

كلية الهندسة

قسم هندسة الميكاترونيكس

مقرر شبكات الحاسوب

د. غزوان رياء

محاضرات الأسبوع التاسع

الفصل الأول 2024-2025

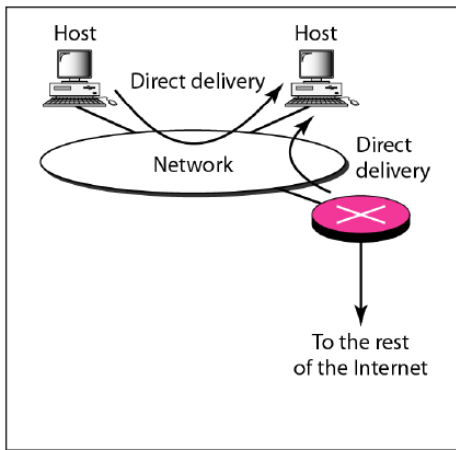
طبقة الشبكة

/التوجيه/

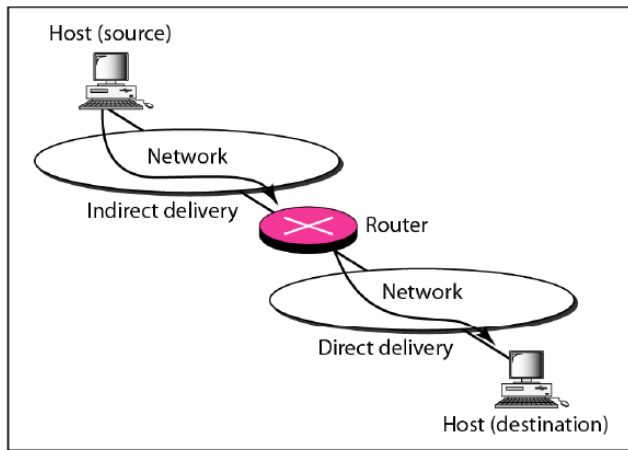
التسليم Delivery

• *The network layer supervises the handling of the packets by the underlying physical networks. We define this handling as the delivery of a packet.*

- التسليم المباشر **Direct Delivery** حيث تكون الوجهة النهائية واقعة ضمن نفس الشبكة الفيزيائية للموصل **Deliverer** أو بشكل آخر إما عندما يقع المرسل والمستقبل على نفس الشبكة الفيزيائية أو بين الموجه الأخير والمستقبل ضمن نفس الشبكة النهائية.
- يستطيع المرسل أن يحدد كون التسليم مباشرًا أو لا عن طريق مقارنة عنوان الشبكة التي يقع عليها مع عنوان الشبكة للوجهة وفي حال التطابق يكون التسليم مباشرًا.
- التسليم غير المباشر **Indirect Delivery**: ففيها لا يقع المرسل أو المستقبل ضمن نفس الشبكة الفيزيائية الأمر الذي يستدعي مرور الطرد من موجه إلى آخر للوصول إلى الوجهة.



a. Direct delivery



b. Indirect and direct delivery

FORWARDING التوجيه

□ **Forwarding means to place the packet in its route to its destination.**

▪ Forwarding requires a host or a router to have a routing table.

➤ **When a host has a packet to send or when a router has received a packet to be forwarded, it looks at this table to find the route to the final destination.**

• **نقصد بالتوجيه** وضع الطرد في المسار المناسب للوصول إلى وجهته النهائية. حتى يستطيع حاسب أو موجه توجيه طرد ما يجب أن يمتلك جدول توجيه **Routing Table** فعندما يريد حاسب إرسال طردًا إلى وجهة ما أو عندما يريد موجه **Router** توجيه طردًا فما عليهما سوى النظر ضمن جدول التوجيه لإيجاد المسار المناسب إلى الوجهة النهائية.

طرق تحقيق التوجيه

• يوجد عدة طرق لتحقيق التوجيه؛ منها ما يعتمد على وضع المسار كاملاً من المصدر إلى الوجهة ضمن جدول التوجيه **Route Method** ومنها ما يضع عنوان القفزة التالية فقط **Next hop Method**.

• توجد أيضاً طرق تسمح بتحديد مسار لكل عنوان وجهة وهو ما يعرف ب **Host-specific** أو طريقتاً لكل عنوان شبكة وهو ما يعرف ب **Network-specific** أي أن المسار يكون واحداً لجميع الحواسيب الواقعة ضمن نفس الشبكة الفيزيائية.

Route method versus next-hop method

a. Routing tables based on route

Destination	Route
Host B	R1, R2, host B

Routing table for host A

Destination	Route
Host B	R2, host B

Routing table for R1

Destination	Route
Host B	Host B

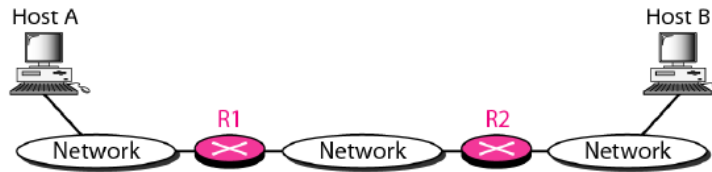
Routing table for R2

b. Routing tables based on next hop

Destination	Next hop
Host B	R1

Destination	Next hop
Host B	R2

Destination	Next hop
Host B	---



مقارنة بين Host-specific و Network specific

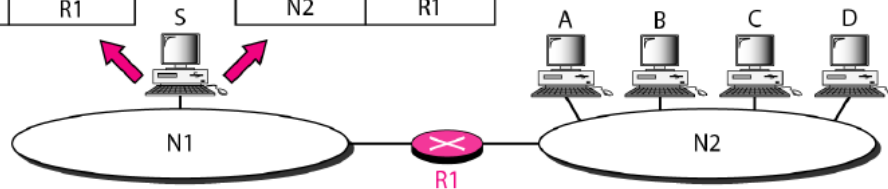
Host-specific versus network-specific method

Routing table for host S based on host-specific method

Destination	Next hop
A	R1
B	R1
C	R1
D	R1

Routing table for host S based on network-specific method

Destination	Next hop
N2	R1

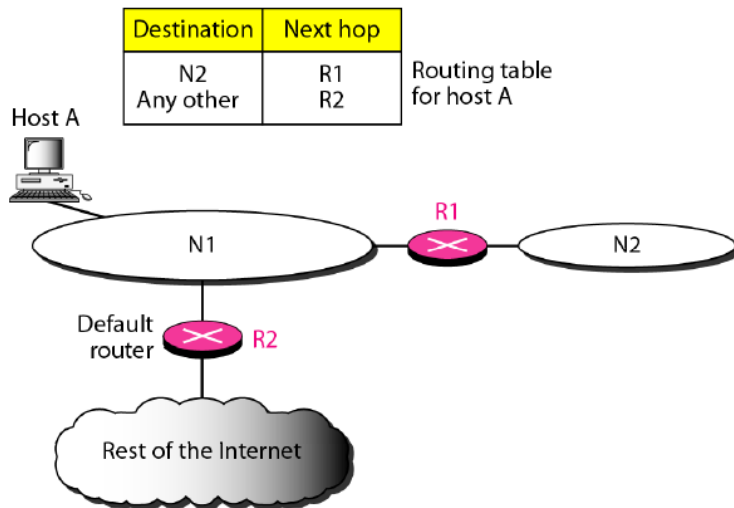


Default Method الطريقة الافتراضية

□ يبين الشكل التالي حاسب موصول إلى شبكة تحوي موجهين. يقوم الموجه R 1 بنقل الطرود إلى حواسب الشبكة N 1 بينما يقوم الموجه R 2 بنقل الطرود إلى بقية الإنترنت.

