَه المحدد فإن هناك العديد من الطرق الممكن اتباعها. يمكن إعادة تعليم الرزم الزائدة على الوصف المحدد لِمعالجتها بجودة أقل، ثم يسمح لها بالعبور إلى نطاق الخدمات المتمايزة. يمكن لمشَكل حركة السير أن يمتص رشقة من الرزم في الصوان ومن ثم يرسلها في مدة زمنية أطول. يمكن للمسقِط أن يستبعد بعض الرزم إذا كان الصوان ممتلئاً.

5. السلوك على مستوى القفزة

هناك حاجة إلى تعريف أنواع محددة من **PHBs** باعتبارها جزءاً من الجهود المبذولة لتقييس الخدمات المتمايزة. حالياً صدر مقترح سلوكين على مستوى القفزة **PHB** هما:

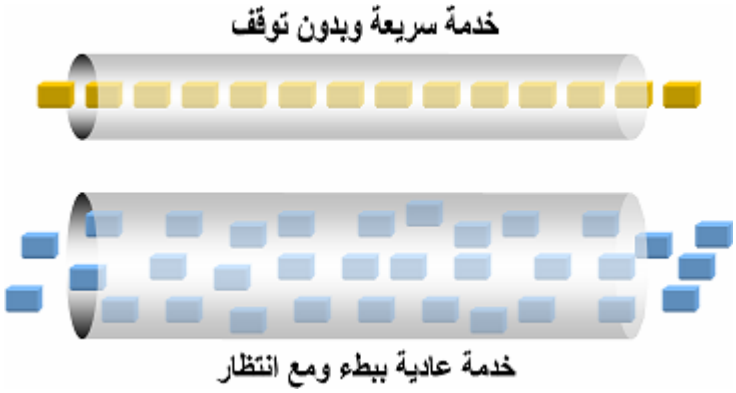
- سلوك التمرير السريع **Expedited Forwarding PHB** (**RFC 3246**)،
- وسلوك التمرير المضمون **Assured Forwarding PHB** (**RFC 2597**).

سلوك التمرير السريع

يعرف سلوك التمرير السريع **EF PHB** بأنه آلية يمكن استخدامها لدعم خدمة تشجيعية (**premium service**). الخدمة التشجيعية هي خدمة ذات ضياع قليل وتأخير قليل ورجرجة قليلة وعرض حزمة مضمون وخدمة من طرف إلى طرف عبر نطاقات خدمات متمايزة. من حيث الجوهر، تبدو الخدماتِ التشجيعية للنقاط الطرفية كارتباط من نقطة إلى نقطة أو كخط مخصص.

من الصعب تحقيق الخدمة التشجيعية في شبكة بينية أو شبكة ابتدال رزم. فبطبيعتها، تتضمن الشبكة البينية أرتالاً عند كل عقدة أو مسير حيث تُخزن الرزم في أصونة بانتظار استخدام وصلة إخراج مشتركة. فسلوك نظام الأرتال هذا في كل عقدة هو الذي يؤدي إلى الضياع والتأخير والرجرجة. ولهذا يجب الاعتناء بمعالجة حركة السير وفق الخدمة التشجيعية لضمان أن آثار الأرتال لا يسبب فقداناً أو تأخيراً أو رجرجةً فوق عتبة معينة.

تبدو الخدمة التشجيعية كخدمة سريعة مقارنة بالخدمة التقليدية ويبدو الأمر بالنسبة للرزم السريعة وكأن الشبكة غير محملة حتى وإن كانت حقيقةً محملة.



تشير **RFC 3246** إلى أن أي خدمة تشجيعية تتكون من جزأين:

1. تشكيل العقَد بحيث يكون لمجموعة حركة سير معدل مغادرة أصغري معرف جيداً. (معرف جيداً يعني أنه مستقل عن الحالة الديناميكية للعقدة، وبوجهٍ خاص، أنه مستقل عن كثافة حركة السير الأخرى في العقدة).
2. تكييف المجموعة (بوساطة الضبط وفق السياسة المرسومة والتشكيل) بحيث يكون معدل الوصول إلى أي عقدة هو دائماً أقل من معدل المغادرة الأصغري المعرف عند هذه العقدة.

يوفر سلوك التمرير السريع أول الإمكانَين المسرودين تواً، على حين يوفّر الإمكان الثاني المكيفاتُ الحدودية للشبكة:

- تتحكم العقد الحدودية في مجموعة حركة السير للحد من مميزاتها (المعدل، معدل الرشقات) إلى مستوى معرف سلفاً.
- يجب على العقد الداخلية أن تعالج حركة السير القادمة بطريقة لا تؤدي إلى ظهور آثار استخدام الأرتال. بعبارات عامة، المتطلبات على العقد الداخلية هي أن معدل الوصول

الأعظمي للمجموعة يجب أن يكون أقل من معدل المغادرة الأصغري للمجموعة.

لا تفرض **RFC 3246** أي سياسة أرتال محددة عند العقد الداخلية لتحقيق سلوك التمرير السريع. تُشير **RFC** إلى أن أسلوب أولويات بسيط يمكن أن يحقق التأثير المرغوب مع إعطاء حركة سير التمرير السريع أولوية مطلقة على أي حركة سير أخرى. ما دامت حركة السير نفسها لا تُغْرق العقدة الداخلية فإن هذا الأسلوب سيؤدي إلى تأخير مقبول في نظام الأرتال لسلوك التمرير السريع. ومع ذلك هناك مخاطرة في استخدام أسلوب أولوية بسيط، هي أنه يمكن أن يعطل تدفقات الرزم في حركة سير **PHB** أخرى. ولذا، فإن هناك مبرراً لسياسة أرتال أكثر تطوراً.

سلوك التمرير المضمون

إن سلوك التمرير المضمون **AF PHB** مصمم لتقديم خدمة متفوقة على خدمة أفضل جهد، ولكنها لا تتطلب حجز الموارد ضمن الشبكة البينية، ولا تتطلب استخدام تفريق تفصيلي بين التدفقات القادمة من مستخدمين مختلفين.

يشار إلى **AF PHB** بالتحصيص الصريح، فما هي العناصر الرئيسية لأسلوب التحصيص الصريح:

1. يعرض عدد من صفوف الخدمة على المستخدمين لاختيار واحد لحركة السير الخاصة بهم. كل صف يحدد وصفاً مختلفاً لحركة السير بدلالة معدل المعطيات المجمعة ومعدل الرشقات.
2. تراقَب حركة السير الخاصة بمستخدم من صف معين في عقدة حدودية. تُعلم كل رزمة في تدفق حركة سير على أنها **in** أو **out** حسب كونها تتجاوز وصفَ حركة السير أو لا تتجاوزه.
3. لا يوجد فصل ضمن الشبكة بين حركة السير القادمة من مستخدمين مختلفين أو حتى حركة السير التابعة لصفوف مختلفة. بدلاً من ذلك، تُعامل كل حركات السير على أنها مجمع واحد من الرزم مع تمييز وحيد وهو هل الرزمة معلمة **in** أو **out**.
4. عندما يحدث اختناق، فإن العقد الداخلية تنجز مخطط إسقاط تُسقَط فيه الرزم المعلمة **out** قبل إسقاط أي رزمة من النوع **in**.

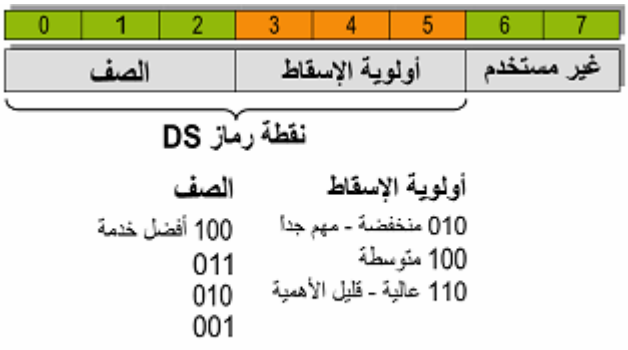
يلاحظ المستخدمون المختلفون مستويات مختلفة من الخدمة، إذ يكون لديهم كميات مختلفة من الرزم **in** في أرتال الخدمة.

إن ميزة هذه الطريقة هي بساطتها، فقليل من العمل مطلوب في العقد الداخلية. ثم إن تعليم حركة

السير في العقد الحدودية اعتماداً على وصف حركة السير يوفر مستويات مختلفة من الخدمة للصفوف المختلفة.

إن تعريف **AF PHB** في**RFC 2597** يوسع الطريقة السابقة كما يلي:

1. عرفت أربعة صفوف **AF** مما يسمح بتعريف أربعة أوصاف حركة سير مختلفة. يمكن للمستخدم اختيار واحد أو أكثر من هذه الصفوف لتحقيق متطلباته.
2. يعلم الزبون أو مزود الخدمة الرزم ضمن كل صف بواحدة من ثلاث قيم لأسبقيات الإسقاط. في حال حدوث اختناق، فإن قيمة أسبقية الإسقاط تحدد الأهمية النسبية للرزمة ضمن صف التمرير المضمون **AF**.
3. تحاول عقدة الخدمات المتمايزة المزدحمة حماية الرزم ذات أسبقيات الإسقاط المنخفضة من الضياع، عن طريق استبعاد الرزم ذات قيم إسقاط عالية.



نقاط الرماز المنصوح بها للتمرير المضمون AF PHB في الحقل DS

يبقى تنجيز هذه الطريقة أسهل بكثير من أي طريقة من طرق حجز الموارد، وهي في ذات الوقت توفر مرونة كبيرة:

- تُعامل صفوف حركة السير الأربعة المختلفة، كل على حدة ضمن عقد الخدمات المتمايزة الداخلية، مع تخصيص كميات مختلفة من الموارد (حجم صوان، معدل معطيات) للصفوف الأربعة.
- تُعالج الرزم ضمن كل صف حسب قيمة أسبقية الإسقاط.

وهكذا، كما تشير **RFC 2597**، فإن مستوى التمرير المضمون لرزمة **IP** يعتمد على:

- كمية موارد التمرير التي حصصت للصف**AF** الذي تنتمي إليه الرزمة.
- الحِمل الحالي للصف **AF** وأيضاً ضمن الصف في حالة الاختناق.
- أسبقية إسقاط الرزمة.

6. مميزات الخدمات المتمايزة

يساهم العديد من المميزات الأساسية للخدمات المتمايزة في فعاليتها وفي سهولة نشرها على الشبكة:

- تُصنف رزم **IP** بحيث يتلقّى كل صفٍ جودةَ خدمة مختلفة باستخدام بايت نوع الخدمة (**Type of Service**) في **IPv4** أو بايت صف حركة السير (**Traffic Class**) في **IPv6**. وعلى هذا ليس هناك حاجة لأي تغييرات في **IP**.
- تُنشأ اتفاقية مستوى خدمة بين مزود الخدمة (نطاق الشبكة البينية) والزبون قبل الشروع باستخدام الخدمات المتمايزة. تُجنب هذه العملية الحاجة إلى دمج آليات الخدمات المتمايزة في التطبيقات، وبهذا لا تحتاج التطبيقات الموجودة إلى أي تعديل لجعلها تستخدم الخدمات المتمايزة.
- توفر الخدمات المتمايزة آليات تجميع مضمنة. تتعامل الخدمة الشبكية مع كل عمليات حركة السير ذات نفس ثمانية **DS** معاملة متعادلة. فعلى سبيل المثال، تُعالَج الارتباطات الصوتية المتعددة مجموعةً، لا كلّ وصلة على حِدة. يوفر هذا إمكان توسيع جيداً للشبكات الكبيرة وأحمال حركة السير العالية.
- يجري تنجيز الخدمات المتمايزة في المسيرات المنفردة بوضع الرزم في أرتال ثُم تمريرها اعتماداً على ثُمانية **DS**. تتعامل المسيرات مع كل رزمة على حِدة ولا حاجة إلى تخزين معلومات الحالة الخاصة بالتدفق الذي تتبع له هذه الرزمة.

