مقدمة عن
شبكات الحاسب والإنترنت

Introduction to Computer Networks and the Internet

محتويات الفصل:

- ما هي الإنترنت؟
- حافة الشبكة
- قلب الشبكة
- التأخير، والفقد، والطاقة الإنتاجية في شبكات تحويل الرزم
- طبقات البروتوكولات ونماذج الخدمة الخاصة بها
- أمن الشبكات
- تاريخ شبكات الحاسب والإنترنت
- الخلاصة

ابتداءً من متصفحات الويب في الهواتف الخلوية إلى المقاهي الموصّلة لاسلكياً بالإنترنت، ومن الشبكات المنزلية بوصول سريع وحيز ترددي عريض إلى البنية المعلوماتية التحتية بمواقع العمل التقليدية حيث يوجد حاسب موصل بالشبكة على كل مكتب، إلى السيارات المشبّكة، إلى المجسّات (أجهزة الاستشعار) البيئية المشبّكة، إلى إنترنت ما بين الكواكب – لاشك في أن شبكات الحاسب موجودة الآن بشكلٍ أساسي في كل مكان، كما يجري تطوير تطبيقات جديدة ومثيرة لتوسيع مدى وصول شبكات اليوم إلى حدود أبعد. سيزوّدك هذا الكتاب بمقدمة حديثة عن المجال الديناميكي لشبكات الحاسب،حيث سيزودك بالمبادئ الأساسية والعملية التي تحتاجها لفهم الشبكات، ليس فقط شبكات اليوم بل وشبكات الغد كذلك.

في هذا الفصل سنقدّم نظرة عامة عن شبكات الحاسب والإنترنت. سوف نغطّي الكثير من الموضوعات في هذا الفصل التمهيدي ونناقش العديد من مكونات شبكات الحاسب بدون إغفال للصورة العامة. لذا فهذا الفصل يضع الأساس لبقيّة فصول الكتاب.

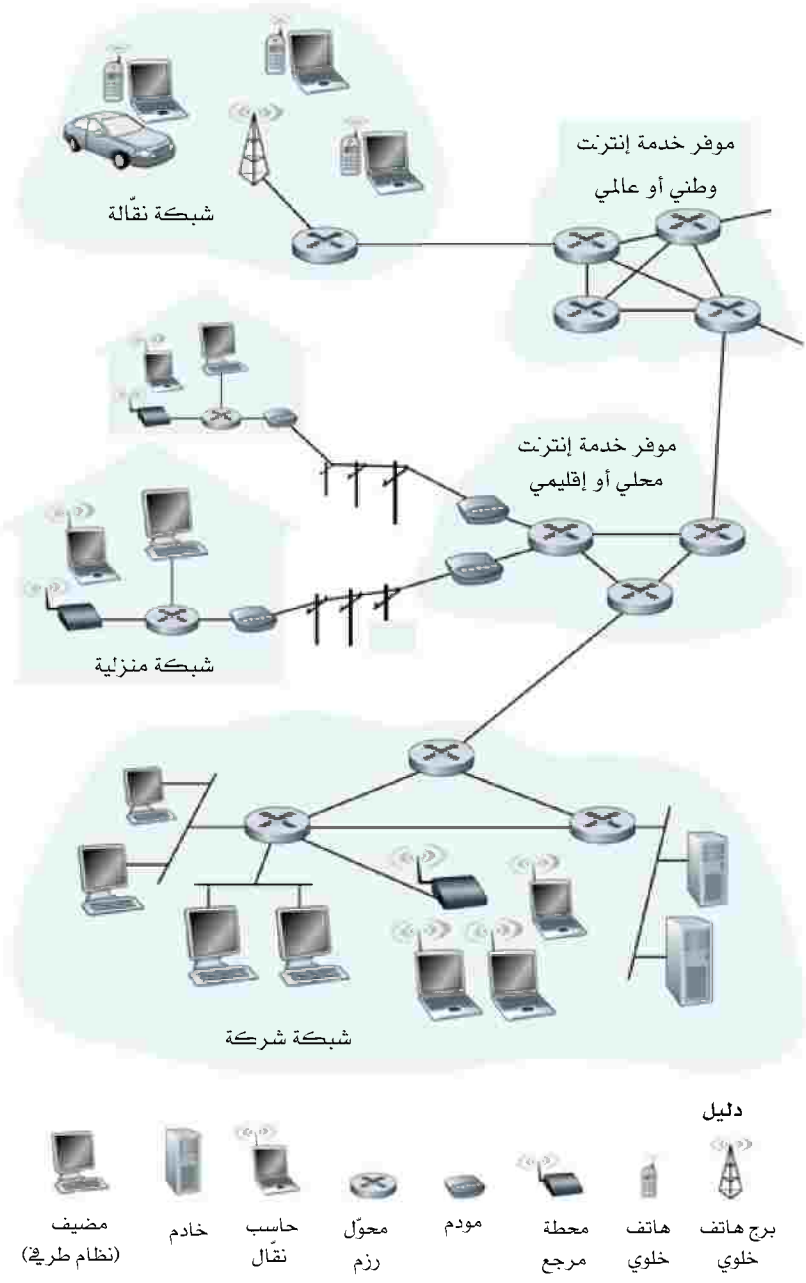
سوف نُنشئ التصور العام لشبكات الحاسب في هذا الفصل كالتالي: بعد تقديم بعض المصطلحات والمفاهيم الأساسية، سنتناول المكونات الأساسية المادية (hardware) والبرمجية (software) التي تشكّل الشبكة، سنبدأ من حواف الشبكة حيث الأنظمة الطرفية (end systems) والتطبيقات الجاري تشغيلها على الشبكة، بعد ذلك سندلف لاستكشاف قلب شبكة الحاسب، وذلك بفحص الوصلات (links) والمحوّلات (switches) التي تنقل البيانات، بالإضافة إلى شبكات الوصول والوسائط المادية التي تربط الأنظمة الطرفية بقلب الشبكة. وسنرى حينئذٍ أن الإنترنت هي شبكة تتألف من شبكات، وسندرك كيف ترتبط تلك الشبكات ببعضها.

بعد استعراض هذه الصورة العامّة لحافة وقلب الشبكة، سنلقي نظرة أكثر تجريداً وشمولاً في النصف الثاني من هذا الفصل، حيث سنتناول اعتبارات التأخير (delay)، والفقد (loss)، والطاقة الإنتاجية (أى معدل تدفق البيانات)

(throughput) في شبكة الحاسب. كما سنقدم نماذج كمّية بسيطة لمعدل التدفق والتأخير من طرف إلى طرف آخذين في الاعتبار التأخير بسبب الإرسال (transmission)، وانتقال الإشارة (propagation)، والانتظار في الصف (الطابور) (queueing). ثم نتناول بعد ذلك بعض المبادئ الأساسية في معمارية شبكات الحاسب، وبالتحديد طبقات البروتوكولات ونماذج تبادل الخدمات بين تلك الطبقات، وسنرى أيضاً كيف أن شبكات الحاسب عرضة لأنواع كثيرة من الهجمات التى سنتناول بعضها بالشرح، ونعرف كيف يمكن جعل تلك الشبكات أكثر أمناً، وأخيراً سنختم هذا الفصل باستعراض مختصر لتاريخ شبكات الحاسب.

1-1 ما هي الإنترنت؟

في هذا الكتاب سنتخذ من الإنترنت العامّة – كشبكة حاسب محددة – وسيلة رئيسية لشرح شبكات الحاسب وبروتوكولاتها. ولكن ما هي الإنترنت؟ كنا نتمنى أن نعطي هنا تعريفاً من جملة واحدة للإنترنت، تعريفاً شاملاً يمكنك أن تأخذه إلى المنزل وتشارك فيه عائلتك وأصدقاءك. ولكن للأسف الإنترنت كائن معقّد للغاية ودائم التغير باستمرار، سواءً من حيث مكوناتها المادية (hardware) والبرمجية (software)، أو من حيث الخدمات التي توفرها. ولذا، فبدلاً من إعطاء تعريف من جملة واحدة، سنحاول إتباع منهج أكثر تفصيلاً. هناك طريقتان للقيام بذلك: تعتمد الطريقة الأولى على وصف تفاصيل ودقائق الإنترنت، أي مكوناتها الأساسية من مكونات مادية وبرمجية. في حين تعتمد الطريقة الثانية على وصف الإنترنت كبنية تحتية من الشبكات التى توفر خدمات للتطبيقات الموزّعة. لنبدأ بوصف تفاصيل ودقائق مكونات الإنترنت، مع الاستعانة بالشكل 1-1 لتوضيح الصورة.



الشكل 1-1 بعض مكونات الإنترنت.

1-1-1 وصف المكونات

الإنترنت شبكة حاسب تربط بين الملايين من الأجهزة الحاسبة في مختلف أنحاء العالم. منذ عهد ليس بالبعيد، كانت تلك الأجهزة الحاسبة تتكون أساساً من حاسبات مكتب شخصية تقليدية أو محطات عمل لاينكس (Linux)، وما يسمّى بالخادمات (servers) التي تخزن وترسل المعلومات كصفحات الويب ورسائل البريد الإلكتروني. ولكن في الآونة الأخيرة تزايد بشكلٍ مضطرد عدد الأنظمة الطرفية غير التقليدية للإنترنت، كالمساعدات الرقمية الشخصية (PDAs)، وأجهزة التليفزيون، والحاسبات النقّالة، والهواتف الخلوية، وكاميرات الويب، والسيارات، والمجسات البيئية، وإطارات الصور، والأنظمة الكهربية والأمنية للمنازل. في الواقع لقد أصبح تعبير "شبكة حاسب" تعبيراً لا يمثل الحقيقة إلى حدٍّ ما، لوجود العديد من الأجهزة غير التقليدية الموصلة بالإنترنت الآن. حسب مفردات الإنترنت، يطلق على كل تلك الأجهزة أنظمة طرفية أو مضيفات (hosts). في يوليو/تموز عام 2006 وصل عدد الأنظمة الطرفية التي تستخدم الإنترنت إلى 400 مليون نظام طرفي، وهذا العدد في تزايد مضطرد وسريع [ISC 2007].

يتم توصيل الأنظمة الطرفية سوية بواسطة شبكة اتصال ومحوّلات رزم (packet switches). وسنرى في الجزء 1-2 أن هناك العديد من وصلات الاتصال المصنوعة من أنواع مختلفة من وسائط النقل المادية تضم الكبلات المحورية، والأسلاك النحاسية، والألياف الضوئية، وطيف ترددات الراديو. يمكن للوصلات المختلفة إرسال البيانات بمعدلات مختلفة، حيث يقاس معدل إرسال البيانات على الوصلة بعدد البتات المرسلة فى الثانية (بت/ثانية). عندما يتوافر لدى نظام طرفي بيانات للإرسال إلى نظام طرفي آخر، يقوم نظام الإرسال بتجزئة البيانات وإضافة بايتات الترويسة (header bytes) إلي كل جزء. في مفردات شبكات الحاسب يُطلق على حزم البيانات الناتجة رزم. يتم إرسال الرزم بعد ذلك عبر الشبكة إلى النظام الطرفي المستهدف، حيث يعاد تجميعها من جديد للحصول على البيانات الأصلية.