فبدلاً عن إضافة مداخل لكل شبكة من شبكات الإنترنت ضمن جدول التوجيه الخاص بالحاسب فإنه يقوم بتوجيه الطرود إلى الموجه الافتراضي الذي لا يشغل سوى مدخل واحد ضمن جدول التوجيه عادةً يستخدم عنوان الشبكة 0.0.0.0 للدلالة على بقية الشبكات.

Default method



جداول التوجيه Routing Tables

- يمتلك كل حاسب مضيف **Host** أو موجه **Router** جدول توجيه يحتوي على مدخل لكل وجهة ممكنة أو مجموعة وجهات لمساعدته على توجيه الطرود. يمكن أن يكون جدول التوجيه ساكنًا **Static** أو ديناميكيًا **Dynamic**.

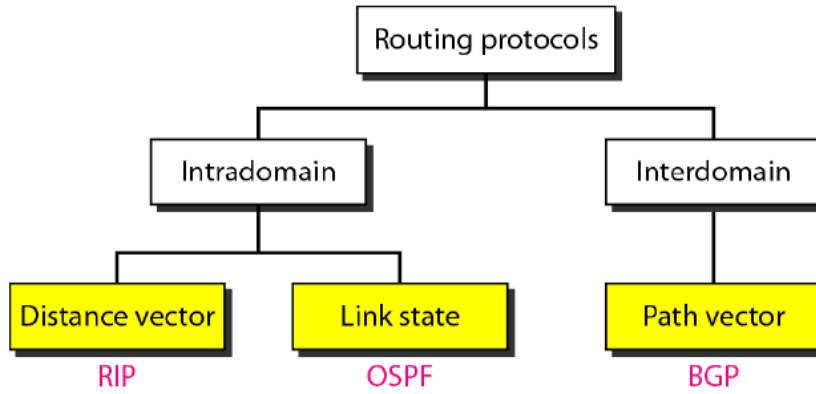
الجداول الساكنة

- يحوي جدول التوجيه الساكن على مسارات يقوم مدير النظام بإدخالها يدويًا، الأمر الذي يضطر مدير النظام إلى تحديث الجدول في كل مرة يطرأ أي تغيير في بنية الشبكات المترابطة .
- يمكن استخدام هذا النوع من الجداول في ترابط الشبكات الصغيرة التي لا يطرأ عليها تغيرات بكثرة أو ضمن ترابط الشبكات التجريبية بغية اكتشاف وعزل الأعطال.

الجدول الديناميكية

- أما بالنسبة لجدول التوجيه الديناميكي فيتم تحديثه آلياً باستخدام بروتوكولات التوجيه الديناميكية مثل بروتوكول توجيه المعلومات **Routing Information protocol (RIP)** والبروتوكول المفتوح لإيجاد أقصر الطرق أولاً **Open Shortest Path First (OSPF)**.
- فعندما يطرأ أي تغيير ضمن الشبكة المترابطة **networks Interconnection** مثل توقف موجه عن العمل أو انقطاع وصلة ما فإن بروتوكول التوجيه يقوم بتحديث جداول التوجيه (ضمن الموجهات) وفي بعض الحالات عند الحواسيب دون تدخل مدير الشبكة.

Popular routing protocols



صيغة جدول التوجيه

□ يحوي جدول التوجيه أربعة حقول على الأقل وهي:

قناع الشبكة Mask

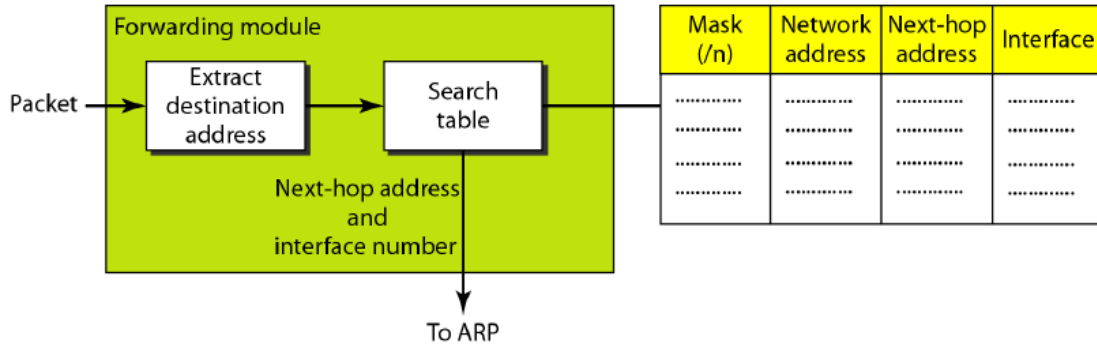
وعنوان الشبكة

وعنوان القفزة التالية Next Hop

وبوابة الخرج Interface.

- ❖ يفيد قناع الشبكة وعنوان الشبكة الوجهة بتعريف عنوان الشبكة التي سيجري تسليم الطرد إليها في آخر قفزة.
- ❖ أما عنوان القفزة التالية فيحدد عنوان الموجه التالي ضمن أفضل مسار إلى الوجهة النهائية.
- ❖ أخيراً، تنفيذ بوابة الخرج في تحديد البوابة التي من خلالها سيجري توجيه الطرد إلى عنوان القفزة التالية.

Simplified forwarding module in classless address



بروتوكولات التوجيه Routing Protocols

□ **بروتوكول التوجيه** هو مجموعة من القواعد والإجراءات التي تسمح للموجهات الموجودة ضمن شبكات مترابطة internet بإعلام بعضها البعض عن التغييرات التي تطرأ على الشبكة.

- توضيح. يجري استخدام المصطلح internet التي تبدأ بحرف صغير للدلالة على أي نوع من الشبكات المترابطة حتى وإن لم تكن موصولة إلى شبكة الإنترنت العالمية، بينما يجري استخدام مصطلح Internet التي تبدأ بحرف كبير للدلالة على شبكة الإنترنت المعروفة.

الأمثلة Optimization

□ هي اختيار المسار الأفضل (المثالي) إلى الوجهة، ولتحديد المسار المثالي يجب علينا تحديد الكلفة cost لكل شبكة يجري المرور عبرها (يطلق أيضاً على الكلفة اسم المقياس metric).

- إلى أن المقياس المحددة لكل شبكة تعتمد على البروتوكول المستخدم، فمثلاً يعامل بروتوكول RIP جميع الشبكات بشكل متساوٍ أو أن كلفة المرور عبر شبكة ما يأخذ القيمة (1) فإذا مر الطرد عبر عشر شبكات للوصول إلى وجهته النهائية فإن الكلفة الكلية للانتقال ستكون مساوية للقيمة 10 قفزات.

- هناك بعض البروتوكولات مثل OSPF والتي تسمح بتحديد كلفة لكل شبكة حسب مقاييس مختلفة مثل معدل النقل أو جودة الخدمة المتاحة أو زمن التأخير.