تعتبر الخدمات المتمايزة اليوم أوسع آليةِ جودةِ خدمةٍ قبولاً في شبكات المؤسسات.

الفصل الثامن: البث المتعدد الوجهات

1. لماذا الحاجة إلى البث المتعدد الوجهات؟

تطبيقات البث المتعدد الوجهات

يشير عنوان IP في الحالة النموذجية إلى مضيف منفرد في شبكة محددة. يقبل بروتوكول IPأيضاً عناوين تشير إلى مجموعة مضيفات في شبكة واحدة أو أكثر. هذه العناوين تسمى **عناوين البث المتعدد الوجهات**، وتسمى عملية إرسال رزمة من مصدر واحد إلى عناصر مجموعةٍ بعملية **البث المتعدد الوجهات (multicasting)**.

هناك العديد من التطبيقات العملية للبث المتعدد الوجهات، منها على سبيل المثال:

- **الأوساط المتعددة:** يقوم العديد من المستخدمين بالتحول إلى الإرسال الصوتي أو المرئي من محطة مصدرية متعددة الأوساط.
- **الائتمار من بعد:** تشكل مجموعة من محطات العمل مجموعةَ بثّ متعدد الوجهات بحيث أن أي إرسال من أي عضو يستقبل من جميع عناصر المجموعة الآخرين.
- **قواعد المعطيات:** يجري تحديث جميع النسخ من ملف مكرر أو قاعدة معطيات مكررة ما في وقت واحد.
- **الحساب الموزع:** تُرسل النتائج الوسيطة إلى جميع المشاركين.
- **مجموعة عمل الزمن الحقيقي:** يتم تبادل الملفات والبيانيات والرسائل بين أعضاء مجموعة نشيطة في الزمن الحقيقي.

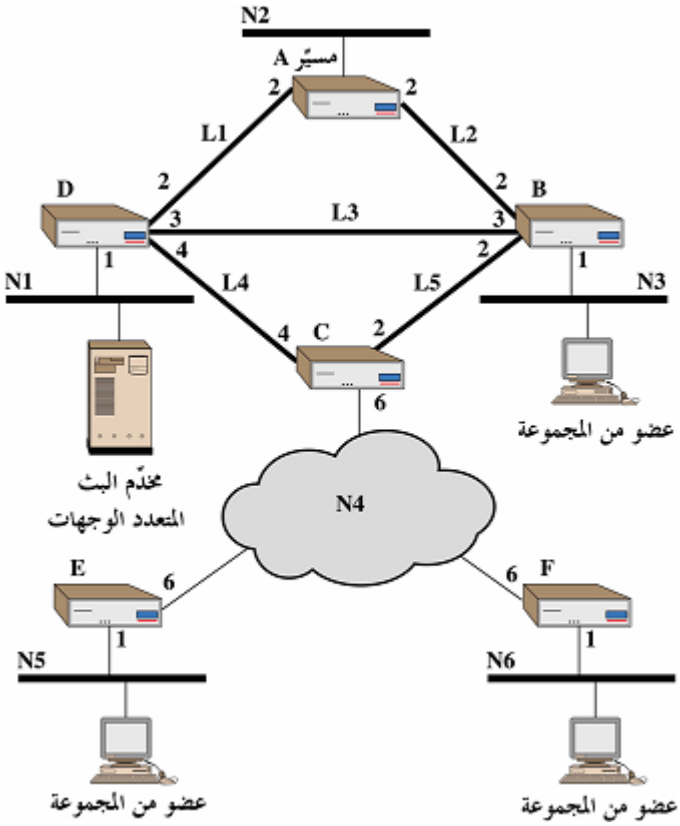
مفهوم البث المتعدد الوجهات

يعتَبر إنجاز البث المتعدد الوجهات ضمن مقطع من شبكةٍ محليةٍ عمليةً سهلة. تتضمن بروتوكولات الشبكات المحلية ترتيبات لعناوين البث المتعدد الوجهات على مستوى **MAC**. تُرسل الرزم ذات عنوان بث متعدد الوجهات على مقطع من شبكة محلية. وتقوم المحطات الأعضاء في مجموعة البث المتعدد الوجهات الموافقة بقبول هذه الرزمة بعد أن تتعرف عنوان البث المتعدد الوجهات.

في هذه الحالة ترسل نسخة واحدة فقط من الرزمة.

يأتي نجاح هذه التقنية من طبيعة البث على شبكة محلية، التي تتلخص في أن الإرسال من أية محطة تتلقاه جميع المحطات الأخرى في الشبكة المحلية.

أما في حالة الشبكات البينية، فإنجاز البث المتعدد الوجهات مهمة أكثر صعوبة. نلاحظ في التشكيلة البينية التالية مجموعة من الشبكات المحلية المترابطة بواسطة مسيرات. ترتبط المسيرات فيما بينها بواسطة وصلات عالية السرعة أو شبكة واسعة المدى (الشبكة **N4**). يرتبط بكل وصلة أو كل شبكة تكلفة معينة لكل اتجاه موضحة بالرقم الظاهر على مخرج الوصلة أو الشبكة.



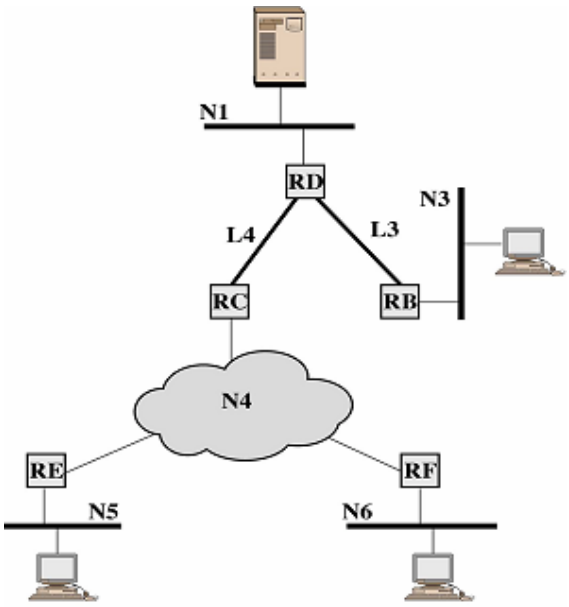
بافتراض وجود حاسوب مخدم للبث المتعدد الوجهات على الشبكة **N1** يقوم بإرسال رزم إلى عناوين بث متعدد الوجهات تمثل المحطات المشار إليها على الشبكات**N3**، **N5**، **N6**، فإذا افترضنا أن المخدم يجهل مواقع أعضاء مجموعة البث المتعدد الوجهات، تكون الطريقة الوحيدة في هذه الحالة لضمان وصول الرزمة إلى جميع أعضاء المجموعة هي **بث شامل (broadcast)** أي إرسال نسخة من كل رزمة إلى كل شبكة من التشكيلة على المسار الأقل تكلفة لكل شبكة. وهذا يعني إرسال **13** نسخة للرزمة.

وإذا افترضنا أن النظام المصدري يعلم موقع كل عضو من مجموعة البث المتعدد الوجهات، بكلام آخر يمتلك المصدر جدولاً للمقابلة بين عناوين البث المتعدد الوجهات ولائحة الشبكات الحاوية لأعضاء من تلك المجموعة. في هذه الحالة لا يحتاج المصدر إلا إلى إرسال الرزم إلى الشبكات الحاوية على أعضاء وتسمى هذه الإستراتيجية **بالبث الوحيد الوجهة المتعدد (multiple unicast)**. ويكون عدد الرزم اللازم إرساله في هذه الحالة هو **11** رزمة.

كلتا الإستراتيجيتين السابقتين، طريقة البث وطريقة البث الوحيد الوجهة المتعدد غير فعالتين، لأنهما تولدان نسخاً غير ضرورية من الرزمة المصدرية (انظر الملحق **Appendix8-1**).

أما في إستراتيجية البث المتعدد الوجهة الحقيقية، فإننا نستخدم الطريقة التالية:

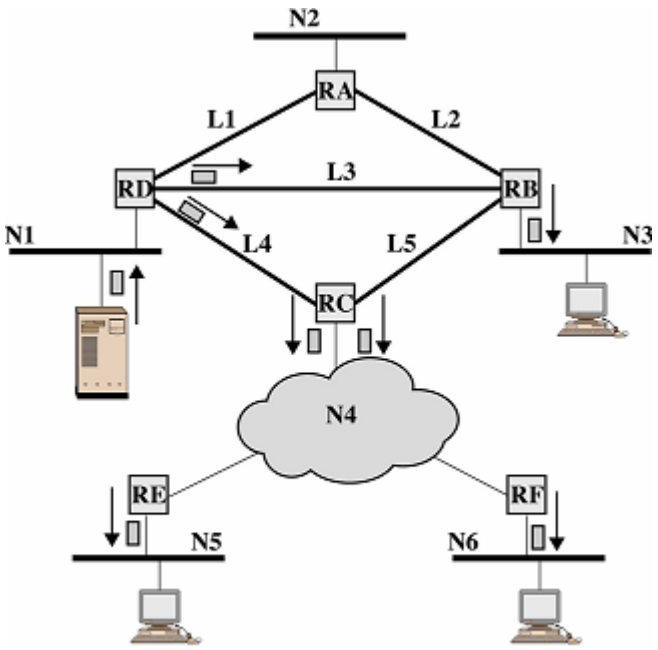
- يحدد المسار الأقل تكلفة من المصدر إلى كل شبكة تحوي أعضاء من مجموعة البث المتعدد الوجهات. يؤدي هذا إلى الحصول على شجرة الربط **(spanning tree)** مجموعة البث المتعدد الوجهات هذه. تذكر أن شجرة الربط لمبيان تتألف من جميع العقد على هذا المبيان إضافة إلى مجموعة جزئية من الوصلات التي توفر الوصل ذي التكلفة الأدنى بين أي عقدتين وبدون وجود أي حلقات مغلقة (يوجد طريق واحد فقط بين أي عقدتين). ولاحظ هنا أن هذه ليست شجرة ربط كاملة للتشكيلة، وإنما هي شجرة ربط لا تحوي إلا الشبكات الحاوية لأعضاء من مجموعة البث المتعدد الوجهات، وهذا ما يفسر عدم وجود الشبكة **N2** في شجرة الربط لمثالنا.
- يرسل المصدر رزمة فردية على طول شجرة الربط.
- لا يجري تكرار الرزمة بواسطة المسيرات إلا عند نقاط التفرع في شجرة الربط.



شجرة الربط من المصدر
إلى مجموعة البثّ المتعدّد الوجهات

يرسِل المصدر رزمة واحدة فقط عبر **N1** إلى المسير**D**. يصنع المسير **D** نسختين من هذه الرزمة للإرسال على الوصلة **L3** والوصلة **L4**. يستقبل المسير **B** الرزمة من **L3**، ويرسلها إلى **N3**، ليقرأها أعضاء مجموعة البث المتعدد الوجهة الواقعة ضمن هذه الشبكة. في غضون ذلك، يستقبل المسير **C** الرزمة المرسلة على **L4** وعليه أن يرسلها إلى المسيرين **E** و**F**. لو كانت**N4** شبكة بث (شبكة محلية)، لاحتاج **C** إلى إرسال نسخة واحدة فقط من الرزمة لكي يقرأها كلا المسيرين. أما إذا كانت **N4** شبكة واسعة تستخدم ابتدال الرزم، فسيحتاج**C** إلى نسختين من نفس الرزمة، يرسِل واحدة إلى **E** والثانية إلى **F**. يقوم كل من هذين المسيرين بدوره بإعادة إرسال الرزمة المستقبلة إلى **N5** و**N6** بالترتيب.

تتطلب تقنية البث المتعدد الوجهات **8** نسخ فقط من الرزمة.



الرزم المولّدة لإرسال بثّي متعدد الوجهات

2. متطلبات البث المتعدد الوجهات

في حالة الإرسال البثي الوحيد الوجهة الاعتيادي عبر شبكة بينية، حيث لكل برقية معطيات وجهة وحيدة (شبكة مميزة)، تكون مهمة المسير تمرير برقية المعطيات هذه إلى الشبكة الوجهة عبر المسار الأقصر.