يتسلم محوّل الرزم الرزمة من إحدى وصلات الاتصال القادمة إليه، ويرسلها عبر إحدى وصلات الاتصال الخارجة منه. وتتخذ محوّلات الرزم أشكالاً مختلفة، لكن النوعين الأبرز في الإنترنت اليوم هما الموجّهات (routers) ومحوّلات طبقة ربط البيانات (link-layer switches). يُرسل كلا النوعين من المحوّلات الرزم باتجاه وجهتها النهائية. وسوف نفحص بالتفصيل الموجّهات في الفصل الرابع ومحوّلات طبقة ربط البيانات في الفصل الخامس. تعرف سلسلة وصلات الاتصال ومحوّلات الرزم التي تعبرها رزمة تخرج من النظام الطرفي المُرسِل إلى النظام الطرفي المُستقبل بـ "مسار" (route) عبر الشبكة. تعتبر شبكات تحويل الرزم التي استحدثت في السبعينيات من القرن الماضي السلف الأول لإنترنت اليوم. من الصعوبة بمكان تقدير حركة البيانات المنقولة على شبكة الإنترنت على وجه الدقة [Odylsko 2003]، ومع ذلك فقد أعلنت شركة AOL (وهي أحد موفري خدمة الإنترنت) عام 2005 أن حركة بيانات الإنترنت كانت تدخل شبكتها بمعدل 250 جيجابت/ثانية [Gill 2005]. ويقدّر [PriMetrica 2007] أنّ 5 تيرابت/ثانية من سعة حركة البيانات الدولية تم استخدامها من قبل الناقلين العموميين (public carriers) في عام 2006، وأن عرض الحيز الترددي (bandwidth) المستخدم في الاتصالات يتضاعف مرة واحدة كل عامين تقريباً.

تشبه شبكات تحويل الرزم (التي تنقل رزم البيانات) في كثير من جوانبها شبكات المواصلات من الطرق والشوارع والتقاطعات (التي تنقل المركبات). خذ على سبيل المثال مصنعاً يحتاج لنقل كمية كبيرة من البضائع إلى مخزن على بعد آلاف الكيلومترات منه. يتم في المصنع تقسيم البضاعة إلى أجزاء وتحميلها على أسطول من الشاحنات، تنطلق كل شاحنة بشكلٍ مستقل عبر شبكة من الشوارع والطرق السريعة والتقاطعات باتجاه المخزن المستهدف. وفيه يتم تفريغ حمولات الشاحنات وتجميعها مع بعضها. يتضح وجود تشابه بين نقل البيانات ونقل البضائع من عدة جوانب، حيث تشبه الرزم الشاحنات، وتناظر وصلات الاتصال الشوارع والطرق السريعة، وتماثل محوّلات الرزم تقاطعات الطرقات، بينما تشبه الأنظمة الطرفية البنايات (المصنع والمخزن). وتماماً كما تأخذ الشاحنة مسارها عبر شبكة المواصلات، تأخذ رزمة البيانات مسارها عبر شبكة الحاسب.

تتواصل الأنظمة الطرفية مع الإنترنت عن طريق موفري خدمة الإنترنت (ISPs)، بما في ذلك موفري خدمة الإنترنت السكنية كشركة AOL، وشركات الكبل أو الهاتف المحلية، وشركات توفير خدمة الإنترنت للشركات وللجامعات، وكذلك موفري خدمة الإنترنت التي توفر تواصلاً لاسلكياً مع الشبكة في المطارات والفنادق والمقاهي وغيرها من الأماكن العامة كشركة T-Mobile. يعتبر كل موفر لخدمة الإنترنت في حد ذاته شبكة من محوّلات الرزم ووصلات الاتصال. ويقدم موفرو خدمة الإنترنت للأنظمة الطرفية تشكيلة من طرق الوصول للشبكة، بما في ذلك الاتصال عبر خط الهاتف عن طريق المودم بسرعة 64 كيلوبت/ثانية، والوصول المنزلي بحيز ترددي عريض باستخدام مودم كبلي أو وصلة DSL، والوصول عالي السرعة عن طريق شبكة محلية (LAN)، والوصول اللاسلكي. كما يقدم موفرو خدمة الإنترنت طرقاً للوصول للشبكة تمكن مزودي المحتوى من توصيل مواقع الويب مباشرةً إلى الإنترنت. لتحقيق الاتصال ما بين مستخدمي الإنترنت وتمكينهم من الوصول للمحتوى العالمي للشبكة، يتم ربط موفري الخدمة هؤلاء (في المستوى الأدنى) بمزوّدي خدمة الإنترنت الوطنيين والدوليين (في مستوى أعلى)، مثل AT&T وSprint. تتضمن شبكة موفري خدمة الإنترنت في المستوى الأعلى موجّهات سريعة مشبَّكة بوصلات ألياف ضوئية سريعة. تدار كل شبكة من شبكات موفري خدمة الإنترنت، سواء من المستوى الأدنى أو الأعلى، بشكلٍ مستقل وتعمل ببروتوكول IP (انظر أدناه)، كما تتوافق مع عدة أعراف متفق عليها من حيث التسمية والعنونة. سوف نستعرض موضوع موفري خدمة الإنترنت وطرق ربطهم بتفصيل أكثر في الجزء 1-3.

تعمل الأنظمة الطرفية ومحوّلات الرزم وغيرها من مكونات الإنترنت ببروتوكولات تنظم عملية إرسال واستلام المعلومات عبر الإنترنت. ويعتبر بروتوكول التحكم في الإرسال (TCP) وبروتوكول الإنترنت (IP) من أهم بروتوكولات الإنترنت، حيث يحدّد بروتوكول الإنترنت IP صيغة الرزم التي ترسل وتستلم بين الأنظمة الطرفية والموجّهات. يطلق على بروتوكولات الإنترنت الرئيسية

بشكلٍ جماعي مجموعة بروتوكولات TCP/IP (سنبدأ باستعراض البروتوكولات في هذا الفصل التمهيدي، ولكن هذه مجرد بداية فقط، فالجزء الأكبر من هذا الكتاب ينصبّ بشكلٍ أساسي على بروتوكولات شبكات الحاسب).

نظراً للأهمية الخاصة للبروتوكولات بالنسبة للإنترنت، فإنه من الضروري أن يتفق كل المعنيين على كل مايتعلق بعمل كل بروتوكول، وهنا يأتي الدور الهام الذي تلعبه المعايير القياسية. يتم تطوير معايير الإنترنت بواسطة فريق عمل هندسة الإنترنت (IETF) [IETF 2007]. ويطلق على وثائق مواصفات تلك اللجنة "طلبات التعليقات" (RFCs). بدأت تلك الوثائق كطلبات عامّة للتعليقات (ومن ثم كان الاسم) لحل مشاكل تصميم الشبكة والبروتوكولات التي واجهت الشبكات الأولى التي سبقت الإنترنت. يغلب على تلك الوثائق الطبيعة الفنية والتفصيلية، حيث تقوم بتعريف البروتوكولات مثل TCP وIP وHTTP (للويب)، وSMTP (للبريد الإلكتروني). يوجد حالياً قرابة الـ 5000 طلب تعليقات. وتقوم هيئات أخرى أيضاً بوضع المعايير المتعلقة بمكونات الشبكة، وبشكلٍ خاص وصلات الشبكة. فعلى سبيل المثال تقوم لجنة IEEE 802 للشبكات المحلية (LANs) [IEEE 802 2007] بوضع معايير شبكات إيثرنت المحلية السلكية وشبكات WiFi المحلية اللاسلكية.

شبكة الإنترنت العامّة (أي الشبكة العالمية للشبكات التي نوقشت أعلاه) هي الشبكة التي نقصدها عادةً عندما نتحدث عن الإنترنت. هناك أيضاً العديد من الشبكات الخاصّة، كشبكات الشركات والجهات الحكومية، حيث لا تستطيع المضيفات فيها تبادل الرسائل مع المضيفات خارج الشبكة الخاصّة (ما لم تمر الرسائل عبر ما يسمّى ببرامج الحماية (firewalls) والتي تحد من تدفق الرسائل من الشبكة وإليها). تعرف تلك الشبكات الخاصة غالبا باسم شبكات الإنترانت (Intranet)، نظراً لكونها تستخدم نفس أنواع المضيفات، والموجّهات، والوصلات، والبروتوكولات المستخدمة على الإنترنت العامة.

2-1-1 وصف للخدمات

حددت المناقشة السابقة العديد من المكونات التي تشكّل الإنترنت. غير أنه يمكن أيضاً وصف الإنترنت من زاوية مختلفة تماماً – كبنية تحتية تزوّد التطبيقات بالخدمات المختلفة. تتضمّن تلك التطبيقات البريد الإلكتروني، وتصفح الويب، وإرسال الرسائل الفورية، ونقل الصوت باستخدام VoIP، وراديو الإنترنت، وعرض شرائط الفيديو، والألعاب الموزّعة، ومشاركة النظائر للملفات (P2P file sharing)، وتليفزيون الإنترنت، والاتصال عن بُعد، والكثير الكثير غير ذلك. تسمى التطبيقات تطبيقات موزّعة لأنها تتضمن عدة أنظمة طرفية تتبادل البيانات فيما بينها. ومن المهم ملاحظة أن تطبيقات الإنترنت يجري تشغيلها على الأنظمة الطرفية وليس على محوّلات الرزم في قلب الشبكة. كما سيتضح أكثر كلما مضينا قدُماً في هذا الكتاب، فرغم أن محوّلات الرزم تسهّل تبادل البيانات بين الأنظمة الطرفية، إلا أنها لا تُعنَى أبداً بالتطبيقات العاملة على الأنظمة الطرفية، والتي تمثل مصدر أو وجهة تلك البيانات.

لنستطرد قليلاً في توضيح مفهوم البنية التحتية التي توفر خدمات للتطبيقات. لنفترض أن لديك فكرة جديدة ومثيرة لتطبيق إنترنت موزّع، تطبيق قد يفيد الإنسانية كثيراً أو قد يجعلك ببساطة ثرياً ومشهوراً. ما الطريق الذي ستسلكه لتحويل تلك الفكرة إلى تطبيق إنترنت فعلي؟ حيث إن التطبيقات يتم تشغيلها على الأنظمة الطرفية فستحتاج لكتابة أجزاء برامج يتم تنفيذها على تلك الأنظمة. وقد تُقرر على سبيل المثال كتابة برامجك باستخدام لغة Java، أو C، أو C++. الآن ونظراً لأنك تطوّر تطبيقاً موزّعاً على الإنترنت، فإن أجزاء التطبيق التي تنفّذ على الأنظمة الطرفية المختلفة ستحتاج لإرسال البيانات إلى بعضها البعض. وهنا نصل إلى نقطة جوهرية – تلك التي تقودنا إلى الطريقة البديلة لوصف الإنترنت كمنصة للتطبيقات.

كيف يقوم جزء لتطبيق ينفّذ على نظام طرفي معين بتوجيه الإنترنت لتسليم البيانات إلى جزء آخر من التطبيق يجري تنفيذه على نظام طرفي آخر؟

توفر الأنظمة الطرفية الموصلة بالإنترنت واجهة برمجة التطبيقات (API) التي تحدد كيف يمكن لبرنامج ينفّذ على نظام طرفي أن يطلب من بنية الإنترنت التحتية تسليم البيانات إلى برنامجٍ مستهدفٍ بعينه يجري تنفيذه على نظام طرفي آخر. وتعرّف واجهة برمجة التطبيقات الخاصة بالإنترنت بمجموعة القواعد التي يتعين على البرامج المرسِلة اتباعها لكي تتمكن الإنترنت من تسليم البيانات إلى البرامج المستهدفة على الناحية الأخرى من الشبكة. وسوف نستعرض واجهة برمجة التطبيقات للإنترنت بالتفصيل في الفصل الثاني. سنكتفي الآن بالاستعانة بمثال تقريبي بسيط سنستخدمه كثيراً في هذا الكتاب. لنفترض أن أليس (Alice) تريد أن ترسل خطاباً إلى بوب (Bob) بالبريد. طبعاً لن يُعقل أن تقوم أليس بكتابة الرسالة (البيانات) ثم تلقي بها من نافذة غرفتها! بالتأكيد سيتطلّب نظام البريد أن تقوم أليس بوضع الرسالة في مظروف؛ وكتابة اسم بوب بالكامل، وعنوانه، والرمز البريدي في وسط المظروف؛ ثم إغلاق المظروف ووضع طابع البريد في الزاوية العليا اليمنى منه؛ وأخيراً وضع المظروف فى صندوق خدمة بريدية رسمي. من هنا يتضح أن لنظام البريد قواعد API خاصة به تتمثل في مجموعة الخطوات التي يتعين على أليس اتخاذها ليتم تسليم رسالتها إلى بوب. بالمثل يوجد للإنترنت قواعد API خاصة بها يتعين على قطعة برامج مرسِلة اتباعها لتتمكن الإنترنت من توصيل البيانات المطلوب نقلها إلى البرامج المستهدفة على مضيف آخر.