-1

التوجيه المعتمد على شعاع المسافة

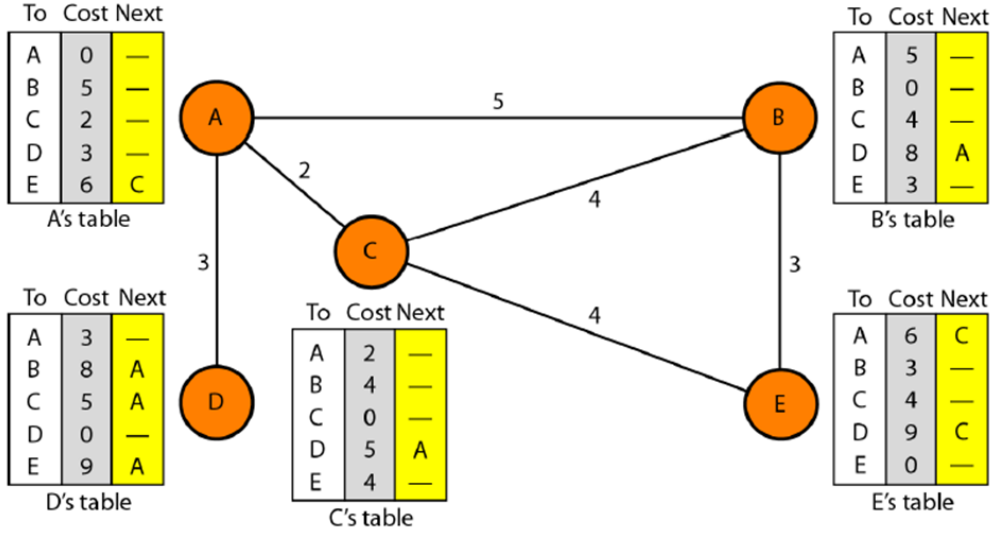
Distance Vector Routing

التوجيه المعتمد على شعاع المسافة

Distance Vector Routing

- في التوجيه المعتمد على شعاع المسافة يكون أفضل مسار بين عقدتين هو المسار ذو المسافة الأصغر، تقوم كل عقدة ضمن هذا النوع من البروتوكولات باستخدام جدول يحوي على أقصر المسافات إلى بقية العقد. يفيد الجدول أيضاً في إرشاد العقدة إلى عنوان القفزة التالية (أو الموقف التالي) للوصول إلى الوجهة.
- يمكننا تشبيه هذا البروتوكول بالخريطة التي يستخدمها السائحون للانتقال من مدينة إلى مدينة أخرى؛ فالمدن تصبح هي الموجهات والطرق بين المدن تصبح الشبكات والخريطة تصبح الجدول الذي يحوي أقصر المسافات بين أي مدينتين وما اسم المدينة التالية للانتقال بين مدينتين.
- يبين الشكل مثلاً عن جداول التوجيه الموجودة ضمن الموجهات.

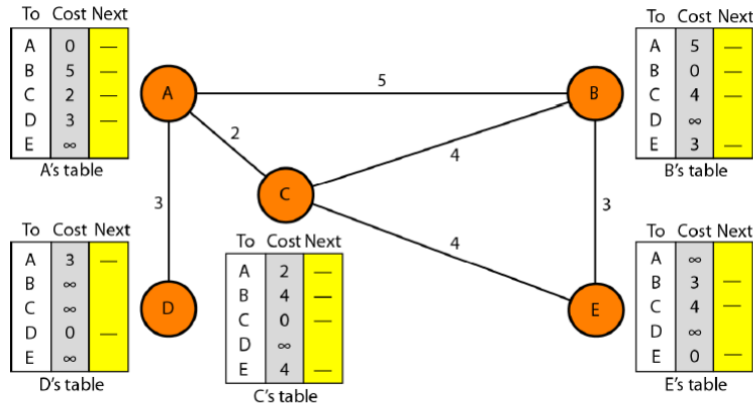
Distance vector routing tables



الإقلاع Initialization

- لاحظ أن الجداول الموضحة في الشكل السابق هي مستقرة، فكل عقدة تعرف كيف توجه الطرود إلى أي عقدة أخرى. لكن كيف يمكن للعقدة أن تبني هذا الجدول وتحافظ عليه وهي لا تستطيع أن تعرف إلا المسافة التي تفصلها عن الجيران المباشرين immediate neighbors أي الموصولين إليها وصلاً مباشراً. سنفترض أن كل عقدة تستطيع أن ترسل جيرانها المباشرين وتعرف منهم المسافة التي تفصلها عنهم.
- يوضح الشكل التالي الجداول البدائية الموجودة ضمن كل عقدة بعد التراسل مع الجيران المباشرين.
- لاحظ أن المسافة إلى غير الجيران تأخذ القيمة لا نهاية ∞ .

Initialization of tables in distance vector routing



المشاركة Sharing

- تكمن الفكرة الرئيسية من بروتوكول شعاع المسافة في مشاركة المعلومات المتوافرة لدى عقدة ما مع جيرانها. فإذا كانت العقدة A لا تعرف شيئاً عن العقدة E فإن العقدة C جارة A تعرف. فإذا استطاعت العقدة A مشاركة معلوماتها مع معلومات العقدة C فيمكن للعقدة A أن تصبح قادرة على معرفة كيفية الوصول إلى E.
- تجري المشاركة فعلياً بالمعلومات الموجودة ضمن أول عمودين من جدول التوجيه بينما يتم استبدال العمود الثالث (Next Hop) بعنوان العقدة المرسله للجدول .
- أما فيما يتعلق بتواتر عملية الإرسال فهي تكون دورية و عندما يحدث تغيير ما في الشبكة.

Note

In distance vector routing, each node shares its routing table with its immediate neighbors periodically and when there is a change.

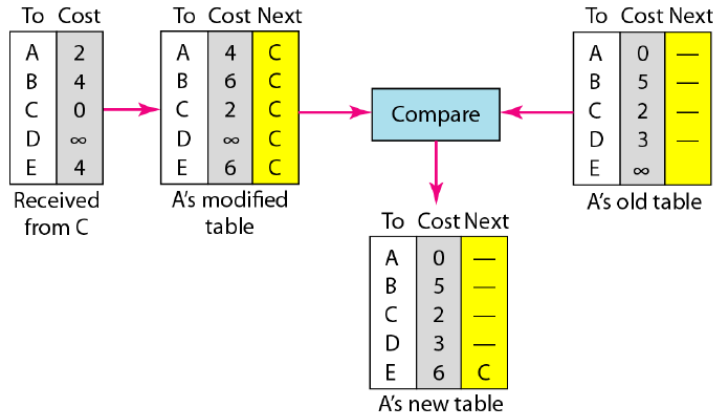
التحديث Updating

- عندما تستقبل عقدة ما لجدول مكون من عمودين من جارة مباشرة لها فإنها تحتاج إلى تحديث جدولها بما يتناسب مع المعلومات المستقبلية. تتم عملية التحديث وفق ثلاث خطوات:
- 1- تحتاج العقدة المستقبلية إلى إضافة سعر الوصلة بينها وبين العقدة المرسله إلى القيم الموجودة ضمن العمود الثاني Cost إذا استقبلت العقدة رسالة من C التي تبعد عنها مسافة 2 وتزعم فيها أن مسافتها عن E هي 4 فتستطيع العقدة A أن تستنتج أن مسافتها عن E ستصبح 6 إذا أرادت المرور عن طريق C.
- 2- تحتاج العقدة المستقبلية إلى إضافة اسم العقدة المرسله إلى عمودها الثالث من كل سطر في حال استخدمت المعلومات المستقبلية. أي أن العقدة المرسله تصبح العقدة التالية في المسار.
- 3- تحتاج العقدة المستقبلية إلى مقارنة المعلومات الموجودة في كل سطر من جدولها القديم مع السطر المقابل ضمن النسخة المعدلة من الجدول المستقبل.
- إذا كان مدخل العقدة التالية next hop entry مختلف فإن العقدة المستقبلية تختار السطر ذو السعر الأقل. في حال التعادل، تحتفظ العقدة بالقيمة السابقة.