أما في حالة البث المتعدد الوجهات فإن المسير قد يحتاج إلى تمرير نسختين أو أكثر من برقية معطيات واحدة قادمة إليه. في المثال السابق، يجب على المسيرين **C** و**D** تمرير نسختين من كل برقية معطيات قادمة.

وهكذا، يمكننا التوقع أن التسيير في حالة البث المتعدد الوجهات هو أكثر تعقيداً وظيفياً منه في حالة البث الوحيد الوجهة. فيما يلي لائحة بالوظائف المطلوبة للبث المتعدد الوجهات، والتي تنقسم في مجموعتين:

- وظائف متعلقة بالعنونة
- وظائف متعلقة بالتسيير

وظائف متعلقة بالعنونة

1. هناك حاجة إلى اصطلاح لتمييز **عنوان بثّي متعدد الوجهات** من غيره. في بروتوكول **IPv4**، تكون عناوين الصف **D** محجوزة لهذا الغرض.
2. مع أنه يمكن تخصيص بعض عناوين البث المتعدد الوجهات تخصيصاً دائماً، فإن الحالة التي هي أعم هي أن يجري توليد هذه العناوين ديناميكياً بحيث يكون بإمكان الحواسيب المضيفة الفردية الانضمام أو الانفصال ديناميكياً عن مجموعات البث المتعدد الوجهات. لهذا فإننا نحتاج إلى آلية يمكن بواسطتها لمضيف فردي أن يعْلِم المسيرات المربوطة إلى الشبكة التي ينتمي إليها، بانضمامه إلى، أو استبعاده من مجموعة البث المتعدد الوجهات. يوفر **بروتوكول IGMP**، المشروح لاحقاً، هذه الآليةَ.

وظائف متعلقة بالتسيير

1. يجب على كل عقدة (مسير أو عقدة مصدرية مساهمة في خوارزمية التسيير) أن تُترجِم عنوان **IP** بثّي متعدد الوجهات إلى لائحة من الشبكات التي تحتوي على أعضاء من المجموعة الممثلة بهذا العنوان. تسمح هذه المعلومات للعقدة بإنشاء شجرة ربط بأقصر المسارات إلى جميع الشبكات الحاوية لأعضاء المجموعة.

2. يجب على كل مسير أن يترجِم عنوان **IP** بثّي متعدد الوجهات إلى عنوان شبكة بثّي متعدد الوجهات بغية توصيل برقية معطيات ذات عنوان **IP** بثي متعدد الوجهات إلى الشبكة التي تمثل وجهته. على سبيل المثال، في شبكات إيثرنت، يجب على المسير أن يترجم عناوين **IPv4**ذات الطول **32** بتاً البثية المتعددة الوجهات إلى عناوين بثية متعددة الوجهات على مستوى إيثرنت بطول **48** بتاً وهذا كله في سبيل توصيل الإطارات ذات العناوين البثية المتعددة الوجهات.
3. تحتاج المسيرات إلى تبادل نوعين من المعلومات، أولاً، تحتاج المسيرات إلى معرفة الشبكات الحاوية لأعضاء من مجموعة ما للبثّ المتعدد الوجهات. ثانياً، تحتاج المسيرات إلى معلومات كافية لحساب المسار الأقصر إلى كل شبكة من هذه الشبكات. تدل هذه المتطلبات ضمناً على الحاجة إلى **بروتوكول تسيير للبث المتعدد الوجهات**.
4. هناك حاجة إلى خوارزمية تسيير لحساب أقصر المسارات إلى جميع أعضاء مجموعة البث المتعدد الوجهات. ويجب على كل مسير أن يحدد مسارات **التسيير للبث المتعدد الوجهات على أساس عنوانَي المصدر والوجهة**.

النقطة الأخيرة هي نتيجة دقيقة لاستخدام عناوين البث المتعدد الوجهات. لتوضيح هذه النقطة نتأمل الشبكة السابقة المبينة أدناه.

إذا قام مخدم البث المتعدد الوجهات بإرسال رزمة بث وحيدة الوجهة معنونة إلى حاسوب مضيف على الشبكة **N5**، فإن هذه الرزمة سيوجهها المسير **D** إلى **C** الذي يوجهها بدوره إلى **E**. بالمشابهة، الرزمة المعنونة إلى مضيف على الشبكة **N3** يوجهها **D** إلى **B**.

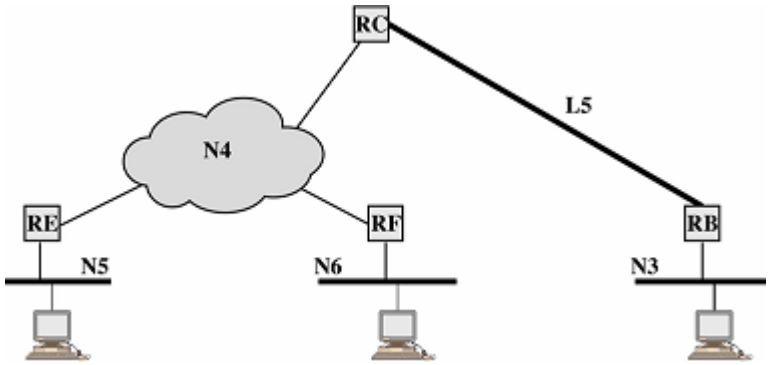
لنفترض الآن أن المخدم قام بإرسال رزمة بعنوان بث متعدد الوجهات إلى حواسيب مضيفة في الشبكات**N3**، **N5**، **N6**. يصنع **D** نسختين من الرزمة، كما ذكرنا، ويرسِل واحدة منها إلى **B** والثانية إلى **C**.

ماذا يفعل **C** عند تسلمه رزمة ذات عنوان بثّي متعدد الوجهات؟ علماً أن **C** يعْلم أن الرزمة موجهة إلى الشبكات **N3** و**N5** و**N6**.

إحدى الطرق البسيطة لإنجاز هذا هي أن يقوم **C** بحساب المسار الأقصر إلى كل من هذه الشبكات الثلاث، وهذا ما ينتج شجرة الربط ذات أقصر المسارات التالية. والنتيجة، يقوم **C** بإرسال نسختين من هذه الرزمة عبر الشبكة **N4**، نسخة موجهة إلى **N5** والأخرى إلى **N6**. وفي نفس الوقت يرسِل نسخةً إلى **B** ليقوم بتوصيلها إلى **N3**، على هذا فإن **B** سيستقبل نسختين من نفس الرزمة، واحدة من **D**

والأخرى من **C**. من الواضح أن هذا لم يكن المراد حين قام **N1** بإرسال الرزمة.

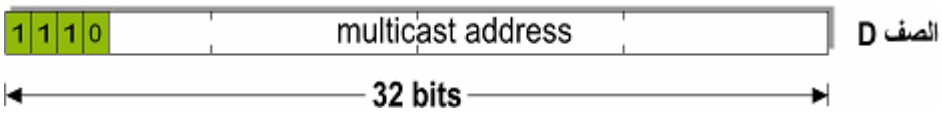
لتجنب التكرار غير اللازم من الرزم، يجب على كل مسير أن يقوم بتسيير الرزم على أساس المصدر والوجهة البثية المتعددة الوجهات. وعندما يستقبل **C**رزمة موجهة إلى مجموعة بث متعدد الوجهات قادمة من **N1**، يجب عليه أن يحسب **شجرة ربط تكون N1 في جذرها** وأن يسير الرزمة اعتماداً على تلك الشجرة.



3. عنونة البث المتعدد الوجهات في IP

بنية العناوين

في بروتوكول **IPv4**، تكون عناوين الصف **D** محجوزة لهذا الغرض. هذه العناوين مؤلفة من **32** بتاً وتكون قيمة البتات الأربعة ذات الرتبة العليا فيها هي **1110**، يتبعها **28** بتاً هي معرف المجموعة. وتغطي مجموعة عناوين البث المتعدد المجال من **244. 0. 0. 0** حتى **239. 255. 255. 255**.



انتبه إلى أن هذه العناوين تستخدم فقط لعنونة المجموعات في IP أو لعنونة الوجهات في برقيات معطيات البث المتعدد، أما عنوان المصدر في برقية المعطيات فهو دائماً عنوان وحيد الوجهة.

هناك مجال من العناوين، من**224. 0. 0. 0** وحتى**224. 0. 0. 255**، جرى حجزها للاستخدام في بروتوكولات التسيير على مقاطع الشبكات المحلية. تستخدم المسيرات هذا العناوين في إجراءات اكتشاف الجوار. ويجب على المسيرات أن لا تمرر الرزم الحاملة لهذه العناوين إلى خارج

نطاق الشبكة المحلية. ويبين الجدول لائحة من العناوين المحجوزة واستخداماتها.

العنوان	الاستخدام
224.0.0.1	كل النظم الطرفية على هذه الشبكة الفرعية
224.0.0.2	كل المسيرات على هذه الشبكة الفرعية وتستخدم لاكتشاف الجوار
224.0.0.5	مسيرات OSPF لتبادل رزم حالات الوصلات ورزم البروتوكول
224.0.0.6	مسيرات OSPF الوكيلة التي تنوب عن مسيرات أخرى على شبكة محلية

أما في البروتكول **IPv6**، فإن عنوان البث المتعدد الوجهات هو **128** بتاً يتألف من بادئة من **8** بتات كلها بقيمة **1**، يليها حقل رايات طوله **4** بتات، ثم حقل مجال طوله **4** بتات، وأخيراً معرف المجموعة من **112** بتاً. لا يفيد حقل الرايات، في الوقت الحاضر، إلا لِنَعْلم: أَخُصص هذا العنوان تخصيصاً دائماً أم لا؟ نستخدم حقل المجال لمعرفة مجال تطبيق هذا العنوان، الممتد من شبكة منفردة إلى شبكة شاملة.

4. بروتوكول إدارة مجموعات إنترنت

يستخدم بروتوكول إدارة مجموعات إنترنت **IGMP** في الحواسيب المضيفة والمسيرات لتبادل المعلومات عن العضوية في مجموعة بث متعدد الوجهات ضمن شبكة محلية. يستفيد هذا البروتوكول من خاصية البث المميزة للشبكات المحلية لتوفير تقنية فعالة لتبادل المعلومات بين عدة حواسيب مضيفة ومسيرات. يدعم بروتوكول **IGMP** عموماً عمليتين أساسيتين:

1. ترسل الحواسيب المضيفة رسائل إلى المسيرات للاشتراك أو إلغاء الاشتراك في مجموعة بث متعدد الوجهات محددة بعنوان بث متعدد الوجهات.
2. تتفحص المسيرات دورياً مجموعات البث المتعدد الوجهات لِتحدد الواقع منها على لائحة اهتمامات الحواسيب المضيفة.

الإصدارات المختلفة لِ IGMP

الإصدار الحالي من **IGMP** هو **3** (**RFC 3376**). في الإصدار **IGMPv1**، تستطيع الحواسيب المضيفة الانضمام إلى مجموعة بث متعدد الوجهات، أما الانفكاك من عضوية مجموعة فكان

يجري عن طريق مؤقت يستخدمه المسير. أما في الإصدار **IGMPv2**، فقد أصبح بإمكان أي حاسوب مضيف أن يلغي اشتراكه في مجموعة معينة بنفسه. كلا الإصدارين الأولين استخدما النموذج العملياتي التالي:

- الحواسيب المضيفة المستقبلة للرسائل عليها الانضمام إلى مجموعة بث متعدد الوجهات.
- الحواسيب المضيفة المرسلة للرسائل ليس عليها الانضمام إلى مجموعة بث متعدد الوجهات.
- أي حاسوب مضيف يستطيع أن يساهم في حركة السير إلى أي مجموعة بث متعدد الوجهات.