يوفر نظام البريد بالطبع عدة خدمات مختلفة لزبائنه، كالبريد المستعجل، وعِلم الوصول، والخدمة العادية، وغير ذلك من الخدمات. وكذلك توفر الإنترنت أيضاً خدمات متعدّدة لتطبيقاتها. لذا فعندما تقوم بتطوير تطبيق للإنترنت، عليك أيضاً أن تختار إحدى خدمات الإنترنت

لتطبيقك. وسوف نستعرض خدمات الإنترنت في الفصل الثاني ونتناول كيف تقوم الإنترنت بتوفير تلك الخدمات في الفصل الثالث.

يعتبر الوصف الثاني للإنترنت – كبنية تحتية لتوفير الخدمات اللازمة لتطبيقات موزّعة – مفهوماً مهماً، فالتقدّم في المكونات المادية للإنترنت تدفعه، بشكلٍ مضطرد، احتياجات التطبيقات الجديدة. لذا فمن المهم تذكّر أن الإنترنت بنية تحتية يجري تطوير واستخدام تطبيقات جديدة لها باستمرار.

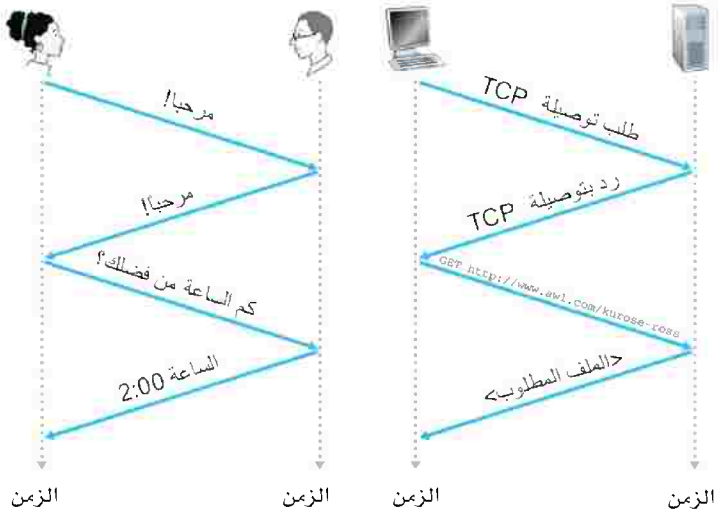
لقد أعطينا الآن وصفين للإنترنت، أولهما بدلالة مكوناتها المادية والبرمجية، والآخر من حيث كونها بنية تحتية لتوفير الخدمات للتطبيقات الموزّعة. لكن ربما لا تزال إجابة السؤال عن ماهية الإنترنت يشوبها بعض الغموض لديك. فما هو تحويل الرزم؟ وما هو نظام البروتوكولات TCP/IP؟ وما هي تعليمات API؟ وما هي الموجّهات؟ وما أنواع وصلات الاتصال الموجودة في الإنترنت؟ وماذا نعني بتطبيق موزّع؟ وكيف يمكن توصيل محمصة خبز (toaster) أو مجس (أداة استشعار) (sensor) لحالة الطقس بالإنترنت؟ إذا شعرت أن هذه التساؤلات تغمرك الآن فلا تقلق. فالغرض من هذا الكتاب تقديم وصف تفصيلي ودقيق لمكونات الإنترنت، بالإضافة إلى المبادئ التي تحكم كيف ولماذا تعمل. سنشرح تلك المصطلحات ونجيب عن تلك الأسئلة المهمة في الأجزاء والفصول التالية من الكتاب.

3-1-1 ما هو البروتوكول؟

الآن وقد أصبح لدينا فكرة عن ماهية الإنترنت، دعنا نأخذ بعين الاعتبار مصطلحاً مشهوراً آخر من مصطلحات شبكات الحاسب: "البروتوكول". فما هو البروتوكول؟ وما الدور الذي يلعبه؟ وكيف تُميِّز بروتوكولاً إن صادفته؟

مثال من واقع البشر:

قد يكون من الأسهل لفهم فكرة بروتوكولات شبكة الحاسب أن نأخذ بعين الاعتبار بعض الأمثلة من واقع البشر، ذلك أننا كبشر ننفّذ البروتوكولات طوال الوقت. تأمّل ما تفعله عندما تريد سؤال شخص ما عن الوقت. يبين الشكل 1-2 مثالاً للحديث المتبادل بهذا الصدد. يتطلب البروتوكول البشري (أو مبادئ السلوك الدمث على الأقل) أن يبدأ الطرف الأول بالتحية ("مرحباً" الأولى في الشكل 1-2) لبدء الاتصال مع شخص آخر. يأتي الردّ النمطي على "مرحباً" على شكل رسالة "مرحباً" أخرى. ضمنياً يَعتبر الشخص السائل الرد الودي بـ"مرحباً" كإشارة مشجعة على المضي قدُماً والسؤال عن الوقت. أي ردّ مختلف عن "مرحباً" (مثل "لا تزعجني!" أو "أنا لا أتحدث العربية") قد يشير إلى إحجامٍ أو عدم رغبة في الاتصال. في هذه الحالة وتبعاً للبروتوكول البشري لن يتم السؤال عن الوقت. أحياناً لا يتلقى السائل أي رد على الإطلاق، وفي هذه الحالة يتخلى عادةً عن المتابعة للسؤال عن الوقت. لاحظ أنه في مثالنا البشري، هناك رسائل معينة نرسلها، وأعمال معينة نقوم بها بناءً على الإجابة التي نتلقاها أو غير ذلك من الأحداث (مثل عدم تلقي إجابة في غضون مدة معينة). واضح أن إرسال واستقبال الرسائل وما يتبع ذلك من أعمال تشكل جزءاً محورياً في نظام البروتوكول البشري. أما إذا استخدم الناس بروتوكولات مختلفة (مثلاً إذا كان أحد الشخصين يتسم بسلوك جيد والآخر عكس ذلك، أو إذا كان مفهوم الوقت واضحاً عند طرف وغير واضح عند الآخر) فلن تؤدي البروتوكولات دورها ولن يتسنى إنجاز عمل مفيد. ينطبق الشيء نفسه على الشبكات، حيث يحتاج الأمر إلى اثنين أو أكثر من وحدات الاتصال تنفذ نفس البروتوكول لكي يتم إنجاز مهمّة معينة.



الشكل 1-2 بروتوكول بشري (إلى اليسار) وبروتوكول شبكة حاسب (إلى اليمين).

دعنا نتناول مثالاً بشرياً آخر. لنفترض أنك في فصل دراسي في إحدى الكليات (في حصة عن شبكات الحاسب مثلاً!)، والمعلّم يدندن حول موضوع البروتوكولات، والأمر مختلط عليك. ثم يتوقّف المعلّم ليسأل "هل هناك أي أسئلة؟" (رسالة ترسل إلى كلّ الطلاب، وتُستلم من قبَل أولئك غير النائمين في الفصل). تقوم أنت برفع يدك (ومن ثم ترسل رسالة ضمنية للمعلم). يبين المعلم تلقيه إشارتك بابتسامة قائلاً: "نعم". (رسالة تشجّعك على طرح سؤالك؛ فالمعلمون يحبون تلقي الأسئلة!)، تقوم أنت بعدها بإلقاء سؤالك (أي إرسال رسالتك إلى المعلّم). يسمع المعلّم سؤالك (يستلم رسالتك) ويجيبك عنها (يرسل الإجابة إليك). مرة أخرى نرى أنّ إرسال واستلام الرسائل ومجموعة الخطوات الروتينية التي تتخذ في تلك الأثناء تعتبر بمثابة القلب من هذا البروتوكول للسؤال والجواب.

تاريخ حالة (Case History)

تشكيلة مبهرة من أنظمة الإنترنت الطرفية:

منذ عهد ليس بالبعيد كانت أغلب النظم الطرفية الموصلة بالإنترنت حاسبات تقليدية كحاسبات المكتب والخادمات القوية. ومنذ أواخر التسعينيات وحتى اليوم يجري توصيل تشكيلة واسعة من الأجهزة تزداد تنوعاً وإثارة بالإنترنت. تلتقي هذه الأجهزة في خاصية مشتركة، ألا وهي احتياجها لتبادل البيانات الرقمية مع الأجهزة الأخرى. ونظراً للانتشار الواسع للإنترنت، ووضوح معالم بروتوكولاتها المعيارية، وتوافر أجهزة تجارية جاهزة للإنترنت، كان من الطبيعي استخدام تقنية الإنترنت لتوصيل تلك الأجهزة ببعضها.

تبدو بعض هذه الأجهزة كما لو كانت قد صممت للتسلية المحضة. فمثلاً يقوم إطار (برواز) صورة متوائم مع الإنترنت بتنزيل صور رقمية من خادم بعيد لعرضها على جهاز يشبه إطار صور تقليدي [Ceiva 2007]. كذلك قد تقوم محمصة الخبز المتصلة بالإنترنت بتنزيل المعلومات الإرصادية من خادم لتطبع صورة للطقس المتوقع اليوم (مثلاً غائم ومشمس جزئياً) على خبز الصباح [BBC 2001]. هناك أجهزة أخرى توفر معلومات مفيدة مثل كاميرات الويب التي تعرض حالة حركة المرور وأحوال الطقس، أو تراقب موقعاً محط اهتمام، وكذلك الأجهزة المنزلية المرتبطة بالإنترنت كالغسّالات والثلاجات والمواقد التى يمكن التحكم فيها عن بعد من خلال متصفحات الويب [Internet Home Alliance 2007]. كما تقوم الهواتف الخلوية المرتبطة بالإنترنت بوضع صفحات الويب ورسائل البريد الإلكتروني والرسائل الفورية عند أطراف أصابعك.

هناك صنف جديد من أنظمة المجسّات المشبّكة، يَعِد بثورة في الطريقة التي نراقب فيها بيئتنا ونتفاعل معها. حيث تسمح شبكات المجسات المثبتة فى البيئة الطبيعية بمراقبة المبانى والجسور والنشاط الزلزالي والحياة البرية ومصبّات الأنهار وطبقات الجو الدنيا [CENS 2007; Culler 2004; CASA 2007]. كما يمكن أيضاً دمج وتشبيك المجسات الطبية الحيوية [Schwiebert 2001]. ويتم توفير البيانات التي تجمعها المجسات للمستخدمين عن بُعدٍ في الوقت الحقيقي. فبوسع بطاقة الهوية اللاسلكية (RFID) أو مجس صغير مدمج مثبّت إلى أي شيء توفير المعلومات عنه على الإنترنت، مما سيؤدي في المستقبل إلى "إنترنت الأشياء" [ITU 2005].

بروتوكولات الشبكة

يشبه بروتوكول الشبكة البروتوكول المستخدم بين البشر (كما في الأمثلة السابقة)، مع الفارق أن الكيانات التي تتبادل الرسائل وتتخذ الخطوات هي مكونات مادية أو برمجية لبعض الأجهزة الموصلة بالشبكة (على سبيل المثال جهاز الحاسب أو المساعد الشخصي الرقمي أو الهاتف الخلوي أو الموجّهات أو غير ذلك من الأجهزة القادرة على التعامل مع الشبكة). كلّ أنشطة شبكة الإنترنت التي تتضمّن اثنين أو أكثر من الكيانات المتصلة عن بعد يحكمها بروتوكول. على سبيل المثال تقوم البروتوكولات المبنية في بطاقتي التوصيل بالشبكة ضمن جهازي حاسب موصلين مادياً بالتحكم في تدفق البتات على "السلك" الواصل بينهما، وتقوم بروتوكولات السيطرة على الازدحام الموجودة على الأنظمة الطرفية بتحديد معدل إرسال رزم البيانات من المرسل إلى المستقبل، كما تقوم بروتوكولات التوجيه في الموجّهات داخل الشبكة بتحديد المسار الذي تسلكه كل رزمة من المصدر إلى الوجهة النهائية. فالبروتوكولات موجودة في كل مكان في الإنترنت، ولذا فإن جزءاً كبيراً من هذا الكتاب ينصب على بروتوكولات شبكات الحاسب. وكمثال لبروتوكول شبكة حاسب، والذى قد يكون مألوفاً لديك، تأمل ما يحدث عندما تتقدم بطلب إلى خادم ويب (web server)، أي عندما تكتب عنوان (URL) لموقع صفحة ويب على متصفح الويب لديك. يبين النصف الأيمن من الشكل 1-2 ذلك السيناريو. في البداية يقوم جهاز حاسبك بإرسال طلب اتّصال إلى خادم الويب وينتظر إجابة. سيتسلم خادم الويب طلب اتّصالك في النهاية ويجيب برسالة قبول الاتصال. عندئذٍ يدرك حاسبك أنه من المناسب الآن طلب صفحة الويب التي يريد جلبها من الخادم، فيرسل اسم الصفحة ضمن رسالة طلب إحضار GET، وأخيراً يرسل خادم الويب صفحة الويب المطلوبة إلى حاسبك.