- إذا كان مدخل العقدة التالية هو نفسه، فإن العقدة المستقبلية تختار السطر الجديد. لنفترض على سبيل المثال أن العقدة C كانت قد أعلنت مسبقاً أن سعر المسار إلى العقدة X هو 3.
- ولنفترض أنه لم يعد يوجد مساراً إلى العقدة X فإن العقدة C سوف تعلن أن سعر المسار إلى X قد أصبح ∞ يجب على العقدة A أن لا تتجاهل هذا السعر الجديد حتى ولو كان السعر الموجود ضمن جدولها القديم أقل وذلك لأن المسار القديم لم يعد له وجود.
- يوضح الشكل التالي كيف تعدل العقدة A جدول توجيهها القديم بعد استقبال جدول العقدة C.

جدول التوجيه الجديد في شعاع المسافة

Updating in distance vector routing



متى يجب المشاركة؟

- السؤال الذي يطرح نفسه الآن هو متى يجب على عقدة ما إرسال الجدول الجزئي لأنه يحوي عمودين فقط من أصل ثلاثة أعمدة (للتوجيه إلى جميع جيرانها المباشرين؟)
- يجري عادةً إرسال الجدول إما بشكل دوري أو عندما تتغير الشبكة.

التحديث الدوري و التحديث بالقدر Triggered update

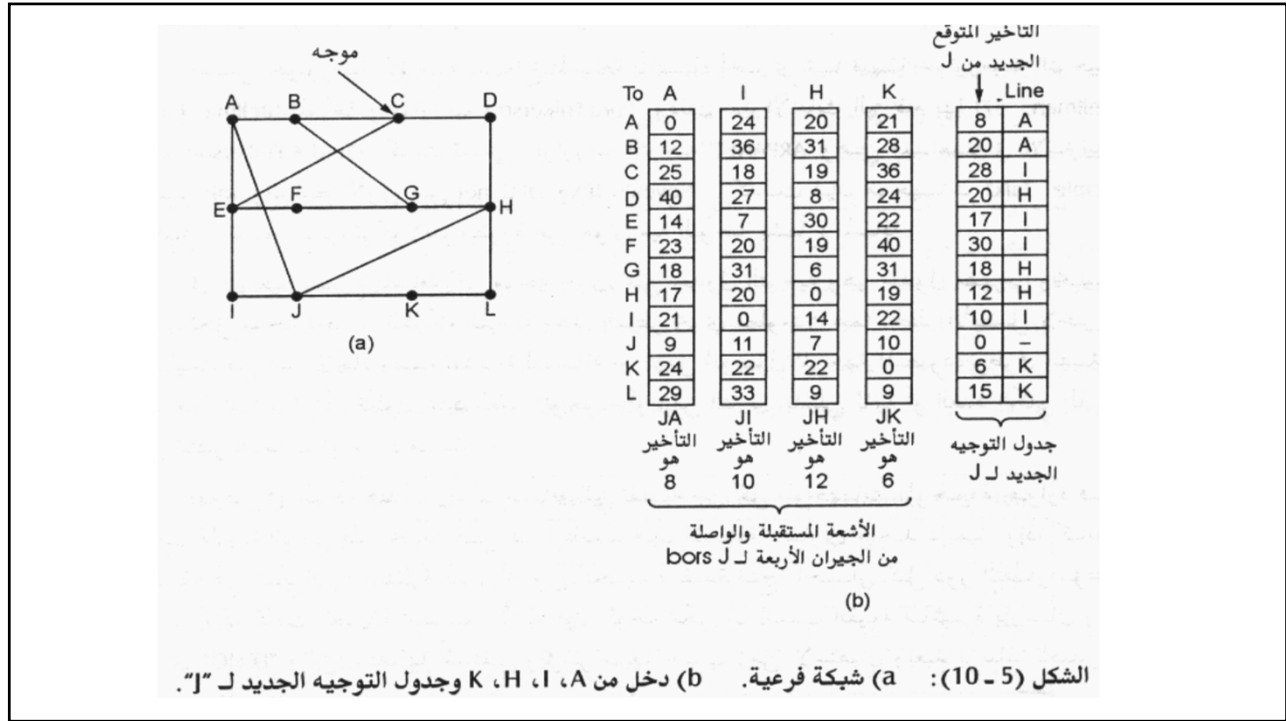
- ترسل كل عقدة جدول التوجيه الجزئي إلى جميع جيرانها المباشرين بشكل دوري عادةً كل 30 ثانية
- ترسل عقدة ما جدول التوجيه الجزئي إلى جيرانها المباشرين عندما يطرأ أي تغيير عليه.
- يمكن أن ينتج التغيير عما يلي:
 1. عندما تستقبل عقدة لجدول توجيه جزئي من عقدة أخرى الأمر الذي يؤدي إلى تغيير جدولها.
 2. تكتشف العقدة حدوث عطل ما أو انقطاع في الوصلات مع أحد جيرانها الأمر الذي يؤدي إلى زيادة سعر الوصلة المقطوعة إلى اللانهاية.

بروتوكول توجيه المعلومات RIP

- يعتمد بروتوكول RIP على شعاع المسافة لتحقيق التوجيه ضمن شبكات مترابطة مع إضافة بعض التعديلات، وهي:
 - 1- نتعامل هنا مع موجات وشبكات و وصلات. توجد جداول التوجيه ضمن الموجات فقط.
 - 2- الوجهة ضمن جدول التوجيه هو شبكة أي أن العمود الأول يحدد شبكة وليس عقدة.
 - 3- يتم تحديد السعر ضمن بروتوكول RIP على أنه عدد الشبكات الفاصلة بين موجتين لذلك تسمى عادةً عدد القفزات.
 - 4- تعرف اللانهاية على أنها القيمة 16 أي أنه يجب أن لا يزيد طول أطول مسار ضمن الشبكة المترابطة عن 15 قفزة.
 - 5- يعرف عمود القفزة التالية (next hop column) عنوان الموجه الذي سيجري إرسال الطرد إليه للوصول إلى وجهته النهائية.

مثال على التوجيه بشعاع المسافة Distance Vector Routing

- خوارزمية التوجيه بشعاع المسافة تعمل على جعل كل موجه يحوي جدول (شعاع) يعطي المسافة المعروفة الأفضل لكل اتجاه وكذلك الخط الواجب السير عليه. ويتم تعديل هذه الجداول عن طريق تبادل المعلومات بين الموجات المتجاورة.
لنفترض أن طريقة القياس المستخدمة هي التأخير وأن الموجه يعرف التأخير من أجل كل موجه يجاوره. بعد أن يعرف الموجه بالتأخيرات الناتجة عن انتقال رزمة لموجه مجاور فإنه يرسل قائمة بهذه القيم التقريبية لكل مجاوريه ويتلقى منهم قوائم مماثلة. وبالتالي فإن كل موجه سيحصل على القيم التقديرية للوصول لمختلف الموجات في الشبكة الفرعية وبالتالي يمكنه معرفة التأخير الأصغري ومعه الطريق الواجب اتباعه لذلك.
- الشكل التالي يبين شبكة فرعية مع جداول التأخير.