برغم عمومية هذا النموذج فإنه يحتوي على بعض نقاط الضعف:

1. إغراق مجموعات بث متعدد الوجهات برسائل غير مرغوبة هو عملية غاية في السهولة وفق هذا النموذج. حتى لو وضعت مرشحات على مستوى التطبيق في الشبكة لرمي الرزم غير المرغوب فيها، فإن هذه الرزم، مع ذلك، تستهلك موارد قيمة في الشبكةِ والمستقبلاتِ التي عليها أن تعالجها.
2. هناك إشكال في إنشاء شجرات توزيع للبث المتعدد الوجهات. وهذا عائد رئيسياً إلى كون موضع المصدر غير معروف.
3. إيجاد عناوين بث متعدد الوجهات مميزة وشمولية هو عملية صعبة. إذ يمكن دوماً لأي مجموعة بث متعدد الوجهات أخرى استخدام نفس العنوان البثي.

يعالج البروتوكول **IGMPv3** نقاط الضعف هذه كما يلي:

1. السماح للحواسيب المضيفة بتحديد لائحة من المضيفات الأخرى التي تريد استقبال رسائل منها. أما نقل الرسائل من أي حواسيب خارج اللائحة فتمنعه المسيرات.
2. السماح للحواسيب المضيفة بمنع الرزم الآتية من المصادر التي ترسل رسائل غير مرغوبة.

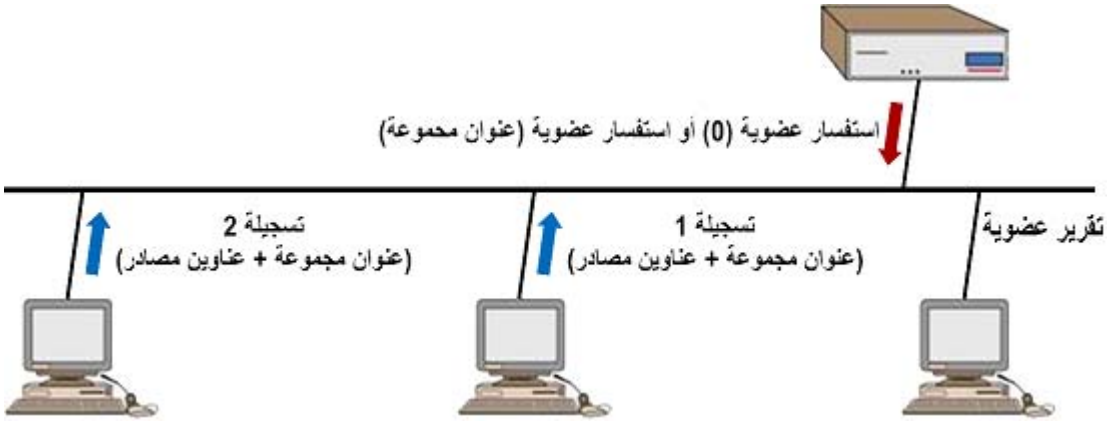
لننظر الآن إلى الإصدارة **3** من بروتوكول **IGMP**.

مَصاغة رسائل IGMP

تُرسل رسائل **IGMP** في برقيات معطيات **IP** بين مسير والحواسيب المضيفة المرتبطة به.

يعرف الإصدار الحالي نوعين من الرسائل:

- استفسار عن عضوية (**membership query**)
- وتقرير عن عضوية.



الرسالة من النوع الأول، استفسار عن عضوية، تُرسل بواسطة مسير بث متعدد الوجهات. وهناك ثلاثة أنواع فرعية لهذه الرسالة:

1. **استفسار عام**، يستخدم لمعرفة مجموعات البث المتعدد الوجهات التي يوجد لها أعضاء في شبكة فرعية.
2. **استفسار خاص بمجموعة**، يستخدم ليعرف: أتَضم مجموعة ما أعضاءً من شبكة ما مرتبطة بالمسير؟
3. **استفسار خاص بمجموعة ومصدر**، يستخدم ليعرف: أيرغب أي من التجهيزات المربوطة بالمسير في استقبال رزم مرسلة إلى عنوان بث متعدد الوجهات محدد، آتيةٍ من أحد المصادر المحددة في لائحة؟

تتألف مصاغة **رسالة الاستفسار** من الحقول التالية:

رسالة استفسار عن عضوية

0 1 2 3 4 5 6 7	8 9 10 11 12 13 14 15	16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
النوع = 17	زمن الاستجابة الأعظم	رمّاز الدقيق
عنوان المجموعة (عنوان IPv4 من الصف D)		
Resv S QRV	QQIC	عدد المصادر (N)
عنوان مصدر [1]		
عنوان مصدر [2]		
:		
:		
عنوان مصدر [N]		

النوع: يعرف نوع الرسالة.

زمن الاستجابة الأعظم: يحدد المهلة العظمى المسموح بها قبل إرسال تقرير استجابة. تحدد هذه المدة بوحدات من عشر الثانية **(1/10)**.

رماز التدقيق: رماز كاشف للخطأ، يحسب بعملية جمع على **16** بتاً بالإتمام إلى واحد وذلك لكل كلمات الرسالة ذات **16** بتاً. ولأسباب خاصة بالحساب، يعطى حقل رماز التدقيق قيمة ابتدائية مساوية للصفر. الخوارزمية المستخدمة هي نفس خوارزمية رماز التدقيق المستخدمة في **IPv4**.

عنوان المجموعة: قيمته صفر لرسالة استفسار عام، أما في حالة رسالة من نوع استفسار خاص بمجموعة، أو استفسار خاص بمجموعة ومصدر فقيمته هي عنوان **IP** لمجموعة بث متعدد الوجهات.

راية S: إذا كانت قيمتها **1**، فهي إشارة إلى أي مسير بثٍ متعدد الوجهات مستقبِلٍ لكي يوقف عمليات التحديث الاعتيادية للمؤقت التي يقوم بها المسير عند استقباله أي استفسار.

متغير متانة المستفسِر QRV (Querier's Robustness Variable): إذا لم تكن قيمته صفراً، فإن حقل **QRV** يحوي قيمة متغير المتانة (**RV**) التي يستخدمها المستفسر (مرسل الاستفسار). تحدد قيمة متغير المتانة **RV** عدد مرات إعادةِ إرسال حاسوبٍ مضيف لتقريرٍ لضمان عدم فقدانه من أي مسير بث متعدد الوجهات مربوط إلى الشبكة. تعتمد المسيرات قيمة **RV** المختلفة عن الصفر التي وصلت مع آخر استفسار باعتبارها قيمة **RV** الخاصة بها. وإذا كانت قيمة **RV** المرسلة مع آخر استفسار هي الصفر، فإن المستقبِل في هذه الحالة يستخدم القيمة المغتفلة أو قيمة معرفة سكونياً.

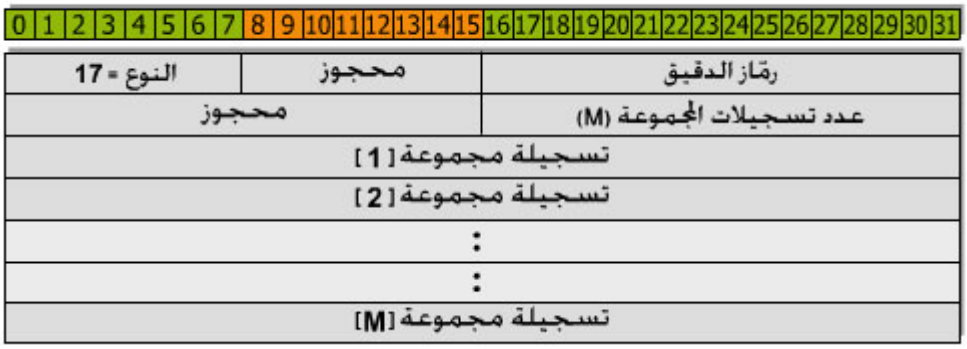
رماز مجال المستفسر الخاص بالمستفسر QQIC (Querier's Querier Interval Code): يحدد قيمة مجال المستفسر **QI** التي يستخدمها المستفسِر، وهو مؤقت يستخدم لإرسال استفسارات متعددة. إذا لم يكن مسير البث المتعدد الوجهات هو المستفسر الحالي فإنه يعتمد قيمة **QI** الخاصة بآخر استفسار جرى استقباله باعتبارها قيمة **QI** الخاصة به. وإذا كانت قيمة **QI** المرسلة مع آخر استفسار هي الصفر، فإن المستقبِل في هذه الحالة يستخدم القيمة المغتفلة.

عددُ المصادر: يحدد عدد العناوين المصدرية الموجودة في هذا الاستفسار. تختلف هذه القيمة عن الصفر في حالة الاستفسار الخاص بمجموعة ومصدر فقط.

عناوين المصادر: إذا كان عدد المصادر هو **N**، كان هناك **N** عنوان بثٍ وحيـد الوجهـة بطول **32** بتاً مضافة إلى الرسالة.

أما الرسالة من نوع **تقرير عن عضوية** فتتألف من الحقول التالية:

رسالة تقرير عن عضوية



0 1 2 3 4 5 6 7	8 9 10 11 12 13 14 15	16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
النوع = 17	محجوز	رمّاز الدقيق
محجوز		عدد تسجيلات المجموعة (M)
تسجيلة مجموعة [1]		
تسجيلة مجموعة [2]		
:		
:		
تسجيلة مجموعة [M]		

النوع: يعرف نوع الرسالة.

رماز التدقيق: رماز كاشف للخطأ، يحسب بعملية جمع على **16** بتاً بالإتمام إلى واحـد وذلك لكل كلمات الرسالة ذات **16** بتاً.

عدد تسجيلات المجموعة: يحدد عدد تسجيلات المجموعة الموجودة في التقرير.

تسجيلات المجموعة: إذا كان عدد تسجيلات المجموعة **M**، كـان هنـاك **M** تـسجيلة مجموعة مضافة إلى الرسالة.

تتضمن **تسجيلة المجموعة** الحقول التالية:

تسجيلة مجموعة

0 1 2 3 4 5 6 7	8 9 10 11 12 13 14 15	16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
نوع التسجيلة	طول المعطيات المساعدة	عدد المصادر (N)
عنوان البث المتعدد الوجهات		
عنوان مصدر [1]		
عنوان مصدر [2]		
:		
:		
عنوان مصدر [N]		
معطيات مساعدة		

نوع التسجيلة: تعرف نوع التسجيلة، **Exclude** أو **Include**، كما سيوْصف لاحقاً.

طول المعطيات المساعدة: طول حقل المعطيات المساعدة، يحسب هذا الطول بوحدةٍ هي كلمـة من **32** بتاً.

عددُ المصادر: يحدد عدد العناوين المصدرية الموجودة في هذه التسجيلة.

عنوان البث المتعدد الوجهـات: هو عنوان **IP** للبث المتعدد الوجهات الـذي تتعلـق بـه هـذا التسجيلة.

العناوين المصدرية: إذا كان عدد المصادر **N**، كان هناك **N** عنوان بثٍ وحيد الوجهة بطول **32** بتاً مضافة إلى الرسالة.

المعطيات المساعدة: معلومات إضافية تخص التسجيلة. لا يوجد حالياً أي قيم معطيات مـساعدة معرفة.

عمليات IGMP

إن غرض أي حاسوب مضيف من استخدام **IGMP** هو إعلان نفسه عضواً في مجموعة ذات عنوان بث متعدد الوجهات، إلى الحواسيب المضيفة الأخرى على الشبكة المحلية، وكذلك إلى جميع المسيرات على هذه الشبكة المحلية.

يعطي **IGMPv3** للحواسيب المضيفة القدرة على إعلان عضويتها في مجموعة ما مع القدرة على انتقاء المصدر:

- يمكن للحاسوب المضيف إما أن يشير إلى رغبته في استقبال كل حركة السير التي ترسلها جميع المصادر إلى مجموعة ما باستثناء بعض مصادر محددة (**Exclude mode**).
- أو أن يشير إلى رغبته في استقبال حركة السير التي ترسلها مجموعة محددة من المصادر فقط (**Include mode**).