من خلال الأمثلة البشرية وأمثلة الشبكات التي استعرضناها أعلاه، يتضح أن عملية تبادل الرسائل والخطوات التي تصاحب إرسال واستقبال تلك الرسائل تمثل العناصر الرئيسية للبروتوكول:

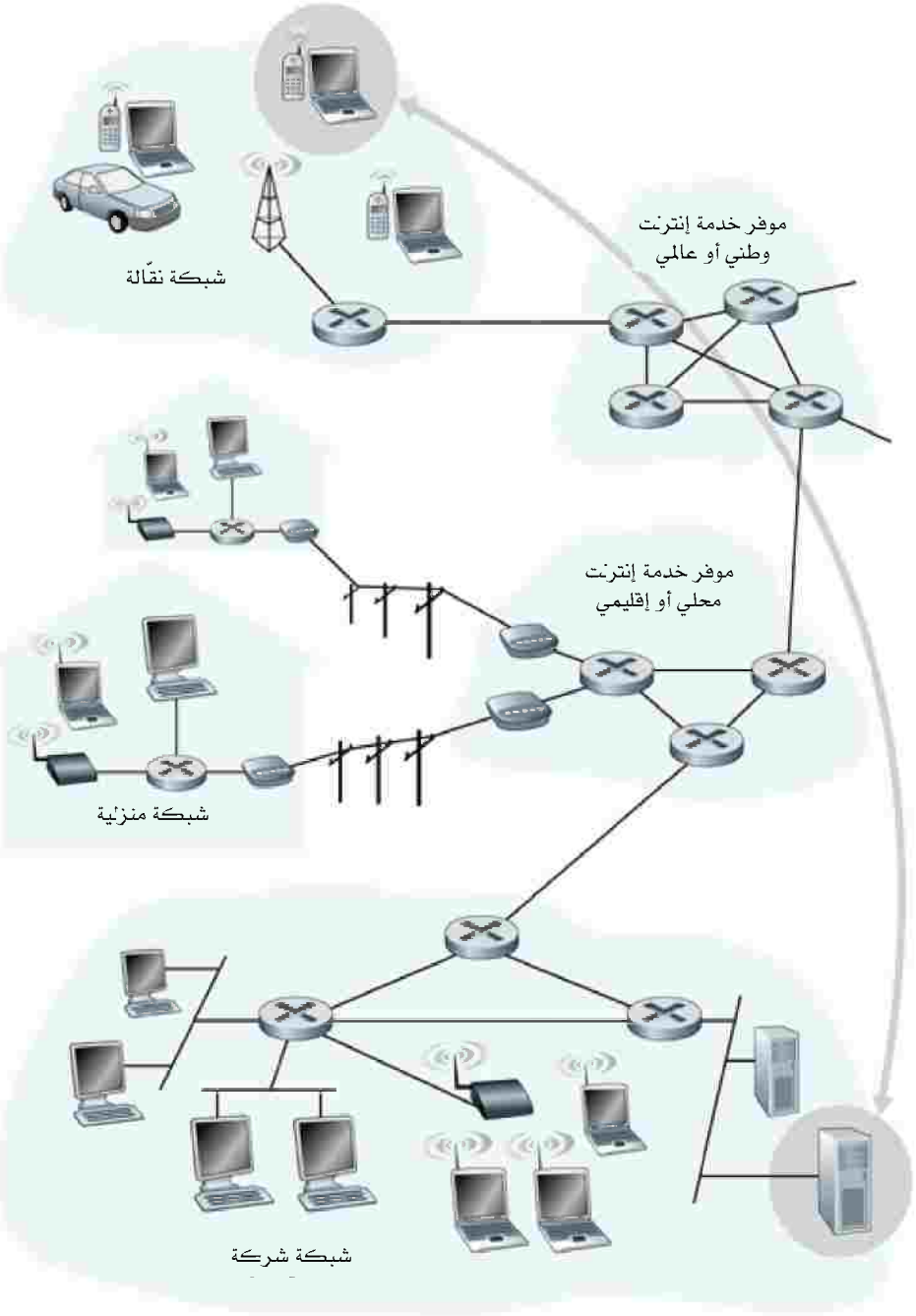
"يُعرِّف البروتوكول صيغ وترتيب الرسائل التي يتم تبادلها بين اثنين أو أكثر من الكيانات المتصلة، بالإضافة إلى الخطوات التي تُتخذ عند إرسال أو استقبال رسالة أو حصول حدث آخر."

تستخدم الإنترنت – وشبكات الحاسب عموماً – البروتوكولات بشكلٍ مكثف، حيث يستخدم العديد من البروتوكولات في إنجاز مهام الاتصالات المختلفة. من خلال قراءتك لهذا الكتاب، ستعلم أن بعض البروتوكولات بسيطة ومباشرة، بينما البعض الآخر معقّد ويتسم بالعمق. يتطلب إتقان مجال شبكات الحاسب فهم "ماذا" و"لماذا" و"كيف" المتعلقة ببروتوكولات الشبكات.

2-1 حافة الشبكة

قدّمنا في الجزء السابق من هذا الفصل نظرة عامّة عن بروتوكولات الشبكات والإنترنت. سنغوص الآن بشكلٍ أعمق للتعرف على مكونات شبكة حاسب (وشبكة الإنترنت بشكلٍ خاص). سنبدأ في هذا الجزء عند حافة الشبكة لننظر إلى المكونات المألوفة جداً لدينا: كالحاسبات، والمساعدات الرقمية الشخصية، والهواتف الخلوية، وغير ذلك من الأجهزة الأخرى التي نستعملها بشكلٍ يومي. في الجزء التالي سننتقل من حافة الشبكة إلى قلبها ونستعرض عمليات التحويل والتوجيه في شبكات الحاسب.

وجدنا في الجزء السابق من هذا الفصل أنه تبعاً لمفردات شبكات الحاسب، غالباً ما يطلق على الحاسبات والأجهزة الأخرى الموصلة بشبكة الإنترنت الأنظمة الطرفية. يطلق عليها هذا الاسم لأنها توجد على حافة الإنترنت، كما هو مبين في الشكل 1-3. وتتضمّن أنظمة الإنترنت الطرفية حاسبات المكتب (كحاسبات المكتب الشخصية، وأجهزة الماكنتوش، وحاسبات لاينكس)، والخادمات (كخادمات الويب والبريد الإلكتروني)، والحاسبات النقّالة (كالحاسبات النقالة، والمساعدات الرقمية الشخصية، والهواتف الموصّلة لاسلكياً بالإنترنت). وعلاوة على ذلك هناك عدد متزايد من الأجهزة الأخرى ترتبط الآن بالإنترنت كأنظمة طرفية (انظر شريط المعلومات الثانوي بالصفحة التالية).



الشكل 1-3 التفاعل فيما بين الأنظمة الطرفية.

تُعرف الأنظمة الطرفية أيضاً باسم "المضيفات" لأنها تستضيف (أي تقوم بتشغيل) برامج تطبيقية كبرنامج متصفح الويب، وبرنامج خادم الويب، وبرنامج قارئ البريد الإلكتروني، وبرنامج خادم البريد الإلكتروني. في هذا الكتاب سنستخدم المصطلحين "مضيف" و"نظام طرفي" بنفس المعنى (أي أن مضيف = نظام طرفي). أحياناً تُقسّم المضيفات أبعد من ذلك إلى فئتين: الزبائن (clients) والخادمات (servers). وبصفة عامة، يغلب أن يكون "الزبون" حاسباً مكتبياً، أو حاسباً شخصياً نقّالاً، أو مساعداً رقمياً شخصياً وهلم جرا. بينما غالباً ما يكون "الخادم" جهاز حاسب أكثر قوة لتخزين وتوزيع صفحات الويب، وعرض شرائط الفيديو، وتحويل رسائل البريد الإلكتروني، وما شابه ذلك.

1-2-1 برامج الزبائن والخادمات

من منظور برمجيات الشبكة، هناك تعريف آخر للزبون والخادم وهو ما سنستخدمه في هذا الكتاب. برنامج الزبون هو عبارة عن برنامج يُنفّذ على نظام طرفي يقوم بطلب وتلقّي خدمة من برنامج خادم ينفّذ على نظام طرفي آخر. ويعتبر نموذج الزبون – الخادم هذا بلا شك النموذج الأكثر انتشاراً في تطبيقات الإنترنت. حيث تستخدم هذا النموذج تطبيقات الويب والبريد الإلكتروني ونقل الملفات والدخول على الحاسبات عن بُعدٍ (على سبيل المثال Telnet)، ومجموعات تبادل الأخبار، والعديد من التطبيقات الشهيرة الأخرى. ولمّا كان برنامج الزبون ينفّذ على حاسب بينما ينفّذ برنامج الخادم على حاسب آخر، فإن تطبيقات الإنترنت من نوع الزبون – الخادم، تعتبر تطبيقات موزّعة من حيث التعريف. يتفاعل برنامج الزبون وبرنامج الخادم عن طريق تبادل الرسائل فيما بينهما عبر الإنترنت. في هذا المستوى من التصوير التجريدى، تعمل الموجّهات والوصلات وغيرها من المكونات التفصيلية للإنترنت بشكلٍ جماعي كصندوق أسود مهمته نقل الرسائل بين المكونات الموزعة لتطبيق على الإنترنت، كما هو موضح فى الشكل 1-3.