- يبين الجزء (a) الشبكة الفرعية. الأعمدة الأربعة الأولى من الجزء (b) تبين أشعة التأخير المستقبلية من العقد (الموجهات) المجاورة للموجه "z" حيث يقدر A أن الوصول لـ B يتطلب 12 ميلي ثانية تأخير و 25 ميلي ثانية تأخير ليصل إلى C و 40 ميلي ثانية لـ D وهكذا.
- ولنفرض أن "z" قام بعملية قياس للتأخير الناتج عن وصول المعطيات لجيرانه A، I، H، K وكانت 6, 12, 10, 8 على التوالي.
- لندرس كيف يحسب z الطريق (المسار) الجديد للوصول G

- يعلم J أنه للوصول لـ A يلزم 8 msec ويدعي A أنه يصل لـ G بـ 18 msec أي أن J " , يعلم أنه ليصل لـ G يتطلب ذلك 26 msec عبر A .
- ويشكل مماثل يحسب التأخير اللازم للوصول إلى "G" عبر K,H,I ويحصل على النتائج $41(31+10)$ و $18(6+12)$ و $37(31+6)$ على التوالي. النتيجة الأفضل هي طبعاً 18 msec ولذلك فإنه يدخل سطر في جدول التوجيه الخاص به أن التأخير الحاصل للوصول إلى G هو 18 msec وأن المسار إلى "C" يتم عبر H.
- وتكرر هذه العملية لكل الاتجاهات الممكنة من أجل جدول التوجيه الجديد المبين في آخر عمود من الشكل السابق.

-2

التوجيه المعتمد على حالة الوصلة

Link State Routing

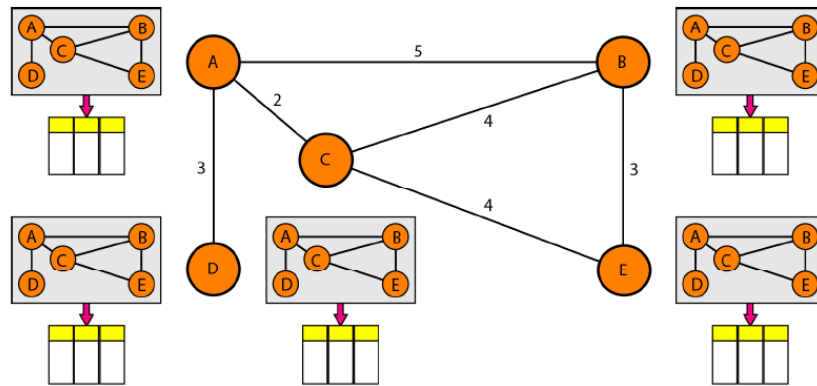
التوجيه المعتمد على حالة الوصلة

Link State Routing

- تعتمد بروتوكولات حالة الوصلة على فلسفة مختلفة والتي تقول: "إذا كانت كل عقدة قادرة على معرفة الطبولوجية الكاملة لترايط الشبكات (أي خريطة العقد والوصلات وكلفة كل وصلة وحالتها)، فإنها تستطيع استخدام خوارزمية **Dijkstra** لبناء جدول التوجيه".

مفهوم بروتوكولات حالة الوصلة

Concept of link state routing



ملاحظات

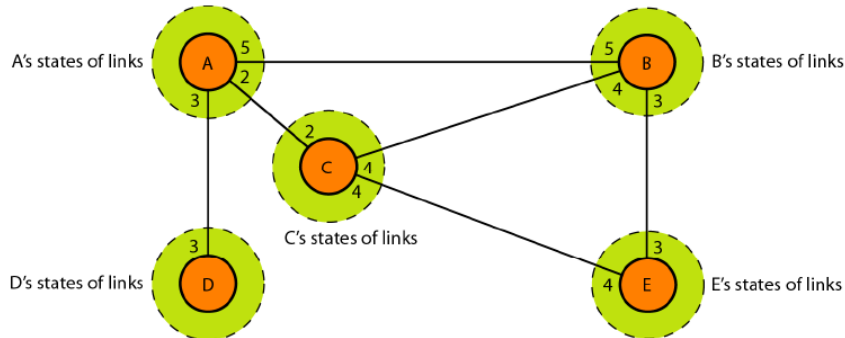
- لاحظ هنا أن كل عقدة تمتلك خريطة ترابط الشبكات الكاملة لذلك فهي قادرة على حساب أقصر طريق للوصول إلى أي وجهة .

لاحظ أيضاً أن وجود نفس الخريطة لدى جميع العقد لا يؤدي إلى كون الطرق المحسوبة في كل عقدة متطابقة وذلك لأن كل عقدة تحسب أقصر الطرق إليها.

- الأمر مشابه لخرائط المدن التي يستخدمها السائحون، فرغم كون خريطة مدينة هي نفسها لدى جميع السائحين إلا أن المسار التي يسلكه سائح ما للوصول إلى منطقة يتعلق بنقطة الانطلاق.

كيف يمكن لكل عقدة أن تعرف الخريطة الكاملة للشبكة وأن تحدث هذه الخريطة في كل لحظة يطرأ تغيير عليها؟

Link state knowledge



توضيح على الشكل

- لاحظ أن كل عقدة تستطيع في أحسن الأحوال اكتشاف الوصلات التي تربطها بجيرانها فقط (أي لديها معلومات مجتزئة عن حالة الشبكة الكلية).
- تعرف العقدة A أنها موصولة إلى كل من B بسعر 5 وإلى C بسعر 2 وإلى D بسعر 3 وكذلك الأمر بالنسبة لبقية العقد.

بناء جداول التوجيه

- يتطلب التوجيه المعتمد على حالات الوصلات أربع مجموعات من العمليات لضمان امتلاك كل عقدة لجدول توجيه يحوي أقصر الطرق (الطريق الأقل سعرًا) إلى بقية العقد.
1. تنشئ كل عقدة رزمة حالة الوصلة (LSP) Link State Packet والتي تحوي حالة وكلفة وصلاتها مع جيرانها المباشرين.
 2. تعمم هذه الرزمة على جميع العقد (الموجهات) باستخدام خوارزمية تعويم Flooding فعالة وموثوقة.
 3. تشكل شجرة أقصر الطرق من قبل كل عقدة.
 4. يحسب جدول التوجيه على أساس شجرة أقصر الطرق المحسوبة مسبقًا.

إنشاء رزمة LSP

• تحوي رزمة LSP في الحالة العامة على كمية كبيرة من المعلومات لكننا سنقتصر على المعلومات الهامة منها مثل هوية العقدة وقائمة الوصلات ورقم تسلسلي وعمر.

تفيد أول معلومتين في بناء الطبولوجية الكاملة للشبكة؛ يفيد الرقم التسلسلي في تسهيل عملية تعميم أو تعويم طرد LSP على جميع العقد؛ بينما يفيد عمر الرزمة في منع بقائها لفترة طويلة ضمن الشبكة المترابطة.

توليد رزم LSP

□ يجري توليد رزم LSP في حالتين:

1. عندما يحدث تغيير في طبولوجية الشبكة المترابطة.
2. على أساس دوري. بما أنه لا توجد حاجة فعلية لإرسال رزمة LSP دوريًا إلا للتخلص من الطرود القديمة فيجري تطويل هذا الدور إلى حوالي 60 دقيقة أو حتى ساعتين.