للانضمام إلى مجموعة، يرسل المضيف رسالة **IGMP** من نوع تقرير عن عضوية، يكون حقل عنوان المجموعة في هذه الرسالة هو عنوان البث المتعدد الوجهات لهذه المجموعة نفسها. ترسل الرسالة في برقية معطيات **IP** تحوي نفس عنوان البث المتعدد الوجهات للمجموعة. أي إن حقل عنوان المجموعة في رسالة **IGMP** وحقل عنوان الوجهة في ترويسة **IP** المغلفة للرسالة متطابقان. تستقبل جميع الحواسيبِ المضيفةِ، الأعضاء حالياً في مجموعة البث المتعدد الوجهات، الرسالةَ، وهكذا تَعْلَم بانضمام عنصر جديد إليها. يجب على كل مسير مربوط إلى الشبكة المحلية

أن يستمع إلى جميع عناوين **IP** ذات البث المتعدد الوجهات لكي يحصل على جميع التقارير.

للحفاظ على لائحة حالية صالحة بكل عناوين المجموعات الفعالة، يصْدِر مسير البث المتعدد الوجهات دورياً رسالة **IGMP** من نوع استفسار عام، ترسل في برقية معطيات **IP** بعنوان بث متعدد الوجهات لكل الحواسيب المضيفة. يجب على كل مضيف يرغب في البقاء عضواً في مجموعة بث متعدد الوجهات أو أكثر أن يقرأ برقيات المعطيات تلك ذات العنوان "كل الحواسيب المضيفة". وعندما يستقبل مثلُ هذا المضيف الاستفسار، يجب أن يجيب عليه برسالة تقرير لِكل مجموعة هو حالياً عضو فيها.

علينا أن نلاحظ هنا أن مسير البث المتعدد الوجهات لا يحتاج إلى معرفة هوية كل مضيف في مجموعة ما. بدلاً من ذلك، يحتاج المسير إلى معرفة أن هناك عضواً واحداً على الأقل في مجموعة ما لا يزال نشطاً. لذلك يقوم كل مضيف في مجموعة يستقبل استفساراً ما بتجهيز مؤقت بتأخير عشوائي. عند سماع مضيف ما لتقرير من مضيف آخر يعلن فيه أنه عضو في مجموعته يقوم هذا المضيف بإلغاء تقريره. أما إذا لم يصل إليه أي إعلان عضوية في مجموعته من مضيف آخر وانتهت مهلة المؤقت لديه فإنه يرسِل تقريره. وفقاً لهذا الأسلوب، ينبغي أن يقوم عضو واحد فقط من كل مجموعة بإرسال تقرير إلى مسير البث المتعدد الوجهات.

عندما يترك مضيفٌ مجموعةً ما، فإنه يرسِل رسالة مغادرة للمجموعة إلى عنوان البث المتعدد الوجهات السكوني "جميع المسيرات". يجري إنجاز هذا عن طريق إرسال رسالة "تقرير عن عضوية" تحوي الخيار **INCLUDE** ولائحةً فارغة من عناوين المصادر، أي لا يضاف أي مصدر. عندما يستقبل مسيرٌ ما رسالة كهذه، بخصوص مجموعةٍ تضم أعضاء في مجموعة على واجهة الاستقبال، فانه يجب أن يحدد: أيوجد أعضاء أخرى في هذه المجموعة؟ ولتحقيق هذا الغرض، يستخدم المسير رسالة استفسار خاصة بمجموعة.

عضوية مجموعة مع بروتوكول IPv6

وضِع **IGMP** للعمل مع بروتوكول **IPv4** وبحيث يستخدم عناوين بطول **32** بتاً. تحتاج شبكات **IPv6** البينية إلى نفس الوظيفة. لذلك، وبدلاً من تعريف إصدار منفصل من **IGMP** للعمل مع **IPv6**، دمجت وظائفُه في الإصدار الجديد من بروتوكول رسائل التحكم في إنترنت **ICMPv6**. يتضمن **ICMPv6** جميع الوظائف الموجودة في **ICMPv4** وفي **IGMP**. ولدعم البث المتعدد الوجهات، يتضمن بروتوكول **ICMPv6** استفساراً عن عضوية مجموعة ورسالة تقرير عن عضوية مجموعة، وهما مستخدمان بنفس الطريقة المعرفة في **IGMP**.

نشاط:

- ما هو هدف **IGMP**؟

1. يستخدم بروتوكول **IGMP** بين الحواسيب المضيفة ومسيراتها المحلية للانضمام إلى مجموعة بث أو الانفكاك منها
2. يستخدم بروتوكول **IGMP** فيما بين المسيرات لتبادل معلومات البث المتعدد الوجهات
3. يستخدم بروتوكول **IGMP** فيما بين الحواسيب المضيفة للانضمام إلى مجموعة بث أو الانفكاك منها

- كيف يجري إسناد عناوين البث المتعدد الوجهات؟

1. تحجز بعض العناوين لاستخدامات محلية من قبل **IANA**
2. تحجز بعض العناوين الشاملة من قبل **IANA** بمبادرة من أحد الحواسيب المضيفة
3. ديناميكياً ولفترة مؤقتة باستخدام بروتوكول **IGMP**

5. التسيير المتعدد الوجهات

إن المهمة الأساسية لمسير داعم للبث المتعدد هي بناء شجرة الربط للبث المتعدد من أجل كل زوج (عنوان مصدر- عنوان بث متعدد). وتعتمد طريقة بناء شجرة البث المتعدد على خوارزمية التسيير المستخدمة أي على مدى توفر المعلومات اللازمة لذلك في قاعدة معطيات خوارزمية التسيير.

في بروتوكولات التسيير وفق حالة الوصلة كبروتوكول **OSPF**، يتوفر لدى كل مسر معلومات كاملة عن طبولوجية الشبكة تمكنه من بناء شجرة الربط المطلوبة. وهناك نوعين من شجرة الربط التي يمكن إنشاءها: شجرة الربط المصدرية وشجرة الربط المشتركة أو ذات النواة. أما في بروتوكولات التسيير وفق متجه المسافة كبروتوكولي **RIP** و**BGP** حيث لا يتوفر لدى كل مسر معلومات كاملة عن طبولوجية الشبكة، تستخدم المسيرات طريقة التمرير بعكس المسار.

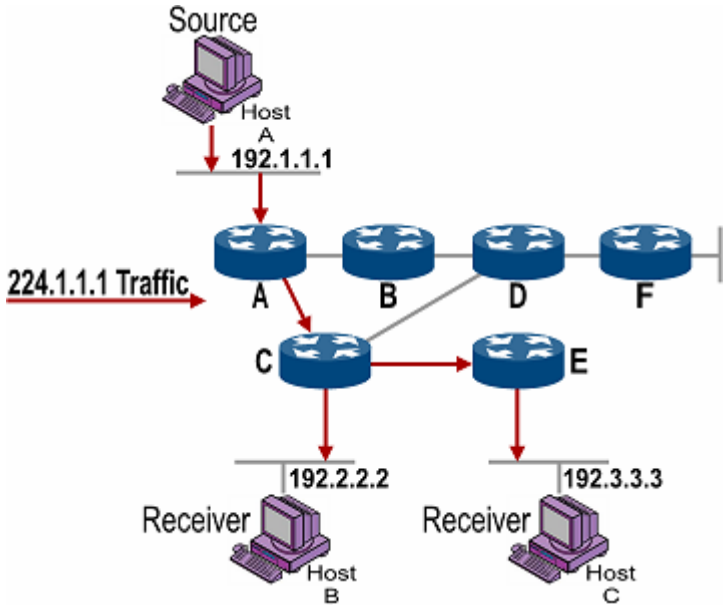
تتبادل المسيرات المعلومات اللازمة للبث المتعدد الوجهات فيما بينها، ومن ضمنها المعلومات عن مجموعات البث والشبكات التي تحوي أعضاء من هذه المجموعات، باستخدام بروتوكول تسيير متعدد الوجهات. يستخدم عادة تطويرٌ لبروتوكول التسيير من أجل دعم البث المتعدد الوجهات ومن الأمثلة على ذلك بروتوكولي**MOSPF** و**MBGP**.

شجرة الربط المصدرية

تعتمد شجرة الربط المصدرية **Source Tree** على بناء شجرة الاستمثال من أجل كل زوج (عنوان مصدر- عنوان مجموعة بث). تتضمن هذه الشجرة أقصر الطرق من هذا المصدر إلى كل الأعضاء في مجموعة البث المتعدد هذه. وتسمى أيضاً شجرة أقصر الطرق **STP** (**Shortest Path Tree**).

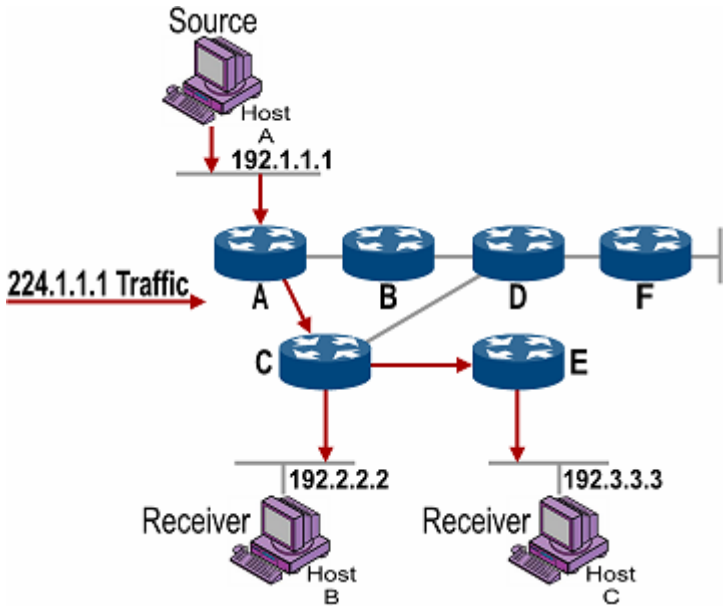
لاحظ في مثالنا أن شبكة الربط المصدرية هي للزوج (**224. 1. 1. 1 ،192. 1. 1. 1**) وهي تربط بين المضيف المصدر **A** ذي العنوان **192. 1. 1. 1** وعضوي مجموعة البث ذات العنوان **224. 1. 1. 1** وهما المضيفين **B** و**C**. وأن هناك حاجة لشجرة ربط مختلفة من أجل الزوج (**192. 2. 2. 2 ،224. 1. 1. 1**) أي من المصدر **B** إلى نفس مجموعة البث.

هذا يعني أننا نحتاج إلى عددٍ من شجرات الربط بعدد المصادر التي تبث إلى مجموعة بث وذلك من أجل كل مجموعة بث.



شجرة الربط المصدرية

إن لشجرة الربط المصدرية ميزة بناء الطرق الأمثلية بين المصادر والمستقبلات وهذا ما يضمن أن يكون زمن تلبث حركة سير البث المتعدد أصغر ما يمكن. ولكن هذا لا يأتي بدون ثمن، إذ يتوجب على المسيرات تخزين المعلومات الخاصة بمسارات كل أشجار الربط من أجل كل الأزواج (مصدر، مجموعة بث). وفي شبكة مؤلفة من آلافٍ من المصادر وآلافٍ من مجموعات البث يستهلك بناء جداول تسيير البث المتعدد الكثير من موارد المسير.

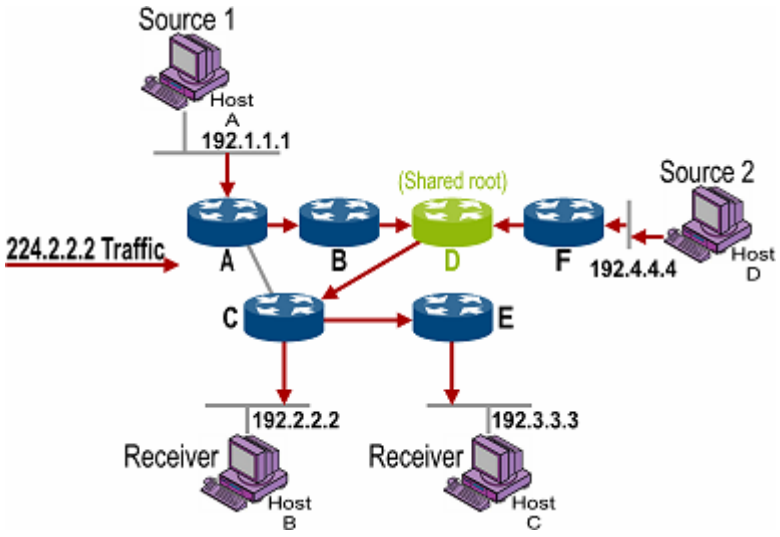


شجرة الربط المشتركة

على عكس شجرة الربط التي يكون جذرها المصدر المرسل إلى مجموعة بث، فإن الجذر في شجرة الربط المشتركة أو ذات النواة (**Shared Tree**) جذراً وحيداً في نقطة محددة في الشبكة تسمى نقطة الملتقى **RP** (**Rendezvous Point**).