يلاحظ أن تطبيقات الإنترنت الآن لا تتكون كلها من برامج زبائن خالصة تتفاعل مع برامج خادمات خالصة. فعلى نحو متزايد ظهرت العديد من التطبيقات

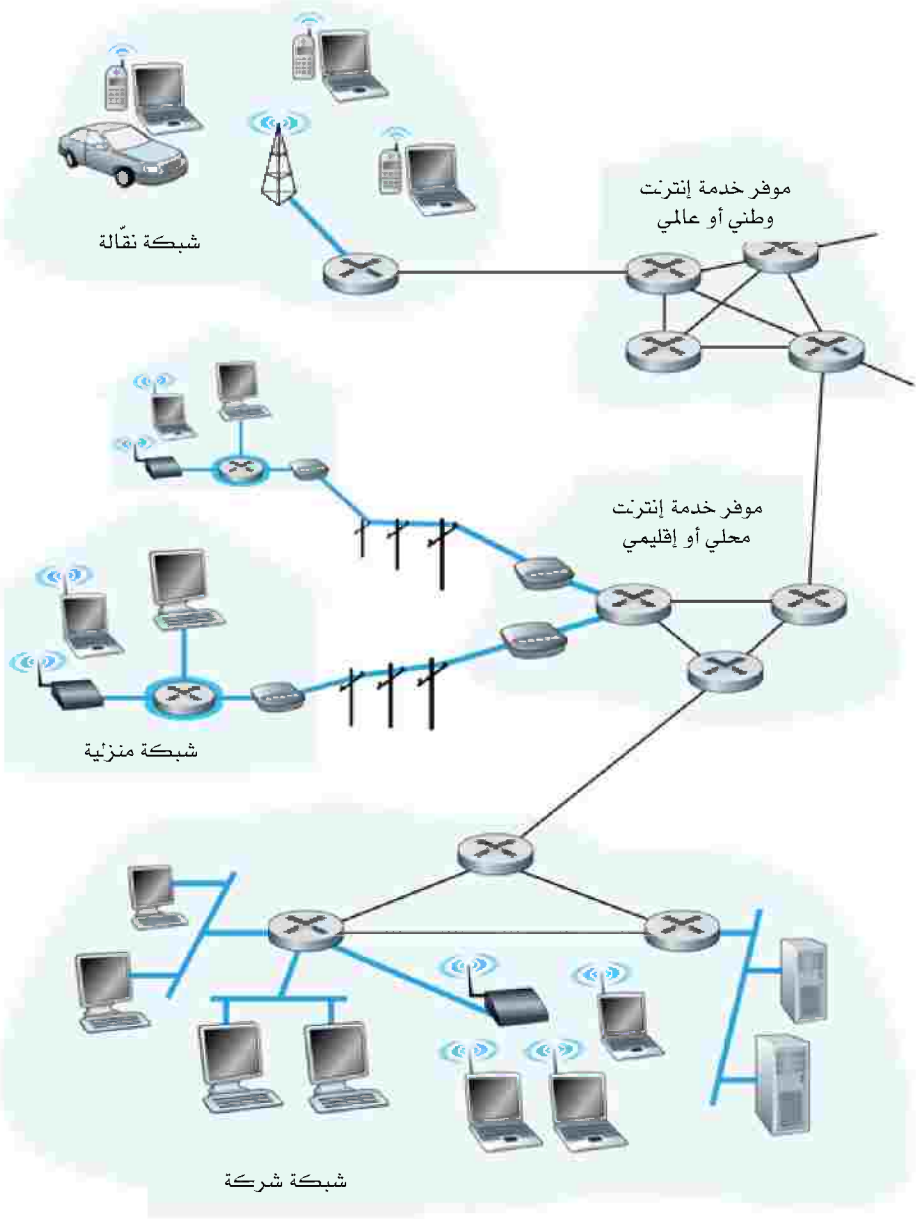
اليوم من نوع تطبيقات النظائر P2P، حيث تتفاعل الأنظمة الطرفية وتقوم بتشغيل برامج تؤدّي وظائف كلٍّ من الخادم والزبون. على سبيل المثال في تطبيقات النظائر لمشاركة الملفات (مثل LimeWire، وeDonkey، وKazaa) يتصرف البرنامج في النظام الطرفي لمستخدم ما كزبون عندما يطلب ملفاً من نظير آخر، وكخادم عندما يرسل ملفاً إلى نظير آخر. وفي نظام هاتف الإنترنت يتفاعل طرفا الاتصال كنظيرين ضمن جلسة اتصال متماثلة يقوم فيها الطرفان بإرسال واستلام البيانات. وسنقوم بمقارنة أوجه الشبه والاختلاف بين نموذج زبون/خادم ونموذج النظائر في الفصل الثاني.

2-2-1 شبكات الوصول (Access Networks)

بعد أن استعرضنا التطبيقات والأنظمة الطرفية عند "حافة الشبكة"، دعنا نتناول موضوع شبكات الوصول – أي تلك الوصلة أو الوصلات المادية التي تربط نظاماً طرفياً بموجّه الحافة الخاص به (وهو الموجّه الأول على المسار من ذلك النظام الطرفي إلى أي نظام طرفي آخر بعيد). يبين الشكل 1-4 عدّة أنواع من الوصلات التي تستخدم لربط نظام طرفي بموجّه الحافة، حيث تبين وصلات الوصول تلك في الشكل بخطوط مظلّلة سميكة. يمكن تصنيف شبكات الوصول على وجه التقريب إلى ثلاث فئات:

- شبكات الوصول السكني: لربط الأنظمة الطرفية المنزلية بالشبكة.
- شبكات الوصول التجاري: لربط الأنظمة الطرفية في شركة تجارية أو مؤسسة تعليمية بالشبكة.
- شبكات الوصول اللاسلكي: لربط الأنظمة الطرفية (والنقالة في أغلب الأحيان) بالشبكة لاسلكياً.

هذا التقسيم ليس محدداً بشكلٍ صارم. فعلى سبيل المثال قد تستخدم بعض الأنظمة الطرفية في شركةٍ ما تقنية وصول تنسب بشكلٍ عام للوصول السكني، والعكس صحيح. إلا أن الأوصاف المذكورة تنطبق على الحالات العامة.



الشكل 1-4 شبكات الوصول.

شبكات الوصول السكني

يُقصد بالوصول السكني توصيل نظام طرفي منزلي (حاسب شخصي أو شبكة منزلية) إلى موجّه حافة. يستخدم أحد أشكال الوصول السكني المودم الهاتفي (dial-up modem) على خطّ هاتف عادي للربط بموفر خدمة إنترنت سكني (مثل أميريكا أون لاين AOL). يُحوّل المودم المنزلي البيانات الرقمية الخارجة من الحاسب الشخصي إلى صيغة تناظرية (analog) صالحة للإرسال على خطّ الهاتف، والذى يتكون من زوج مجدول من الأسلاك النحاسية (سنتناول زوج الأسلاك النحاسية المجدول بالتفصيل لاحقاً في هذا الجزء). على الطرف الآخر لخطّ الهاتف التناظري يقوم مودم موفر خدمة الإنترنت بتحويل الإشارة التناظرية المستقبلة إلى بيانات رقمية لإدخالها لموجّه موفر الخدمة. وهكذا فإن شبكة الوصول في هذه الحالة تتكون ببساطة من زوج من المودمات بينهما خط هاتف. تسمح سرعات أجهزة المودم المتوفرة اليوم بنقل البيانات بهذه الطريقة بسرعات تصل إلى 56 كيلوبت/ثانية. ومع ذلك، فغالباً ما يحصل الكثير من مستخدمي هذه الطريقة على سرعات فعّالة تقل بكثير عن 56 كيلوبت/ثانية بسبب النوعية الرديئة لخطوط أزواج الأسلاك المجدولة التي تصل العديد من المنازل بموفري خدمة الإنترنت.

يجد العديد من المستخدمين السكنيين سرعة الوصول 56 كيلوبت/ثانية بطيئة بشكلٍ لا يطاق. فعلى سبيل المثال، يستغرق تنزيل مادة مسموعة بصيغة MP3 مدتها ثلاث دقائق على مودم هاتفي سرعته 56 كيلوبت/ثانية حوالي ثماني دقائق. وعلاوة على ذلك يشغل استخدام المودم الهاتفي لتصفّح الويب خط الهاتف العادي، فلا يستطيع المستخدم أثناء ذلك تلقي أو عمل مكالمات هاتفية على نفس الخط. ولحسن الحظ توفر تقنيات الوصول الحديثة بحيز ترددي عريض للمستخدمين السكنيين سرعات عالية لنقل البيانات ووسيلة لاستخدام الإنترنت مع إمكانية استخدام الهاتف للمكالمات في نفس الوقت. توجد طريقتان رئيستان للوصول السكني بحيز ترددي عريض: خط

المشترك الرقمي DSL [DSL 2007]، والشبكات الهجينة (Hybrid Fiber-Coaxial Cable (HFC)) (والتي تستخدم الكبلات المحورية مع كبلات الألياف الضوئية) [Cable Labs 2007].

في مارس/آذار عام 2006 كانت الخطوط بحيز ترددي عريض تتوافر فيما يزيد على 50٪ من المنازل في العديد من البلدان المتقدمة، وبمعدل أعلى من 80٪ في كوريا الجنوبية وهونج كونج. تتقدم كلٌّ من الولايات المتحدة والصين بقية العالم من حيث العدد الكلي لتلك الخطوط، والذي يصل إلى 40 مليون خط تقريباً في كلٍّ منهما [Point Topic 2006]. وفي ذلك الوقت كان حوالي 60٪ من تلك الخطوط في الولايات المتحدة وكندا من نوع HFC، بينما بقية الخطوط من نوع DSL. أما خارج الولايات المتّحدة وكندا، فينتشر استخدام DSL، خصوصاً في أوروبا حيث تتجاوز نسبته في العديد من بلدانها 90٪.

عادةً ما تقوم شركات الهاتف (على سبيل المثال Verizon أو France Telecom) بتوفير خدمة DSL للوصول السكني مباشرةً أو بالاشتراك مع موفر خدمة إنترنت مستقل. تشبه تقنية DSL من حيث المبدأ تقنية المودم الهاتفي، فهي تستخدم نفس خطوط الهاتف السلكية المجدولة الموجودة حالياً. فبوضع حدٍّ أقصى للمسافة بين المستخدم وموفر خدمة الإنترنت يمكن بهذه الطريقة إرسال واستلام البيانات بمعدلات أعلى بكثير. وعادةً ما تكون معدلات نقل البيانات غير متماثلة في الاتجاهين، حيث يكون المعدل من موجّه موفر الخدمة إلى المنزل أعلى منه من المنزل إلى موفر الخدمة. يعكس عدم التماثل هذا الاعتقاد بأن المستخدم المنزلي يغلب عليه على الأرجح أن يكون مستهلكاً للمعلومات (أي يجلب البيانات إلى منزله) أكثر من كونه منتجاً لها.

تقسّم تقنية DSL وصلة الاتصال بين المنزل وموفر خدمة الإنترنت إلى ثلاثة نطاقات تردد مستقلة:

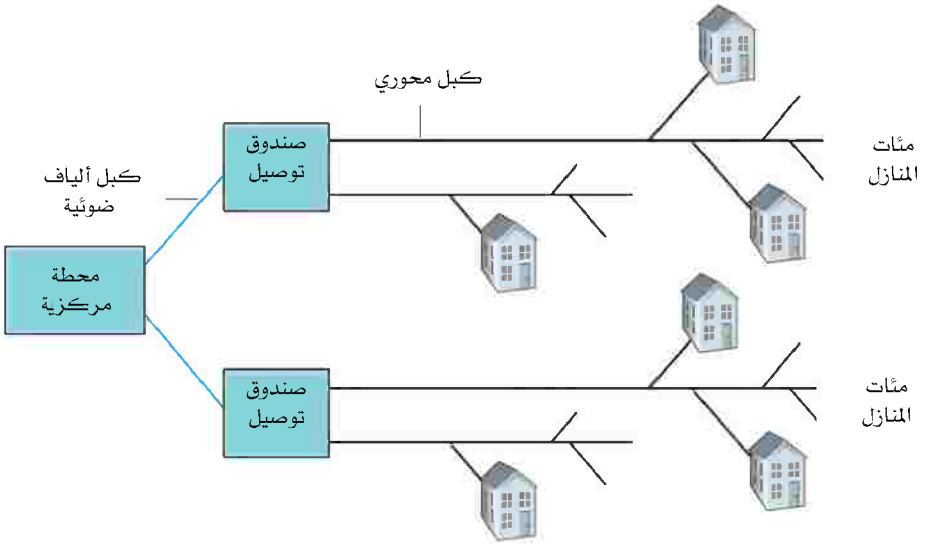
- قناة عالية السرعة على الحيز الترددي (50 كيلوهرتز – 1 ميجاهرتز) من موفر الخدمة إلى المنزل (ويسمى بالاتجاه النازل من الإنترنت downstream).

- قناة متوسطة السرعة على الحيز الترددي (4 كيلوهرتز – 50 كيلوهرتز) من المنزل إلى موفر الخدمة (ويسمى بالاتجاه الصاعد إلى الإنترنت upstream).
- قناة هاتف عادية مزدوجة الاتجـــاه على الحيز التـــرددي (صفر كيلوهرتز – 4 كيلوهرتز).