تعميم رزم LSPs:

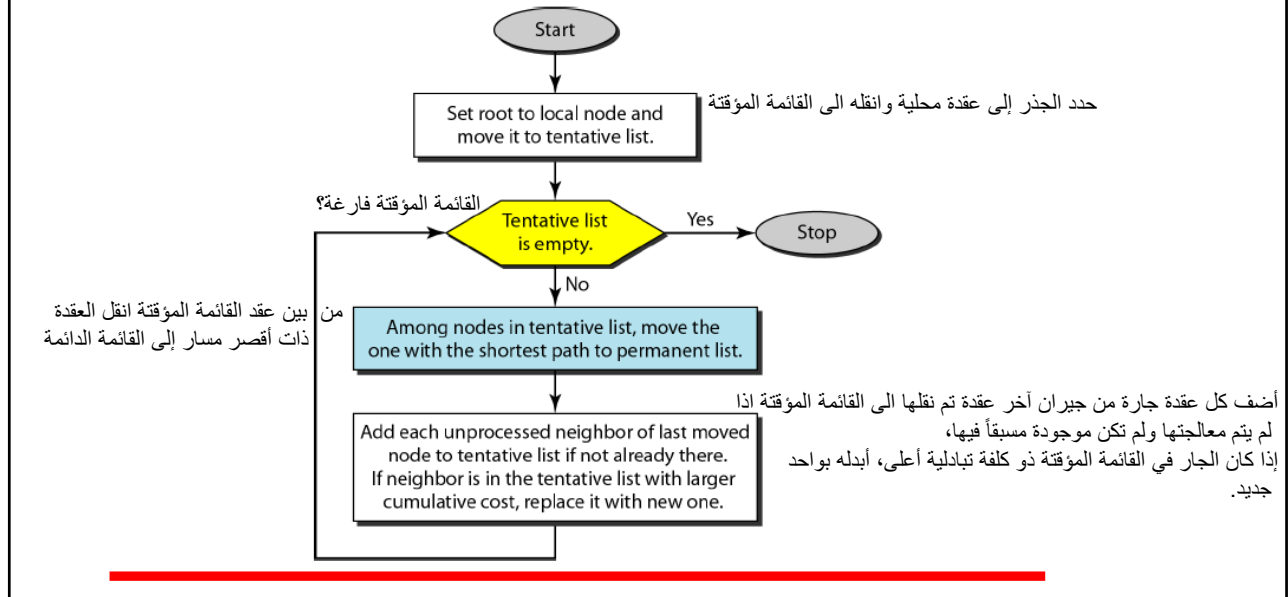
□ بعد أن تكون كل عقدة قد انتهت من تحضير رزمة LSP فإنها تقوم بتعميمه على جميع العقد (وليس الجيران المباشرين فقط) يجري هنا استخدام خوارزمية تعميم خاصة كما يلي:

- 1- ترسل العقدة، التي ولدت الرزمة، نسخة منها على كل بوابة من بواباتها.
- 2- عندما تستقبل عقدة ما لرزمة LSP فإنها تقوم بمقارنتها مع النسخة الموجودة لديها (أي الرزمة السابقة من نفس المصدر). فإذا كانت الرزمة المستقبلية أقدم من الرزمة الموجودة مسبقاً (تختبر هنا الرقم التسلسلي للرزمة) فإن العقدة المستقبلية تهمل الرزمة. أما إذا كان أحدث فإنها تقوم بما يلي:
 - إهمال الرزمة القديمة والاحتفاظ بالرزمة الجديدة.
 - إرسال نسخة عن الرزمة الجديدة على جميع البوابات ما عدا البوابة التي وصلت منها الرزمة.

تشكيل شجرة أقصر الطرق باستخدام خوارزمية Dijkstra:

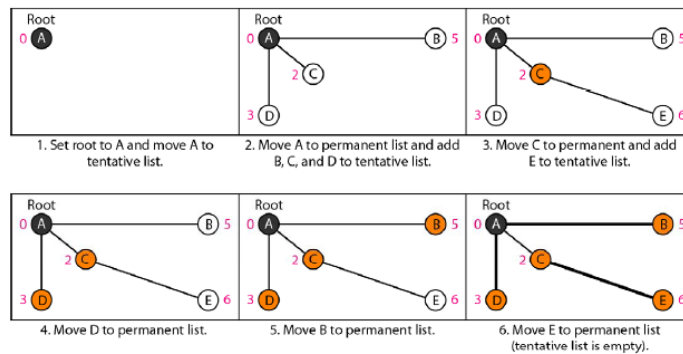
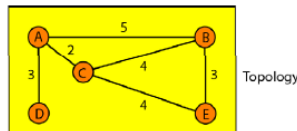
- يتكون لدى كل عقدة، بعد استقبال طرود LSPs من جميع عقد الشبكة، خريطة الطوبولوجية الكاملة لترابط الشبكات. لكن هذه الخريطة لا تنفع بشيء إذا لم نعلم بحساب أقصر الطرق.
- تتألف الشجرة من عقد ووصلات وجذر. يمكن الوصول إلى أي عقدة من عقد الشجرة باستخدام مسار واحد فقط.
- **تعريف:** شجرة أقصر الطرق هي الشجرة التي يكون فيها كل طريق من الجذر إلى أي عقدة هو أقصر الطرق.
- تُنشئ خوارزمية Dijkstra شجرة أقصر الطرق انطلاقاً من بيان Graph. تقسم الخوارزمية العقد إلى مجموعتين: مؤقتة Tentative ودائمة Permanent. تقوم بإيجاد جيران عقدة حالية وجعلهم مؤقتين واختبارهم حسب مواصفة ما لجعلها دائمة.

Dijkstra algorithm



مثال عن تشكيل شجرة أقصر الطرق

Example of formation of shortest path tree



شرح خوارزمية المثال

- 1- نجعل العقدة A جذرًا للشجرة وننقلها إلى القائمة المؤقتة - القائمة الدائمة فارغة والقائمة المؤقتة تحوي A(0)
- 2- تمتلك العقدة A أقل كلفة تراكمية من بين جميع عقد القائمة المؤقتة. نقوم بإضافة A إلى القائمة الدائمة وإضافة جميع جيرانها المباشرين إلى القائمة المؤقتة [القائمة الدائمة تحوي (A(0) والقائمة المؤقتة تحوي B(5), D(3), C(2)]
- 3- تمتلك العقدة C أقل سعر تراكمي من بين جميع عقد القائمة المؤقتة. ننقل C إلى القائمة الدائمة.
يوجد للعقدة C ثلاثة جيران؛ لكن بما أننا قمنا مسبقًا بمعالجة العقدة A مما يجعل الجيران غير المعالجين هم E, B لكن B موجود حاليًا ضمن القائمة المؤقتة بسعر تراكمي 5 تستطيع العقدة A الوصول إلى العقدة B عن طريق C لكن بسعر تراكمي 6 لكن بما أن القيمة القديمة 5 هي أقل فنقوم بالاحتفاظ بها ضمن القائمة المؤقتة (القائمة المؤقتة تحوي (E (6), D(3), B(5)). والقائمة الدائمة تحوي (2) C, A(0)

- 4- تمتلك العقدة D أقل سعر تراكمي من بين جميع عقد القائمة المؤقتة، ننقل D إلى القائمة الدائمة. لا تحوي D أي جار لم يجر معالجته فلا نضيف أي عقدة إلى القائمة المؤقتة، والقائمة المؤقتة تحوي B(5), E(6) وأما القائمة الدائمة فتحوي الآن (3) D, C(2), A(0)
- 5- تمتلك العقدة B أقل سعر تراكمي من بين جميع عقد القائمة المؤقتة، ننقل B إلى القائمة الدائمة. نحتاج الآن إلى إضافة جيران B الذين لم تجر معالجتهم بعد (أي العقدة E) لكن؛ بما أن السعر التراكمي للعقدة E السابق وهو 6 موجود داخل القائمة وهو أقل من السعر الجديد 8 فنحتفظ بالسعر القديم وبالعقدة E داخل القائمة المؤقتة، (القائمة الدائمة تحوي الآن (3) D, C(2), B(5), A(0) والقائمة المؤقتة تحوي (E(6)).
- 6- ننقل الآن العقدة E إلى القائمة الدائمة، بما أنها لا يوجد جيران لم تجر معالجتهم بالنسبة للعقدة E فتصبح القائمة المؤقتة فارغة ونوقف التنفيذ، تصبح شجرة أقصر الطرق جاهزة والقوائم النهائية هي: القائمة الدائمة تحوي (6) E, D(3), C(2), B(5), A(0) والقائمة المؤقتة فارغة.