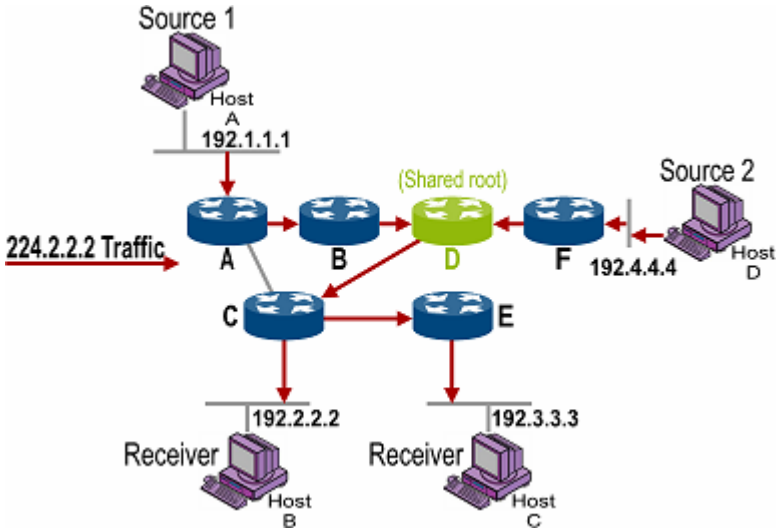
تبين الشجرة المشتركة لمجموعة البث **224. 2. 2. 2** حيث نقطة الملتقى هي المسير **D** أن على أي حركة سير موجهة إلى مجموعة البث هذه أن تسير أولاً إلى نقطة الملتقى حيث يعاد تمريرها هبوطاً على شجرة الربط باتجاه الأعضاء المستقبلة في مجموعة البث. لاحظ هنا أن حركة سير البثية إلى المجموعة **224. 2. 2. 2** الواردة من كلا المصدرين **A** و**D** تسير صعوداً على شجرة الربط باتجاه جذر شجرة الربط (المسير **D**) أولاً ثم تسير هبوطاً على شجرة الربط باتجاه المضيفات المستقبلة **B** و**C**. وبما أن جميع المصادر في مجموعة البث هذه ستستخدم الشجرة نفسها أي الشجرة ذات الزوج (*، **224. 2. 2. 2**).

هذا يعني أننا نحتاج إلى عددٍ من شجرات الربط بعدد مجموعات البث في الشبكة فقط.



إن لشجرة الربط المشتركة ميزة اختصار المعلومات التي يتوجب على المسير تخزينها وهي تلك الخاصة بمسارات شجرة الربط من أجل كل مجموعة بث فقط. إلا أن لها سيئة وهي عدم استخدامها للطرق الأمثلية مما قد يؤدي لتأخير في تسليم رزم حركة سير البث المتعدد.

يمكن انضمام أعضاء جدد في مجموعات البث في أي وقت كما يمكن انفكاك عضو من مجموعة بث في أي وقت. وعند حدوث هذا يجب على المسيرات تحديث مسارات شجرة الربط الموافقة. يستخدم المسير رسائل خاصة يرسلها إلى جواره للإعلام عن مسار فرعي جرى حذفه/إضافته من/إلى شبكة الربط.



طريقة التمرير وفق عكس المسار

إن طريقة التمرير وفق عكس المسار **RPF** (**Reverse Path Forwarding**) مفهوم له أهميته في التسيير المتعدد الوجهات لأنه يستخدم أيضاً لمساعدة المسيرات في اتخاذ القرار الصحيح عند توجيه رزم البث المتعدد نحو الاتجاه الهابط لشجرة الربط.

بكلمات أخرى تساعد طريقة **RPF** على التمييز بين المسيرات المجاورة إن كانت في الاتجاه الصاعد لشجرة الربط أو في الاتجاه الهابط لها وتستخدم لذلك جداول التسيير للعنونة وحيدة الوجهة. ويمرر المسير رزمة بث متعدد إذا وفقط إذا وصلت من الاتجاه الصاعد لشجرة الربط وإلا فإنه يستبعدها. يضمن هذا الإجراء عدم حدوث حلقات على شجرة الربط.

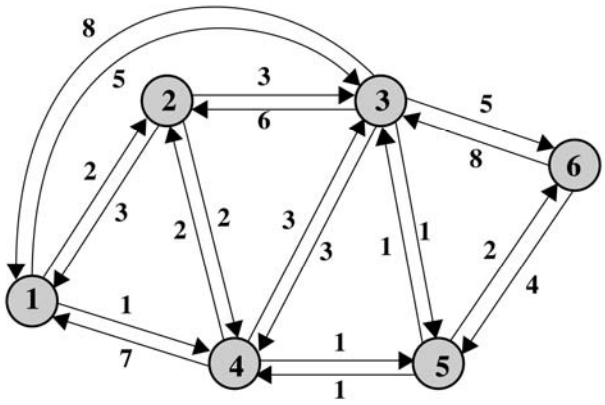
تعتمد طريقة **RPF** على إجراء عملية تحقق على كل رزمة بث متعدد وفقاً للخطوات التالية:

- يبحث المسير في جدول التسيير للعنونة وحيدة الوجهة عن التسجيلة الموافقة للعنوان المصدر لرزمة البث الواردة. تعطي هذه التسجيلة المسار الراجع إلى المصدر وهو عكس المسار المرغوب بدءاً من المصدر.
- إذا وردت الرزمة من نفس الواجهة المؤدية إلى المسار رجوعاً إلى المصدر كانت في مسارها الصحيح، ويقوم المسير بتمريرها إلى الاتجاه الهابط.
- تستبعد الرزمة إن لم ترد من نفس الواجهة المؤدية إلى المسار رجوعاً إلى المصدر.

خوارزميات التكلفة الدنيا

خوارزمية ديجكسترا

يمكن وصف خوارزمية ديجكسترا كما يلي: إيجاد أقصر المسارات من عقدة مصدرية إلى كل العقد الأخرى، عن طريق بناء المسارات تدريجياً وفقاً لأطوالها المتزايدة. تنفّذ الخوارزمية على مراحل. عند الوصول إلى المرحلة k يكون قد جرى تحديد أقصر مسارات بين العقدة المصدرية وأقرب العقد k إليها تحقق التكلفة الدنيا؛ تكون هذه العقد مجموعةً تسمى T. ثم يجري في المرحلة $(k + 1)$ إضافة العقدة، التي تقع خارج المجموعة T والتي نصل إليها من العقدة المصدرية بأقصر مسار، إلى المجموعة T. وكلما أضيفت عقدة إلى المجموعة T، يحدد المسار بينها وبين العقدة المصدرية. فيما يلي الوصف الشكلي للخوارزمية. لنعتبر المثال التالي ولنعرف ما يلي:



N = مجموعة عقد الشبكة.

s = العقدة المصدرية.

T = مجموعة العقد التي حصلنا عليها حتى الآن بواسطة الخوارزمية.

$w(i, j)$ = تكلفة الوصلة من العقدة i إلى العقدة j؛ $w(i, j) = 0$ ؛ $w(i, i) = \infty$ إذا كانت العقدتان i و j غير مرتبطين مباشرة ؛ $w(i, j) \geq 0$ إذا كانتا مرتبطتين مباشرة.

$L(n)$ = تكلفة المسار ذي التكلفة الدنيا المعروف الآن للخوارزمية بين العقدة s والعقدة n. يعطي تكلفةَ المسار ذي التكلفة الدنيا في المبيان بين s و n عند الانتهاء.

هناك ثلاث خطوات لتنفيذ الخوارزمية؛ تكرر الخطوتين 2 و 3 حتى تساوي المجموعةُ T المجموعةَ N، أي حتى تشمل المسارات النهائية جميع العقد في الشبكة:

1. [التهيئة الابتدائية]

$T = \{s\}$ أي إن مجموعة العقد المشمولة حتى الآن هي العقدة المصدرية فقط.

$L(n) = w(s, n)$ في حالة $n \neq s$ أي أن التكاليف الأولية للمسار إلى العقد المجاورة هي مجرد تكاليف الوصلات.

2. [حدد العقدة التالية]

إيجاد عقدة مجاورة لا تنتمي إلى T تحقق المسار ذا التكلفة الدنيا من العقدة s، وإضافتها إلى T. وإضافة ضلع تصل بين هذه العقدة وعقدة ما من T أيضاً تنتمي إلى المسار. ويمكن التعبير عن ذلك بـ:

إيجاد $x \notin T$ بحيث تحقق $L(x) = \min_{j \notin T} L(j)$

إضافة x إلى T؛ وإضافة ضلع واصلة إلى x تساهم في تكوين الجزء الأخير من التكلفة الدنيا لـ $L(x)$، أي آخر قفزة في المسار.

3. [تحديث المسارات ذات التكلفة الدنيا]

لكل $n \notin T$ $L(n) = \min[L(n), L(x) + w(x, n)]$

إذا تحقق كون التعبير الأخير أصغرياً، يصبح المسار من s إلى n هو المسار من s إلى x متسلسلاً مع الضلع التي تربط x بـ n.

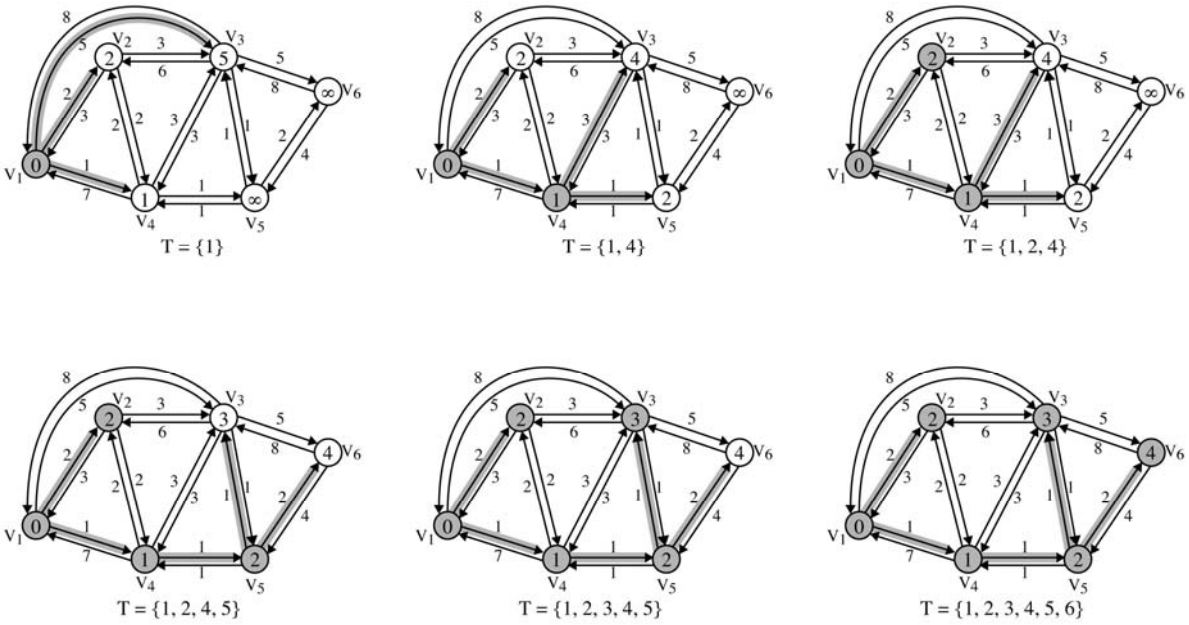
وتنتهي الخوارزمية عند احتواء المجموعة T لكل عقد الشبكة. وعندها تعطي القيمةُ $L(x)$ المسندة إلى كل عقدة x تكلفةَ (طول) المسار ذي التكلفة الدنيا من s إلى x. إضافة إلى هذا، تحدد المجموعة T المسارات ذات التكلفة الدنيا من العقدة s إلى كل العقد الأخرى.