بهذه الطريقة تبدو وصلة DSL الواحدة كما لو كانت ثلاث وصلات مستقلة حيث يمكن لمكالمة هاتفية واتصال إنترنت في الاتجاهين بالانتقال على وصلة DSL في نفس الوقت (سنتناول هذه التقنية للإرسال المتعدد بتقسيم التردد في الجزء 1-3-1). وجدير بالذكر أن المعدلات الفعلية لإرسال البيانات في كلا الاتجاهين تعتمد على المسافة بين مودم المنزل ومودم موفر خدمة الإنترنت، ونوع ومقاس زوج الأسلاك المجدولة، ودرجة التداخل الكهرومغناطيسي، وغير ذلك من الاعتبارات الأخرى. واضح أن المهندسين صمّموا تقنية DSL للمسافات القصيرة بين المودمات السكنية ومودمات موفر خدمة الإنترنت (خلافاً لمودمات الهاتف العادية)، ولذا فهي تسمح بمعدلات أعلى بكثير لإرسال البيانات مقارنةً بطريقة الإرسال التقليدية عبر خط الهاتف. تتوافر عادةً معدلات إرسال مختلفة بأسعار مختلفة للمستخدمين القريبين من مودم موفر خدمة الإنترنت. فعلى سبيل المثال توفر شركة Verizon معدلات إرسال تقريبية تتراوح مابين 768 كيلوبت/ثانية و1.5 ميجابت/ثانية إلى المنزل، وما بين 128 كيلوبت/ثانية إلى 768 كيلوبت/ثانية من المنزل. وقد ظهرت أيضاً تشكيلة حديثة من تقنيات DSL بسرعات أعلى وحققت مؤخراً انتشاراً سريعاً في عدد من البلدان. فعلى سبيل المثال توفر تقنية DSL عالية السرعة (VDSL) المنتشرة بكثرة في كوريا الجنوبية واليابان الآن معدلات إرسال رائعة تبلغ 12-55 ميجابت/ثانية إلى المنزل و1.6-20 ميجابت/ثانية من المنزل [DSL 2007].

بينما تستخدم تقنية DSL والمودمات الهاتفية خطوط الهاتف العادية، تعتبر شبكات الوصول الهجينة (HFC) امتداداً لشبكات الكبل الحالية

المستخدمة لبث إشارات تليفزيون الكبل (Cable TV). في نظام تليفزيون الكبل التقليدي، تقوم محطة مركزية بالبث إلى المنازل عبر شبكة توزيع تضم كبلات محورية ومضخمات (amplifiers). وكما يوضح الشكل 1-5، تستخدم ألياف ضوئية لتوصيل المحطة المركزية إلى صناديق اتصال على مستوى الحي والتي تنطلق منها كبلات محورية تقليدية لتصل إلى منازل وشقق المشتركين، ويقوم كل صندوق بالحي بتغذية عددٍ من المنازل يتراوح عادةً ما بين 500 إلى 5000 منزل.



الشكل 1-5 شبكة وصول هجينة من كبلات الألياف الضوئية والكبلات المحورية.

كما هو الحال مع تقنية DSL، تتطلب تقنية HFC أجهزة مودم خاصة من نوع مودم الكبل، والذي يتم الحصول عليه من شركة توفير الوصول للإنترنت إما بالشراء أو الاستئجار. يُعتبر مودم الكبل عادةً أداة خارجية ويوصل إلى الكمبيوتر الشخصي بالمنزل عبر منفذ إيثرنت (سنتناول الإيثرنت بالتفصيل في الفصل الخامس). وتقسّم أجهزة مودم الكبل شبكة الـ HFC إلى قناتين: واحدة إلى المنزل (downstream) والأخرى من المنزل (upstream).

وعادةً ما تخصص للقناة التي تنقل البيانات إلى المنزل معدلات إرسال أعلى من القناة الأخرى كما هو الحال في تقنية DSL.

من الخواص المهمة لتقنية HFC استخدامها لوسط بث مشترك بحيز ترددي عريض. وبالتحديد، فإن كل رزمة بيانات تبث من المحطة المركزية تنتقل بالفعل على كل وصلة وتصل إلى كل منزل؛ كما أن كل رزمة ترسل من أي منزل تنتقل عبر القناة من المنزل إلى المحطة المركزية. ولهذا السبب فعندما يقوم عدّة مستخدمين بتنزيل ملفات MP3 في نفس الوقت على القناة من المحطة المركزية إلى المنازل، فإن المعدل الفعلي لنقل بيانات MP3 لكل مستخدم سيكون أقل بكثير من المعدل الكلي فى الاتجاه النازل (أى من المحطة المركزية إلى المنازل). من جانب آخر إذا كان هناك فقط بضعة مستخدمين نشطين وكلهم منهمكون في تصفح الويب، ففي الواقع قد يتلقى كل منهم صفحات الويب الخاصة به بالمعدل الكلى فى الاتجاه النازل، ذلك لأنه نادراً ما يقوم المستخدمون بطلب صفحة ويب فى نفس الوقت بالضبط.

ونظراً لأن القناة الصاعدة إلى المحطة المركزية مشتركة أيضاً، فإن الأمر يحتاج إلى بروتوكول موزّع للتحكم فى الوصول المتعدد بتنظيم توقيت الإرسال وتجنب التصادمات (collisions) (سنناقش قضية التصادمات بشيء من التفصيل عند تناولنا لشبكة الإيثرنت في الفصل الخامس). لهذا قد يشير المتحمسون لتقنية DSL بسرعة إلى أن تلك التقنية تعتمد على وصلة من نقطة إلى نقطة بين المنزل وموفر خدمة الإنترنت، ولذا فإن سعة إرسال وصلة DSL بكاملها تكون مخصصة لمستخدم واحد وليست مشتركة بين عدد من المستخدمين. أما أنصار الكبل فيشيرون إلى أن شبكة HFC بحجم معقول توفر معدلات إرسال أعلى من نظام DSL. إن المعركة بين تقنيتي DSL وHFC لكسب سوق الوصول السكني عالي السرعة محتدمة الآن، وخاصة في أمريكا الشمالية. في المناطق الريفية النائية ـ حيث لا تتوافر أي من تقنتي DSL أو HFC – يمكن استخدام وصلة قمر صناعي لتوصيل مسكن إلى الإنترنت بسرعة تتجاوز 1 ميجابت/ثانية.

ومن بين موفري خدمة الإنترنت بالقمر الصناعي شركات مثل StarBand وHughesNet.

من الميزّات الجذابة لتقنيات DSL وHFC والوصول بالقمر الصناعي أن الخدمة تكون متوفرة باستمرار (always-on)، فبوسع المستخدم ترك حاسبه شغالاً طوال الوقت ليبقى موصلاً بموفر خدمة الإنترنت بشكلٍ دائم بينما يقوم بعمل وتلقي المكالمات الهاتفية العادية بنفس الوقت.

شبكات الوصول التجاري

فى مقار الشركات والمدن الجامعية تستخدم شبكة محلية (LAN) عادةً لتوصيل نظام طرفي إلى موجّه الحافة. وكما سنرى في الفصل الخامس هناك العديد من تقنيات شبكات الاتصال المحلية (LAN)، غير أن تقنية الإيثرنت تعتبر حالياً أكثر تقنيات الوصول انتشاراً فيما يتعلق بشبكات الشركات. تعمل تقنية الإيثرنت اليوم بسرعات 100 ميجابت/ثانية أو 1 جيجابت/ثانية (أو حتى 10 جيجابت/ثانية)، وتستخدم إما زوج أسلاك نحاسية مجدولة أو كبلاً محورياً لتوصيل عددٍ من الأنظمة الطرفية مع بعضها البعض وبموجّه حافة. يضطلع موجّه الحافة بمسؤولية توجيه رزم البيانات التي تكون وجهتها خارج الشبكة المحلية. تستخدم الإيثرنت وسط توصيل مشترك ـ مثلها في ذلك مثل تقنية HFC – ومن ثم فإن المستخدمين يشتركون في معدل إرسال البيانات على الشبكة المحلية. وقد شهدت الفترة الأخيرة انتقالاً من تقنية الإيثرنت المشتركة (shared) إلى تقنية الإيثرنت المحوّلة (switched). وتستخدم تقنية الإيثرنت المحوّلة الشكل النجمي للشبكة (star topology)، حيث تُوصل المضيفات مباشرة إلى محوّل (switch)، مما يسمح لكل المضيفات بإرسال واستلام البيانات في نفس الوقت عند معدل الإرسال الكامل للشبكة المحلية. وسوف نتناول كلاً من الإيثرنت المشتركة والمحوّلة بالتفصيل في الفصل الخامس.

شبكات الوصول اللاسلكي

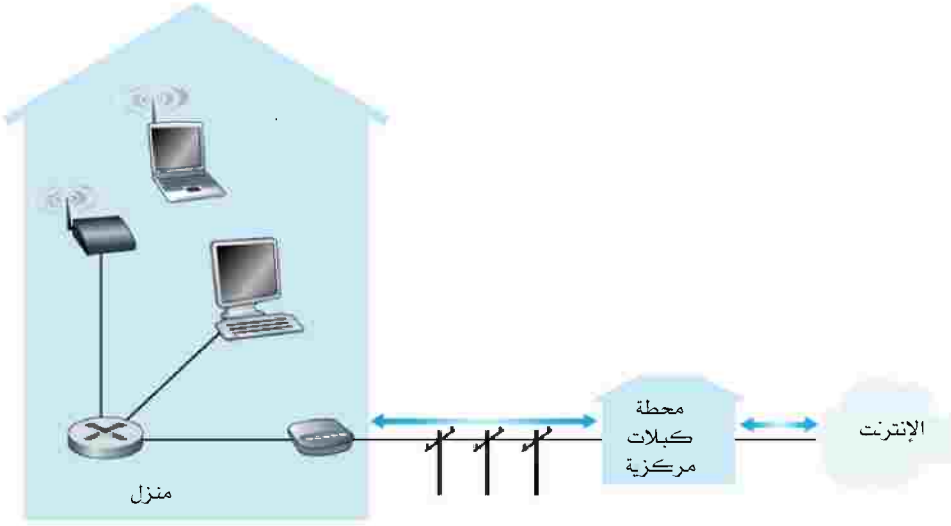
تتزامن مع ثورة الإنترنت الحالية ثورة موازية في تقنية الاتصال اللاسلكي والتي تلعب هي الأخرى دوراً كبيراً في الكيفية التي يعمل بها الناس ويعيشون. فاليوم في أوربا يفوق عدد الناس الذين لديهم هاتف جوال عدد الذين لديهم حاسب شخصي أو سيارة. والاتجاه لاستخدام الوصول اللاسلكي مستمر باضطراد، حيث يتوقع كثير من المحللين أن تصبح الأجهزة اللاسلكية النقّالة والمحمولة باليد في أغلب الأحيان، كالهواتف الخلوية والمساعدات الرقمية الشخصية الوسيلة الرئيسية للوصول إلى الإنترنت في كافة أنحاء العالم بدلاً من الحاسبات المشبّكة سلكياً. ينتشر حالياً نوعان من طرق الوصول اللاسلكي للإنترنت. يتمثل النوع الأول في الشبكات المحلية اللاسلكية (WLAN) حيث يقوم مستخدمو اللاسلكي بإرسال الرزم إلى محطة القاعدة (base station) (والتي تُعرف أيضاً بنقطة الوصول اللاسلكي) واستلامها منها على مدى نصف قطر يبلغ بضع عشرات من الأمتار. عادةً ما توصل محطة القاعدة بالإنترنت بواسطة أسلاك، ومن ثم فهي توصّل مستخدمي اللاسلكي إلى الشبكة السلكية. أما النوع الثاني فيستخدم شبكات وصول لاسلكي تغطي مساحات واسعة يتم عبرها إرسال الرزم على نفس البنية التحتية اللاسلكية الخاصة بشبكة الهاتف الخلوي، حيث تدار محطة القاعدة في هذه الحالة من قِبَل موفر خدمة الاتصالات السلكية واللاسلكية. توفر هذه الطريقة وصولاً لاسلكياً للمستخدمين ضمن نصف قطر يصل إلى عشرات الكيلومترات من محطة القاعدة.