حساب جدول التوجيه من شجرة أقصر الطرق

Routing table for node A

<i>Node</i>	<i>Cost</i>	<i>Next Router</i>
A	0	—
B	5	—
C	2	—
D	3	—
E	6	C

البروتوكول المفتوح لإيجاد أقصر الطرق أولاً Open Shortest Path First (OSPF)

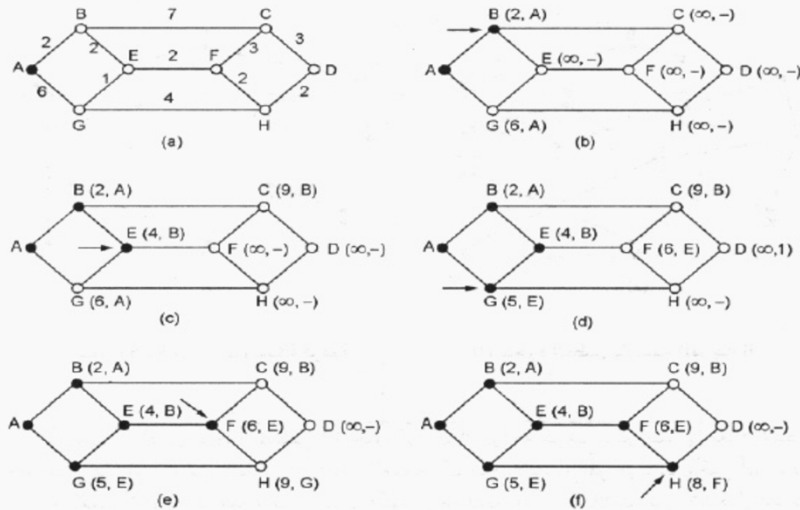
□ لزيادة فعالية بروتوكول OSPF الذي يعتمد على حالات الوصلات، فإنه يقوم بتقسيم النظام المستقل Autonomous System (AS)، إلى مناطق Areas.

يجب أن تكون جميع الشبكات داخل منطقة واحدة مترابطين مع بعضهم البعض والنظام المستقل هو مجموعة من الشبكات والموجهات تحت سلطة إدارة واحدة.

مثال على التوجيه بالمسار الأقصر Shortest Path Routing

• هذه التقنية بسيطة وسهلة الفهم، الفكرة هي بناء مخطط (Graph) بحيث تكون كل عقدة من هذا المخطط ممثلة لموجه وكل ضلع من هذا المخطط يمثل خط اتصال (غالباً ما يدعى وصلة).

توجد الخوارزمية الطريق الأقصر بين زوج من الموجهات على المخطط، لإيجاد المسار الأمثل بين موجهين فإن إحدى الطرق هي إحصاء العقد الموجودة عليه (عدد الموجهات) كما في الشكل التالي:



الشكل (5 - 6) : المراحل الخمسة الأولى المستخدمة لحساب المسار الأقصر بين A و D. الأسهم تشير إلى عقدة بحالة عمل.

- في الشكل (6-5-a)، حيث أن الأوزان المعطاة هنا هي المسافة بين العقد (المسافة الجغرافية) ونريد إيجاد المسار الأصغر بين العقدتين A و D.
- في البداية نعتبر العقدة A كمتحوّل ثم نختبر بالانتقال لكافة العقد الموجودة بجوار A (العقد الفعالة) ونربط كل عقدة بالمسافة التي تفصلها عن A.
- وعندما تصبح العقدة مرتبطة بهذا الشكل فإننا ننسب إليها القيمة التي وصلنا بها إليها انطلاقاً من العقدة التي انطلقنا منها.
- ويمكننا بناء المسار النهائي في النهاية بعد تكرار ذلك مع كل العقد المجاورة لـ A. ثم نختبر كل العقد التي نسبت إليها قيمة مبدئية في البيان ونجعل العقدة ذات القيمة الأصغر هي المتحول التالي بعد A.

- ننتقل الآن من العقدة B ونختبر كل العقد المجاورة لها فإذا كان مجموع القيمة المنسوبة لـ B مع المسافة من العقدة B للعقدة المقصودة أصغر من القيمة المنسوبة لهذه العقدة فإننا نكون قد حصلنا على طريق أقصر للوصول لهذه العقدة وننسب قيمة هذا الطريق (طوله) إلى العقدة المقصودة.
- بعد اختبار جميع العقد المتجاورة مع العقدة الفعالة وتعتبر القيمة الابتدائية (الأولية) المنسوبة للعقد إذا كان ذلك ممكناً فإننا نكون قد حصلنا على المسار الأقصر من أجل القيم الابتدائية المنسوبة للمسارات التي تجاورها وهكذا، الشكل (6-5) يمثل المراحل الخمسة الأولى من الخوارزمية.

معايير القياس

• يتم تحديد هذه القيمة المميزة لأضلاع البيان عادةً :

كتابع للمسافة

وعرض الحزمة

ومعدل الرزم المستعملة لهذا الضلع

وتكلفة الاتصال

وطول خط الانتظار عليه

والتأخير الذي يجري لرزم ضمنه

وكذلك عوامل أخرى

ويتم ذلك بتغيير أهمية هذه العوامل ثم حساب المسافة الصغرى (المسار الأصغرى) حسب إحداها أو حسب تركيبة معينة منها.

تشكيل المناطق ضمن نظام مستقل

□ يسمح بروتوكول OSPF لمدير النظام بتحديد كلفة (وتدعى Metric) لكل طريق. يمكن أن يكون المقياس متعلقًا بجودة الخدمة كزمن التأخير أو معدل نقل المعطيات الأعظمي وغيرها.

➤ **نوع الوصلة:** يدعى الاتصال وفق بروتوكول OSPF باسم وصلة وتوجد أربعة أنواع للوصلات:

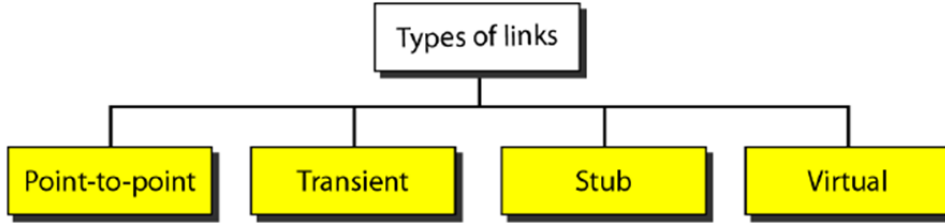
▪ نقطة لنقطة Point-to-point

▪ عابرة Transient

▪ صادمة Stub

▪ افتراضية Virtual

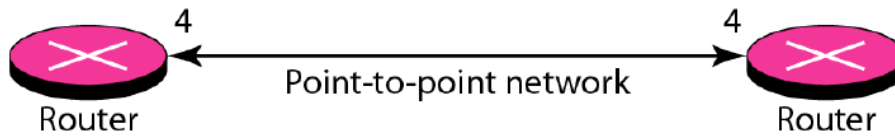
Types of links



وصلة نقطة لنقطة

- تربط **وصلة نقطة لنقطة** موجهين فقط دون وجود أي موجه أو محطة بينهما.
- يجري أيضاً تحديد المقياس الذي يكون عادةً نفسه على طرفي الوصلة كما هو مبين في الشكل التالي.