تضيف كل تكرارة للخطوتين 2 و 3 عقدةً جديدة إلى T، ويحدد المسار ذا التكلفة الدنيا من العقدة s إلى العقدة الجديدة. يعبر هذا المسار عقداً موجودة في T فقط. وليتأكد لنا هذا، لنتأمل البرهان التالي. بعد k تكرارات، يكون لدينا k عقدة في T، وقد حدد المسار ذو التكلفة الدنيا بين العقدة s وكل عقدة من العقد الموجودة في T. لنتأمل الآن كل المسارات الممكنة بين s وعقد لا تنتمي إلى T. يوجد بين هذه المسارات واحد ذو تكلفة دنيا ويمر حصراً

بعقد تنتمي إلى T، وينتهي بوصلة مباشرة من إحدى عقد T إلى عقدة لا تنتمي إلى T. هذه العقدة الأخيرة هي التي تضاف إلى T، ويعرف المسار المرتبط بها بأنه مسار ذو تكلفة دنيا لتلك العقدة.

يبين الشكل والجدول التاليين نتيجة تطبيق هذه الخوارزمية على مبيان مثالنا مع $s = 1$. تحدد الأضلاع المظللة شجرةَ الربط (spanning tree) لهذا المبيان، وتعطي القيم المحددة بدوائر التقدير الحالي لـ $L(x)$ لكل عقدة x، وتظلل العقدة عند إضافتها إلى T. نلاحظ أنه يجري في كل خطوة توليد المسار إلى كل عقدة وحساب تكلفته الكلية. وعند الانتهاء من آخر تكرارة، يكون قد جرى تحديد المسار ذي التكلفة الدنيا إلى كل عقدة وتكلفة ذاك المسار. يعاد الإجراء نفسه مع إبدال العقدة المصدرية بعقدة جديدة، لتكن 2، وهكذا دواليك.

خوارزمية ديجكسترا مطبقة على مبيان المثال



التكرارة	T	$L(2)$	المسار	$L(3)$	المسار	$L(4)$	المسار	$L(5)$	المسار	$L(6)$	المسار
1	{1}	2	2-1	5	3-1	1	4-1	∞	—	∞	—
2	{4,1}	2	2-1	4	3-4-1	1	4-1	2	5-4-1	∞	—
3	{4,2,1}	2	2-1	4	3-4-1	1	4-1	2	5-4-1	∞	—
4	{5,4,2,1}	2	2-1	3	3-5-4-1	1	4-1	2	5-4-1	4	6-5-4-1
5	{5,4,3,2,1}	2	2-1	3	3-5-4-1	1	4-1	2	5-4-1	4	6-5-4-1
6	{6,5,4,3,2,1}	2	2-1	3	3-5-4-1	1	4-1	2	5-4-1	4	6-5-4-1

خوارزمية بلمان-فورد

يمكن وصف خوارزمية بلمان-فورد كما يلي: إيجاد أقصر المسارات التي تنطلق من عقدة مصدرية معطاة شرط أن تحوي هذه المسارات وصلة واحدة على الأكثر؛ ثم إيجاد أقصر المسارات التي تحوي وصلتين على الأكثر، وهكذا. تنفّذ هذه الخوارزمية أيضاً على مراحل. فيما يلي الوصف الشكلي لهذه الخوارزمية. لنعرف ما يلي:

s = العقدة المصدرية

$w(i, j)$ = تكلفة الوصلة من العقدة i إلى العقدة j؛ $w(i, i) = 0$؛ $w(i, j) = \infty$ إذا كانت العقدتان i و j غير مرتبطين مباشرة ؛ $w(i, j) \geq 0$ إذا كانتا مرتبطتين مباشرة.

h = عدد الوصلات الأعظم ضمن المسار في المرحلة الحالية للخوارزمية.

$L_h(n)$ = تكلفة المسار ذي التكلفة الدنيا من العقدة s إلى العقدة n مع شرط عدم وجود أكثر من h وصلة.

1. التهيئة الابتدائية]

$L_0(n) = \infty$ لكل $n \neq s$

$L_h(s) = 0$ لكل h

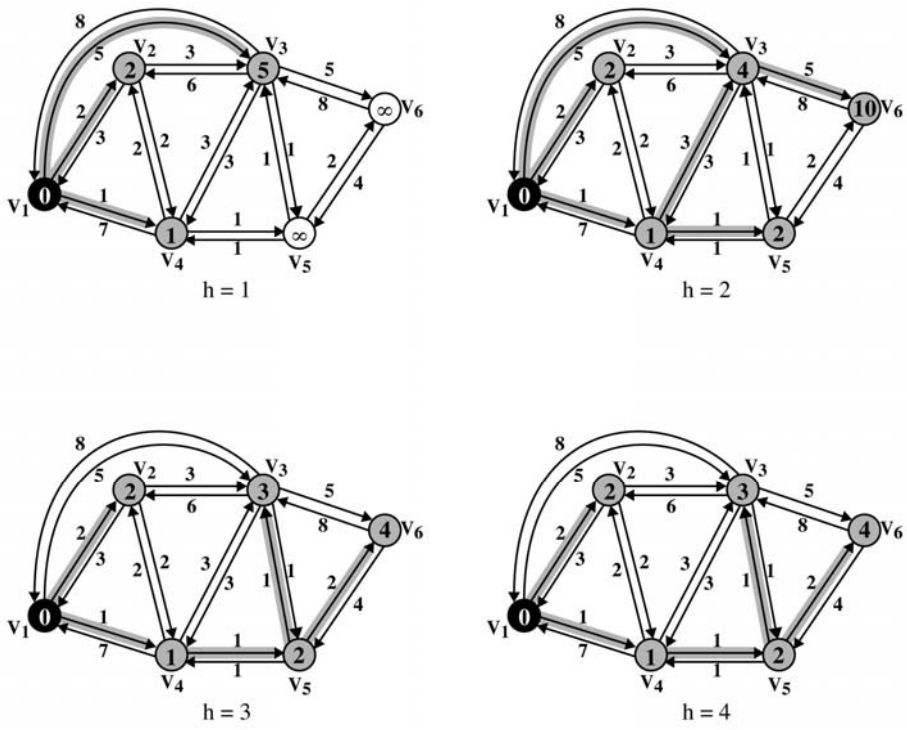
2. [التحديث]

لكل قيمة $h \geq 0$ تالية:

ولكل $n \neq s$، احسب

$$L_{h+1}(n) = \min_j [L_h(j) + w(j, n)]$$

اربط العقدة n بسابقتها العقدة j التي تحقق القيمة الصغرى واحذف كل ربط لـ n (بعقدة سابقة لها مختلفة) صنع في تكرارة سابقة. ينتهي المسار من s إلى n بوصلة من j إلى n.



خوارزمية بلمان-فورد مطبقة على مبيان مثال الشبكة

عند تكرار الخطوة 2 مع $K = h$، ولكل عقدة وجهة n، تقارن الخوارزمية المسارات المحتملة بين s و n التي طولها $K + 1$، بالمسار الذي استنبط في التكرارة السابقة. وتبقي المسار السابق –وهو أقصر من المسار الحالي- إذا كانت تكلفته أقل. وإلاّ فيعرف مسار جديد طوله $K + 1$ من s إلى n؛ وهو مؤلف من مسار من s إلى عقدة j طوله K، يضاف إليه وصلة مباشرة من j إلى n. في هذه الحالة، يكون المسار المستخدم من s إلى j هو المسار إلى j ذو الطول K قفزة الذي جرى تعريفه في التكرارة السابقة.

يبين الشكل 12-11 والجدول 12-2-ب نتائج تطبيق هذه الخوارزمية على الشكل 12-2 في الحالة $s = 1$. وفي كل خطوة، يجري اكتشاف المسارات ذات التكلفة الدنيا التي لا يتجاوز عدد الوصلات فيها h. وبعد آخر تكرارة، يكون قد جرى تحديد المسار ذي التكلفة الدنيا إلى كل عقدة وتحديد قيمة التكلفة المرتبطة به. ويمكن إعادة الإجراء نفسه مجدداً مع عقدة مصدرية جديدة (العقدة 2 مثلاً) وهكذا دواليك. نلاحظ توافق هذه النتائج مع تلك التي حصلنا عليها بتطبيق خوارزمية ديجكسترا.

مقارنة

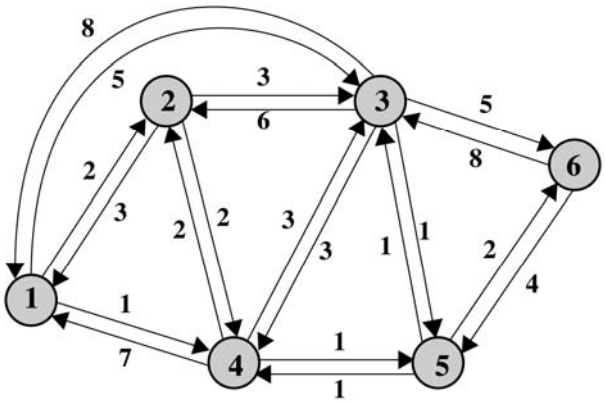
يمكن القيام بمقارنة مثيرة للاهتمام بين هاتين الخوارزميتين اعتماداً على ماهية المعلومات المطلوب جمعها. لنبدأ أولاً بخوارزمية بلمان-فورد. يتطلب الحساب للعقدة n في الخطوة 2 معرفة تكلفة الوصلة بين العقدة n وجميع العقد المجاورة لها ($w(j, n)$ مثلاً)، مضافاً إليها التكلفة الكاملة للمسار الموصل إلى كل عقدة من هذه العقد المجاورة ابتداءً من محطة مصدرية محددة s [$L_h(j)$ مثلاً]. تستطيع كل عقدة في الشبكة المحافظةَ على مجموعة التكاليف لجميع العقد الأخرى في الشبكة والمسارات المرتبطة بها، ومبادلة تلك المعلومات مع العقد التي تجاورها مباشرة من حين إلى آخر. وهكذا، فإن بإمكان كل عقدة استخدام العبارة التي تنص عليها الخطوة 2 من خوارزمية بلمان-فورد لتحديث مجموعة التكاليف والمسارات لديها وذلك اعتماداً على المعلومات التي تردها من جوارها وعلى تكاليف وصلاتها فقط. لنتأمل الآن خوارزمية ديجكسترا، حيث يبدو أن الخطوة 3 تتطلب من كل عقدة الحصول على معلومات كاملة عن طبولوجية الشبكة. أي إنه على كل عقدة أن تعرف تكاليف جميع الوصلات الموجودة في الشبكة، وهذا يتطلب في حالة هذه الخوارزمية، تبادل المعلومات مع بقية العقد الأخرى.

وعموماً، يتطلب تقييم الاستحقاق النسبي لهاتين الخوارزميتين الأخذ بالحسبان مدة معالجة الخوارزمية وكمية المعلومات الواجب جمعها من العقد الأخرى في الشبكة أو الشبكة البينية. ولذا يعتمد التقييم على منهج التنجيز وعلى التنجيز المحدد.

نقطة أخيرة: من المعروف أن كلتا الخوارزميتين تتقاربان في حالات طبولوجية ساكنة وتكاليف وصلات وأنهما تتقاربان إلى نفس الحل. فإذا تغيرت تكاليف الوصلات مع الوقت، تحاول الخوارزمية التكيف مع هذه التغييرات. ولكن إذا كانت تكاليف الوصلات معتمدة على حركة السير، التي تعتمد بدورها على الطرق المختارة، عندئذ تظهر حالات تغذية راجعة ويمكن لحالات عدم الاستقرار أن تنشأ.