تتمتع الشبكات المحلية اللاسلكية والمبنية على تقنية IEEE 802.11 (والتي تعرف كذلك بالإيثرنت اللاسلكية أو WiFi) بالانتشار الواسع حالياً في أقسام الجامعات، ومكاتب الشركات، والمقاهي، والمنازل. فالعديد من الجامعات تستخدم محطات مرجع IEEE 802.11 عبر الحرم الجامعي مما يسمح للطلاب بإرسال واستلام البريد الإلكتروني أو تصفّح الويب من أي مكان داخل الحرم الجامعي (مثل المكتبة، أو غرفة السكن، أو قاعة الدروس، أو مقعد في

الهواء الطلق). في العديد من مدن العالم الآن، بوسع الشخص أن يقف على ناصية شارع ويكون في نطاق عشر أو عشرين محطة مرجع. (راجع [wiggle.net 2007] للاطلاع على خريطة عالمية لمواقع محطات 802.11 المرجعية التي تم اكتشافها وتسجيلها على الويب). وتوفر تقنيات 802.11 الأكثر انتشاراً (والتي سنتناولها بالتفصيل في الفصل السادس) وسطاً مشتركاً للاتصال بمعدل إرسال يبلغ 54 ميجابت/ثانية.

يجمع العديد من المنازل اليوم ما بين وسائل الوصول السكني بحيز ترددي عريض (كمودم الكبل أو وصلة DSL) وتقنية الشبكات المحلية اللاسلكية الرخيصة (WLAN) للحصول على شبكات منزلية قوية. يبين الشكل 1-6 مخططاً لشبكة منزلية نمطية تتكون من حاسب محمول متنقل بالإضافة إلى حاسب شخصي مشبك سلكياً؛ ومحطة مرجع (نقطة وصول لاسلكي) توفر الاتصال بالحاسب النقال؛ ومودم كبل يوفر وصولاً عريض النطاق للإنترنت؛ وموجّه يربط محطة القاعدة والحاسب الشخصي الثابت بمودم الكبل. توفر هذه الشبكة لأهل المنزل وصولاً للإنترنت بحيز ترددي عريض، حيث يمكن لأحد الأفراد التجوّل بالحاسب النقال من المطبخ إلى الفناء الخلفي إلى غرف النوم. تبلغ التكلفة الثابت الكلية لمثل هذه الشبكة أقل من 150 دولاراً (بما في ذلك تكلفة مودم الكبل أو وصلة DSL).

للدخول على الإنترنت من خلال شبكة محلية لاسلكية، تحتاج عادةً لتكون في حدود بضع عشرات الأمتار من محطة القاعدة. وهذا الشرط ممكن عند الوصول من منزل، أو من مقهى، أو عموماً من داخل بناية أو حولها. لكن ماذا لو كنت على الشاطئ أو داخل سيارتك وتحتاج للاتصال بالإنترنت؟ للوصول عبر منطقة واسعة، يمكن لمستخدمي الإنترنت الجوّالين استعمال البنية التحتية للهاتف الخلوي، للوصول عبر محطات المرجع الموجودة داخل منطقة فى حدود عشرات الكيلومترات. من حيث المبدأ يشبه ذلك وصول شخص إلى الإنترنت عن طريق مودم وخط هاتف سلكي، مع فارق استخدام البنية التحتية للهواتف الخلوية في الإرسال بدلاً من بنية شبكة الهاتف السلكية.



الشكل 1-6 مخطط لشبكة منزلية نمطية.

لقد استثمرت شركات الاتصالات مبالغ طائلة في ما يسمّى بخدمات الجيل الثالث (3G Services) اللاسلكية، والتي توفر وصولاً لاسلكياً بالإنترنت بتحويل الرزم عبر منطقة واسعة بسرعات تزيد على 1 ميجابت/ثانية. يوجد معياران قياسيان هامان للإنترنت اللاسلكية عبر منطقة واسعة هما ((Evolution-(EVDO Data Optimized) و((High-Speed Downlink Packet Access (HSDPA) حيث يوفر العديد من مشغلي شبكات الهاتف الخلوي ـ أو يخطّطون لتوفير ـ أحد هذين المعيارين. وكما هو الحال دائماً توجد تقنية مكتسحة ومرشحة لإسقاط هذين المعيارين من على عرشهما، ألا وهي تقنية WiMAX، والتي تُعرَف كذلك بـ IEEE 802.16، وتعتبر قريبة لبروتوكول WiFi (الذي ذكرناه أعلاه) ولكن للمسافات البعيدة [Intel WiMAX 2007; WiMAX Forum 2007]. تعمل تقنية WiMAX بشكلٍ مستقل عن الشبكة الخلوية وتعد بتحقيق سرعات تتراوح ما بين 5 إلى 10 ميجابت/ثانية أو أعلى عبر مسافات تصل إلى عشرات الكيلومترات. ورغم أنه لم يتحقق انتشار واسع لتقنية WiMAX حتى أواخر عام 2006، فقد خصصت

مجموعة Sprint-Nextel بلايين الدولارات لنشر WiMAX في عام 2007 وما بعده. وسنقوم بتغطية تقنيات WiFi ، وWiMAX ، و3G بالتفصيل في الفصل السادس.

3-2-1 أوساط الاتصال المادية

في الجزء السابق من هذا الفصل ألقينا نظرة عامّة على عددٍ من أهم تقنيات شبكات الوصول للإنترنت. من خلال وصفنا لتلك التقنيات أشرنا أيضاً إلى الأوساط المادية المستخدمة لتحقيق عملية الاتصال. فمثلاً ذكرنا أن تقنية HFC تستخدم خليطاً من الألياف الضوئية والكبلات المحورية، وقلنا: إنّ أجهزة المودم الهاتفية بسرعة 56 كيلوبت/ثانية وتقنية DSL تستخدم زوجاً من الأسلاك النحاسية المجدولة، كما ذكرنا أن شبكات الوصول النقّالة تستخدم طيف ترددات الراديو. في هذا الجزء سنقدم نظرة عامّة مختصرة عن تلك الأوساط وغيرها من أوساط الإرسال المستخدمة بكثرة في الإنترنت.

لكي نُعرّف ما الذي نعنيه بالتحديد بوسط مادي، دعنا نتأمل الحياة القصيرة لبت بيانات واحد. لنأخذ بتاً ينتقل من نظام طرفي عبر سلسلة من الوصلات والموجّهات إلى نظام طرفي آخر. يتم دفع ذلك البت وإرساله مرات عديدة من وصلة إلى وصلة! يبدأ النظام الطرفي المصدر بإرسال البت أولاً، وبعد ذلك بقليل يستقبله الموجّه الأول في السلسلة ثمّ يرسله، ليستلمه بعد ذلك بقليل الموجّه الثاني ويرسله وهكذا دواليك. يتضح من ذلك أن ذلك البت يمر أثناء انتقاله من المصدر إلى وجهته النهائية عبر سلسلة أزواج من المرسلات/المستقبلات حيث يتم إرساله بين كل مرسل ومستقبل عن طريق انتقال الموجات الكهرومغناطيسية أو النبضات الضوئية عبر وسط مادي. يمكن أن يأخذ الوسط المادي العديد من الأشكال والصور ولا يحتاج بالضرورة أن يكون من نفس النوع بين كل أزواج المرسلات والمستقبلات على طول المسار. تتضمّن أنواع الأوساط المادية أزواج أسلاك النحاس المجدولة، والكبلات المحورية، وكبلات الألياف الضوئية متعدّدة الأنماط، وطيف ترددات الراديو للانتقال الأرضي، وطيف ترددات الراديو للانتقال عبر القمر الصناعي. تنقسم الأوساط المادية إلى قسمين رئيسين: أوساط موجّهة (Guided) وأوساط غير موجّهة (Unguided). في

الأوساط الموجّهة يتم توجيه الموجات أثناء انتقالها بواسطة وسط صلب، كالألياف الضوئية، أو زوج مجدول من أسلاك النحاس، أو كبل محوري. وفي حالة الأوساط المادية غير الموجّهة، تنتقل الموجات في الجو وفي الفضاء الخارجي، كما في الشبكات المحلية اللاسلكية أو قنوات القمر الصناعي الرقمية.

ولكن قبل أن ندخل في تفاصيل خصائص الأنواع المختلفة للأوساط المادية، دعنا نقول بضع كلمات حول تكلفتها. غالباً ما تعتبر التكلفة الفعلية للوصلة المادية (سواء كانت سلكاً نحاسياً، أو كبل ألياف ضوئية، أو أي نوع آخر) ضئيلة بالمقارنة مع بنود التكلفة الأخرى التي يتضمنها إنشاء شبكة، وعلى وجه الخصوص يمكن أن تكون تكلفة الأيدي العاملة اللازمة لتركيب الوصلة المادية أضعاف تكلفة المواد المطلوبة. لهذا السبب تقوم العديد من شركات البناء بتركيب زوج أسلاك مجدولة وليفة ضوئية وكبل محوري في كل غرفة من غرف البنايات الجديدة. حتى لو استخدم وسط واحد من هذه الأوساط في بداية الأمر، هناك احتمال كبير للاحتياج إلى وسط آخر في المستقبل القريب، وبهذا يتم توفير كلفة مد أسلاك إضافية في المستقبل.

زوج أسلاك النحاس المجدولة

يعتبر زوج أسلاك النحاس المجدولة أرخص وسائط نقل البيانات الموجّهة وأكثرها انتشاراً. ومنذ أكثر من مائة عام وشبكات الهاتف تستخدم هذا الوسط. وفي الحقيقة فإن أكثر من 99٪ من الوصلات السلكية من جهاز الهاتف إلى سنترال الهاتف المحلي تستخدم أزواج أسلاك نحاسية مجدولة، ولاشك أن معظمنا قد رأى زوج الأسلاك المجدول في منازلنا ومحيط عملنا. يتألف الزوج المجدول من سلكين نحاسيين معزولين، قطر كلٍّ منهما حوالي 1 ملم، وهما مجدولان بشكلٍ حلزوني منتظم حول بعضهما البعض لتقليل التداخل الكهرومغناطيسي الناجم عن أزواج الأسلاك المماثلة القريبة. عادةً ما يُجمع عدد من تلك الأزواج معاً على شكل كبل وذلك بتغليفها ضمن درعٍ واق، ويمثل كل زوج منها وصلة اتصال مستقلة. أما أزواج الأسلاك المجدولة المكشوفة (UTP)

فتستخدم بكثرة في شبكات الحاسب داخل البنايات (أي في الشبكات المحلية (LAN)). تتراوح معدلات نقل البيانات على تلك الشبكات الآن ما بين 10 ميجابت/ثانية إلى 1 جيجابت/ثانية، حيث تعتمد السرعة التي يمكن تحقيقها على سمك السلك والمسافة بين المرسل والمستقبل.

عندما ظهرت تقنية الألياف الضوئية في الثمانينيات، استخف الكثير من الناس بزوج الأسلاك المجدولة بسبب سرعته المنخفضة نسبياً في نقل البيانات؛ بل إن البعض تنبأ بأن تحل تقنية الألياف الضوئية محل تلك الأسلاك بالكامل. لكن زوج الأسلاك المجدولة أثبت أنه لا يستسلم بسهولة!. بوسع التقنيات الحديثة من تلك الأسلاك، كالنوعية UTP CAT 5، نقل البيانات بمعدلات تصل إلى 1 جيجابت/ثانية عبر مسافات تصل إلى مائة متر. في النهاية، أثبت زوج الأسلاك المجدول جدارته ولا يزال هو الحل المهيمن لربط شبكات البيانات المحلية السريعة.

كما ذكرنا سابقاً، يُستخدم زوج الأسلاك المجدول بكثرة أيضاً في شبكات الوصول السكني للإنترنت. رأينا أن تقنية مودم الهاتف توفر سرعات تصل إلى 56 كيلوبت/ثانية على تلك الأسلاك. رأينا أيضاً أن خط المشترِك الرقمي (DSL) مكّن المستخدمين في المنازل من الوصول للإنترنت بسرعات تتجاوز 6 ميجابت/ثانية على زوج الأسلاك المجدول (للمستخدمين القريبين من مودم موفر خدمة الإنترنت).