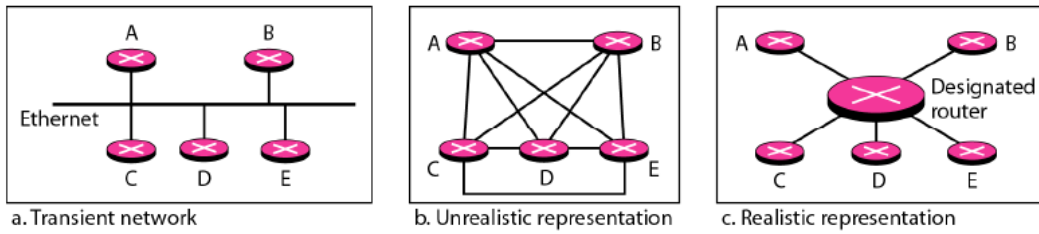
Point-to-point link



الوصلة العابرة

- هي عبارة عن شبكة موصول إليها عدة موجهات، يمكن أن تدخل المعطيات عن طريق أي موجه وتخرج عن طريق أي موجه آخر، تنتمي جميع الشبكات المحلية وبعض الشبكات الواسعة إلى هذا النوع من الوصلات.

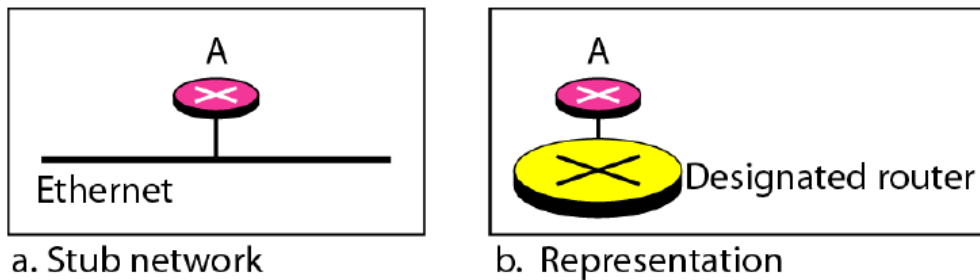
Transient link



الوصلة القصيرة (الصادمة):

- هي عبارة عن شبكة موصولة إلى موجه واحد فقط.

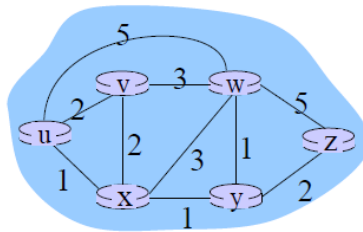
Stub link



التمثيل البياني

التمثيل البياني

Graph abstraction



Graph: $G = (N, E)$

$N = \text{set of routers} = \{ u, v, w, x, y, z \}$

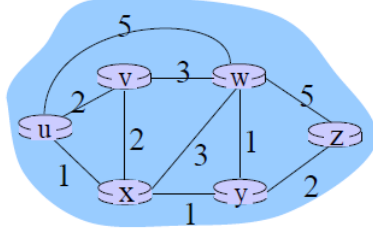
$E = \text{set of links} = \{ (u,v), (u,x), (v,x), (v,w), (x,w), (x,y), (w,y), (w,z), (y,z) \}$

Remark: Graph abstraction is useful in other network contexts

Example: P2P, where N is set of peers and E is set of TCP connections

التمثيل البياني

Graph abstraction: costs



• $c(x,x')$ = cost of link (x,x')

- e.g., $c(w,z) = 5$

• cost could always be 1, or inversely related to bandwidth, or inversely related to congestion

Cost of path $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_p) = c(x_1, x_2) + c(x_2, x_3) + \dots + c(x_{p-1}, x_p)$

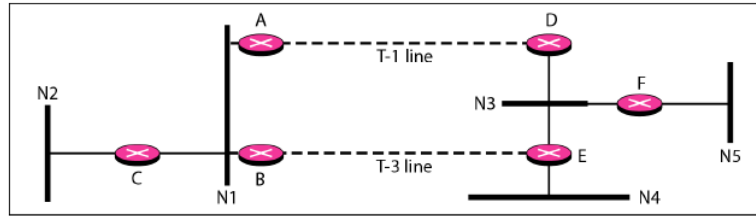
Question: What's the least-cost path between u and z ?

Routing algorithm: algorithm that finds least-cost path

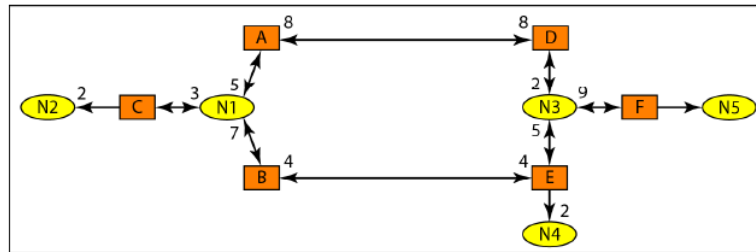
التمثيل البياني

- **التمثيل البياني:** يبين الشكل التالي التمثيل البياني لنظام مستقل AS مؤلف من سبع شبكات وستة موجهات.
- نستخدم هنا الرموز N1, N2 للشبكات العابرة والشبكات الصادمة والمستطيلات للدلالة على الموجهات والأشكال البيضاوية للدلالة على الشبكات.
- تدل الرموز T-1 و T-3 على أنواع من الدارات المخصصة نقطة لنقطة التي يجري عادةً استئجارها من مزود خدمة الاتصالات.

Example of an AS and its graphical representation in OSPF



a. Autonomous system



b. Graphical representation

Initial routing tables in path vector routing

Dest.	Path
A1	AS1
A2	AS1
A3	AS1
A4	AS1
A5	AS1

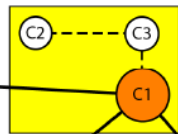
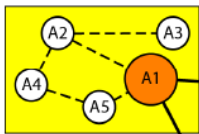
A1 Table

AS 1

Dest.	Path
C1	AS3
C2	AS3
C3	AS3

C1 Table

AS 3



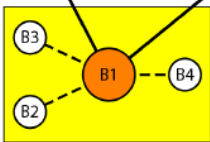
Dest.	Path
D1	AS4
D2	AS4
D3	AS4
D4	AS4

D1 Table

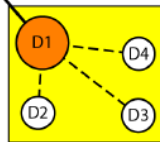
AS 4

Dest.	Path
B1	AS2
B2	AS2
B3	AS2
B4	AS2

B1 Table



AS 2



AS 4

3-
Path Vector Routing

Stabilized tables for three autonomous systems

Dest.	Path	Dest.	Path	Dest.	Path	Dest.	Path
A1	AS1	A1	AS2-AS1	A1	AS3-AS1	A1	AS4-AS3-AS1
...
A5	AS1	A5	AS2-AS1	A5	AS3-AS1	A5	AS4-AS3-AS1
B1	AS1-AS2	B1	AS2	B1	AS3-AS2	B1	AS4-AS3-AS2
...
B4	AS1-AS2	B4	AS2	B4	AS3-AS2	B4	AS4-AS3-AS2
C1	AS1-AS3	C1	AS2-AS3	C1	AS3	C1	AS4-AS3
...
C3	AS1-AS3	C3	AS2-AS3	C3	AS3	C3	AS4-AS3
D1	AS1-AS3-AS4	D1	AS2-AS3-AS4	D1	AS3-AS4	D1	AS4
...
D4	AS1-AS3-AS4	D4	AS2-AS3-AS4	D4	AS3-AS4	D4	AS4

A1 Table
B1 Table
C1 Table
D1 Table

Internal and external BGP sessions