التسيير بالتعويم (flooding)

وهي تقنية بسيطة تستخدم للتسيير، ولا تتطلب أي نوع من المعلومات عن الشبكة فهي تعمل كما يلي: يرسل المصدر رزمة المعطيات إلى كل العقد المجاورة له. وترسل كل عقدة الرزمة الداخلة، على كل وصلاتها الخارجة ماعدا الوصلة التي قدمت منها الرزمة.



مثلاً إذا كان لدى العقدة 1 في الشكل رزمة للإرسال إلى العقدة 6، فإنها ترسل نسخة من هـذه الرزمة (محملة بالعنوان 6) إلى كل من العقد 2 و 3 و 4. وترسل العقدة 2 بدورها نـسخةً مـن الرزمة إلى العقدتين 3 و 4. وكذلك ترسل العقدة 4 نسخة من الرزمـة إلى العقـد 2 و 3 و 5. وهكذا دواليك. وهذا يعني وصول عدة نسخ من الرزمة إلى العقدة 6 التي يجب عليها الاحتفـاظ بأول نسخة وصلت فقط والتخلص من بقية النسخ الأخرى. يجب لذلك أن يكون للرزمة معرف وحيد (مثلاً: العقدة المصدرية مع رقم تسلسلي، أو رقم الدارة الافتراضية مع رقم تسلسلي).

يزداد عدد الرزم التي تسير في الشبكة، المتعلقة بمصدر واحد إلى ما لانهاية، إذا لم يتخذ إجراء ما يوقف إعادة إرسال الرزم المتواصل. أحد الطرق لتجنب ذلك هو أن تتذكر كل عقدة هويةَ الرزم التي سبق أن أرسلتها، بحيث تتخلص من أي نسخة مكررة عن نسخة سابقة مرت بها. وتقوم طريقة أخرى أكثر بساطة على تضمين كل رزمة حقلاً يدلّ على عدد العقد التي مرت بها (عدد القفزات). يعطى هذا الحقل بدايةً قيمة عظمى هي عادة قطر الشبكة (طول أطول طريق أصغري عابر للشبكة)[1]. وتنقص العقدةُ قيمةَ الحقل لكل رزمة مارة بها، وترمي الرزمةَ عند بلوغ قيمة الحقل القيمة صفر.

يبين الشكل التالي عمل هذه الطريقة الأخيرة. تسافر الرزمة من العقدة 1 إلى العقدة 6 حاملة القيمة 3 في حقل عدد القفزات. عند القفزة الأولى، يولّد من الرزمة ثلاث نسخ ويزيد العدد

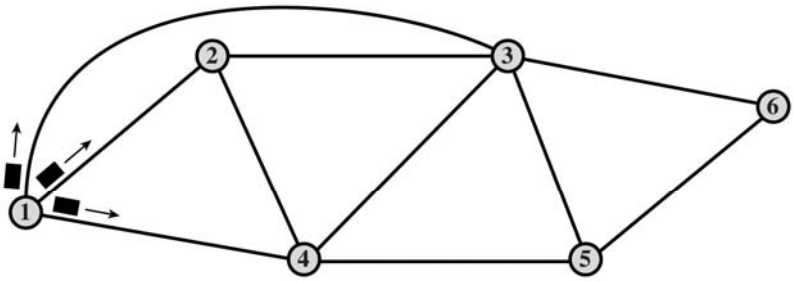
[1] هناك مسار بأقل القفزات من أجل كل زوج من النظم الطرفية المرتبطة بالشبكة. إن طول أطول مسار بأقل القفزات هذا هو قطر الشبكة.

ليصبح تسع نسخ عند القفزة الثانية. تصل واحدة من هذه النسخ إلى العقدة 6 التي تتعرف أنها العنوان الوجهة وتوقف إعادة لإرسال الرزمة. ومع ذلك تولّد العقد الأخرى 22 نسخة منها عند القفزة الثالثة والأخيرة للرزمة المسافرة. نلاحظ هنا أنه إذا لم تخزن العقدة معرف الرزم التي مرت بها، فإنها قد تولد عدة نسخ جديدة من الرزمة عند هذه المرحلة الثالثة (القفزة الثالثة). إلا أنه ترمى كل الرزم التي تستقبل بعد القفزة الثالثة. وفي نهاية المطاف، تستقبل العقدة 6 أربع نسخ إضافية فقط من الرزمة.

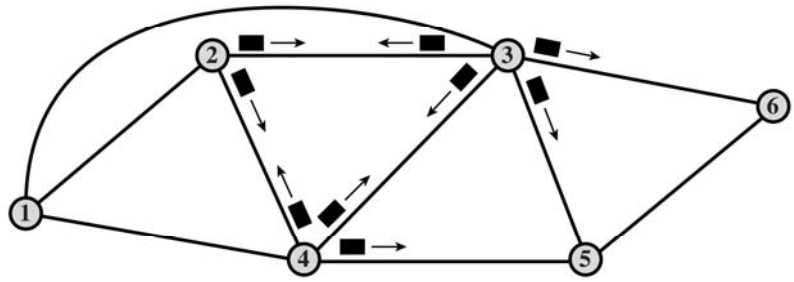
تتمتع تقنية التعويم بخواص استثنائية هي:

- تجريب كل الطرق الممكنة بين أي مصدر ووجهة. فمهما حدث من أعطال على الوصلات أو العقد في الشبكة، تصل الرزمة المسافرة إلى وجهتها دوماً، إذا كان هناك طريق واحد على الأقل في الشبكة يؤدي إلى الوجهة.
- نظراً إلى أن النسخ المولّدة تسلك كل الطرق الممكنة، فستجد إحدى نسخ الرزمة الطريق الأقصر نحو الوجهة.
- تعبر كل عقد الشبكة سواء كانت مرتبطة بالعقدة المصدرية مباشرةً أو مداورةً.

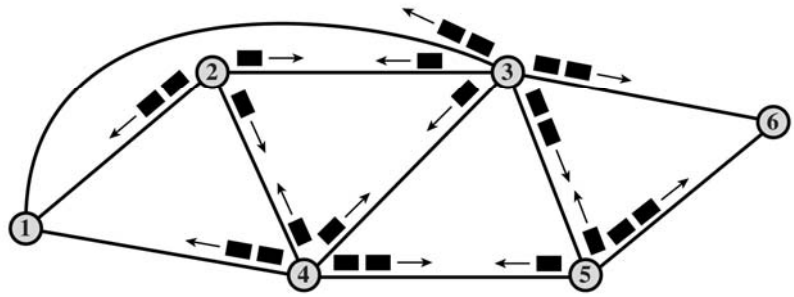
تميز الخاصةُ الأولى تقنيةَ التعويم بمتانة عالية تجعلها ملائمة لنقل رسائل الطوارىء. وتعتبر الشبكات العسكرية المعرضة لأعطال وأضرار مكثفة أحد أهم التطبيقات التي تستخدمها. وقد تستخدم الميزةُ الثانية لتقنية التعويم بغية إيجاد الطريق لدارة افتراضية. أما الخاصة الثالثة فتتيح استخدام التعويم عند الحاجة إلى نشر معلومات مهمة إلى كل عقد الشبكة؛ وسنرى لاحقاً أنها تستخدم آليةً لنشر معلومات التسيير.



أ- القفزة الأولى



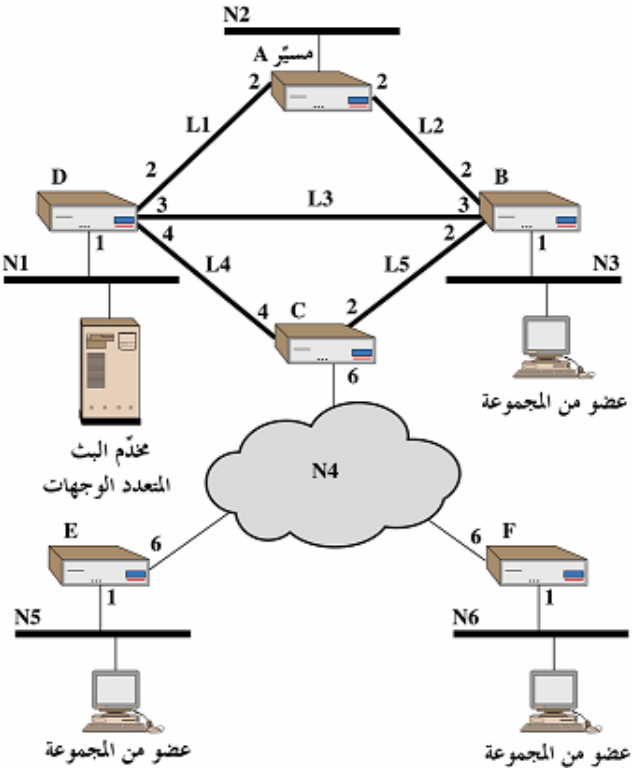
ب- القفزة الثانية



ج- القفزة الثالثة

مثال على التسيير بالتعويم (عدد القفزات = 3)

حركة السير التي تولدها إستراتيجيتا البثّ وحيد الوجهة والبثّ وحيد الوجهة المتعدد



على سبيل المثال، واحدة من الرزم التي عنوانها **N3** سوف تسلك **N1** ثم الوصلة **L3** ثم الشبكة **N3**. يقوم المسيِّر **B** بمسؤولية ترجمة عناوين **IP** للبث المتعدد الوجهات إلى عناوين **MAC** للبث المتعدد الوجهات قبل إرسال إطار **MAC** إلى الشبكة **N3**. يلخص الجدول عدد الرزم المتشكلة على الوصلات والشبكات المختلفة بغية إرسال رزمة واحدة إلى مجموعة بث متعددة الوجهات وفق هذه الطريقة. في هذا الجدول، المصدر هو مخدم البث المتعدد الوجهات في الشبكة **N1** في الشبكة. يتضمن عنوان البث المتعدد الوجهات أعضاءَ المجموعة من الشبكات**N3**، **N5**، **N6**، يشير كل عمود في الجدول إلى المسار الذي تسلكه الإطارات بين الحاسوب المصدر إلى المسيِّر الوجهة المرتبط بالشبكة الوجهة. ويشير كل سطر في الجدول إلى شبكة أو وصلة من التشكيلة الشبكية، ويشير كل مَدخل في الجدول إلى عدد الرزم التي تَعْبُر شبكة أو وصلة معينة ضمن مسار محدد. نلاحظ أن العدد الكلي اللازم للرزم هو **13** نسخة.

الآن لنفترض أن النظام المصدريّ يعمل بإستراتيجية البث الوحيد الوجهة المتعدد أي أنه يعلم موقع كل عضو من مجموعة البث المتعدد الوجهات. بكلام آخر يمتلك المصدرُ جدولاً للمقابلة بين عناوين البث المتعدد الوجهات ولائحة الشبكات الحاوية لأعضاء من تلك المجموعة. في هذه الحالة لا يحتاج المصدر إلا إلى إرسال الرزم إلى الشبكات الحاوية على أعضاء المجموعة. يبيّن الجدول أن عدد الرزم اللازم إرساله في هذه الحالة هو **11** رزمة.

حركة السير التي تولّدها استراتيجيات مختلفة للبث المتعدد الوجهات

	بثّ وحيد الوجهة					بثّ وحيد الوجهة متعدّد				بثّ متعدّد الوجهات
	S ← N2	S ← N3	S ← N5	S ← N6	المجموع	S ← N3	S ← N5	S ← N6	المجموع	
N1	1	1	1	1	4	1	1	1	3	1
N2										
N3		1			1	1			1	1
N4			1	1	2		1	1	2	2
N5			1		1		1		1	1
N6				1	1			1	1	1
L1	1				1					
L2										
L3		1			1	1			1	1
L4			1	1	2		1	1	2	1
L5										
المجموع	2	3	3	4	13	3	4	4	11	8