الكبلات المحورية

يتألف الكبل المحوري من موصلين من النحاس، مثله في ذلك مثل زوج الأسلاك المجدول، مع الفارق أن موصلي الكبل المحوري لهما نفس المركز بدلاً من كونهما متوازيين. بهذا التركيب والعزل الخاص والحجب يستطيع الكبل المحوري نقل البيانات بسرعات أعلى. يكثر استخدام هذا الكبل في أنظمة تلفزيون الكبل (Cable TV). وكما رأينا سابقاً، فقد تم مؤخراً دمج أنظمة تلفزيون الكبل بأجهزة مودم الكبل لتزويد المستخدمين في المنازل بوصول

للإنترنت بسرعات تصل إلى 1 ميجابت/ثانية أو أكثر. في تلك الأنظمة يقوم المرسل بنقل الإشارة الرقمية إلى نطاق ترددات معين (بواسطة ما يسمى بالتعديل أو التضمين (modulation)) وإرسال الإشارة التناظرية الناتجة إلى مُستقبل أو أكثر. يمكن استخدام الكبل المحوري كوسط مشترك لنقل البيانات، وعلى وجه التحديد يمكن توصيل عددٍ من الأنظمة الطرفية مباشرةً إلى الكبل، حيث يستقبل كل نظام طرفي منها كل ما يرسله أي نظام طرفي آخر.

الألياف الضوئية

الليفة الضوئية عبارة عن وسط مرن يمرر نبضات الضوء، حيث تمثل كل نبضة بت بيانات. بوسع ليفة ضوئية واحدة نقل البيانات بمعدلات فائقة تصل إلى عشرات بل مئات الجيجابت/ثانية. تمتاز الألياف الضوئية بمقاومتها للتداخل الكهرومغناطيسي، وقلة اضمحلال الإشارة المارة بها بشكلٍ كبير بحيث يمكن استخدامها لمسافات تصل إلى 100 كيلومتر من غير حاجة إلى مضخمات، كما أنه من الصعوبة بمكان التنصت على محتوى البيانات المارة بها. لقد جعلت تلك الخصائص من الألياف الضوئية وسط الإرسال الموجّه المفضّل لنقل البيانات بكميات كبيرة لمسافات طويلة، وخصوصاً للوصلات عبر البحار. والآن تستخدم العديد من وصلات المسافات الطويلة في الولايات المتّحدة الألياف الضوئية فقط، كما يسود استخدام الألياف الضوئية في العمود الفقري لشبكة الإنترنت. ومع ذلك فإن الكلفة العالية لتجهيزات الشبكات الضوئية كأجهزة الإرسال والاستقبال والمحوّلات قد أعاقت انتشارها للمسافات القصيرة كشبكات البيانات المحلية أو في المنازل كشبكات الوصول السكني. تتراوح سرعات الوصلات القياسية بتقنية الناقل الضوئي (OC) ما بين 51.8 ميجابت/ثانية و39.8 جيجابت/ثانية. تعرف هذه المواصفات غالباً باسم OC-*n*، حيث تساوي سرعة الوصلة حاصل ضرب *n* في 51.8 ميجابت/ثانية. تتضمن المعايير المستخدمة حالياً OC-1، OC-3، OC-12، OC-24، OC-48، OC-96، OC-192، OC-768. لتغطية

أكثر تفصيلاً للسمات المختلفة لشبكات الألياف الضوئية انظر [IEC Optical 2007; Goralski 2001; Ramaswami 1998; Mukherjee 1997].

قنوات الراديو الأرضية

تحمل قنوات الراديو الإشارات في طيف الترددات الكهرومغناطيسية، وتعتبر طريقة جذابة لنقل البيانات لأنها لا تحتاج لتمديد أي وسط مادي، ويمكنها اختراق الجدران، وتوفر الوصول لمستخدم نقّال، كما يمكن استخدامها لنقل الإشارات لمسافات طويلة. تعتمد خصائص قناة الراديو بشكلٍ ملحوظ على محيط انتشار الموجات والمسافة المقطوعة. تحدد الاعتبارات البيئية مدى اضمحلال الإشارة وخفوتها بالحجب (shadow fading) (واللذان ينقصان – على الترتيب – من قوة الإشارة بانتقالها لمسافة معينة، وسريانها حول أو خلال الأجسام التي تعوق انتشارها)، وكذلك ضعف الإشارة بسبب وصولها عبر مسارات متعدّدة (multi-path fading) (نتيجة انعكاس الموجات على الأجسام المختلفة)، والتداخل (interference) (بسبب الإشارات الأخرى المرسلة وغيرها من الإشارات الكهرومغناطيسية).

يمكن تصنيف قنوات الراديو الأرضية بشكلٍ عام إلى فئتين: تلك التي تُستخدم في المناطق المحلية لتغطي مسافات من عشرة أمتار إلى بضع مئات من الأمتار؛ وتلك التي تستخدم في مناطق واسعة لتغطي عشرات الكيلومترات. تستخدم تقنيات شبكات البيانات المحلية اللاسلكية التي تناولناها في الجزء 2-2-1 قنوات راديو لمناطق محلية، في حين تستخدم تقنيات الوصول الخلوية قنوات راديو لمناطق واسعة. وسوف نتناول قنوات الراديو بالتفصيل في الفصل السادس.

قنوات الراديو عن طريق الأقمار الصناعية

يقوم القمر الصناعي (satellite) بربط اثنين أو أكثر من محطات الميكروويف الأرضية للإرسال والاستقبال. يستقبل القمر الصناعي الإرسال على نطاق معين من الترددات، حيث يجدّد الإشارة المستقبلة باستخدام مكرّر (repeater)، ثم يرسل

الإشارة على نطاق تردد آخر. هناك نوعان من الأقمار الصناعية المستخدمة حالياً: أقمار ثابتة بالنسبة للكرة الأرضية (geostationary)، وأقمار تدور حول الأرض في مدار منخفض (LEO). تبقى الأقمار الصناعية من نوع geostationary بشكلٍ دائم فوق نفس البقعة على الأرض. ولتحقيق ذلك التواجد الثابت يتم وضع القمر الصناعي في مدار يبعد 36000 كيلومتر فوق سطح الأرض. تتسبب المسافة الضخمة المقطوعة من المحطة الأرضية إلى القمر الصناعي ثم العودة إلى المحطة الأرضية في تأخير كبير للإشارة يصل إلى حوالى 280 ميللي ثانية. ومع ذلك فوصلات القمر الصناعي التي يمكن أن تعمل بسرعات تصل إلى مئات الميجابت/ثانية، غالباً ما تستخدم في شبكات الهاتف وفي العمود الفقري للإنترنت. كما ذكرنا في الجزء 1-2-2، تُستخدم وصلات الأقمار الصناعية أيضاً على نحو متزايد لتحقيق وصول سكني عالي السرعة بالإنترنت في المناطق التي لا تتوفر فيها وسيلة أخرى للوصول بواسطة تقنيات DSL أو مودم الكبل.

تطلق الأقمار الصناعية من نوع LEO في مدارات أقرب بكثير لسطح الأرض، ولا تبقى بشكلٍ دائم فوق بقعة واحدة على الأرض، فهى تدور حول الأرض (تماماً كما يفعل القمر الطبيعى) ويمكنها الاتصال ببعضها البعض علاوةً على اتصالها بالمحطات الأرضية. للحصول على تغطية متصلة لمنطقة ما، ينبغي وضع العديد من تلك الأقمار الصناعية في مدارات لها حول الأرض. وجدير بالذكر أنه يجري حالياً تطوير العديد من أنظمة الاتصال على ارتفاع منخفض. تقوم صفحة الويب Lloyd لأبراج الأقمار الصناعية [Wood 2007] بتوفير وجمع المعلومات عن نظم أبراج الأقمار الصناعية للاتصالات. ويتوقع استخدام تقنية LEO للأقمار الصناعية للوصول للإنترنت في وقت ما في المستقبل.

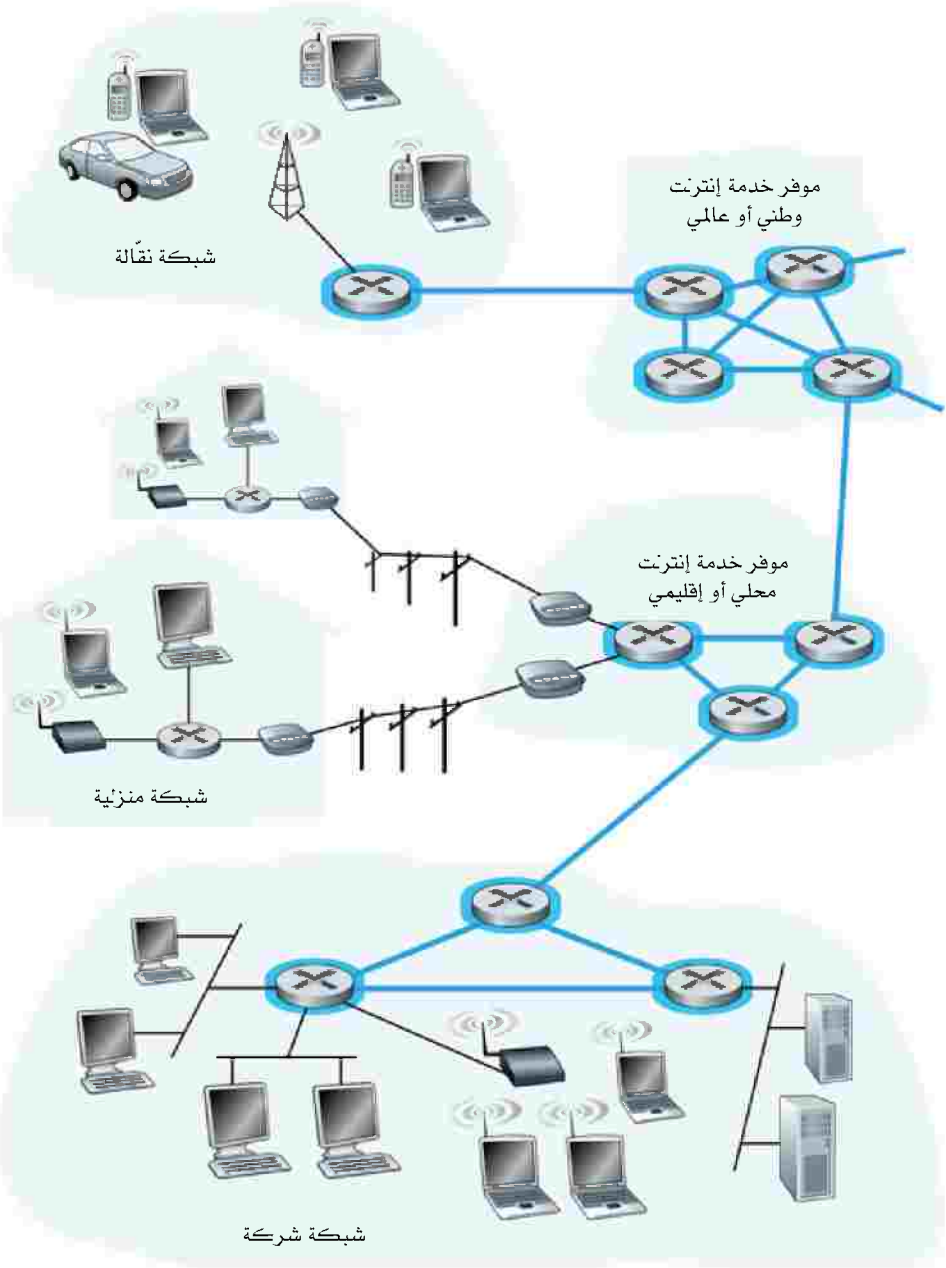
3-1 قلب الشبكة

بعد أن تناولنا حافة الإنترنت، دعنا الآن نغوص أكثر داخل قلب الشبكة؛ تلك المجموعة المتشابكة من محوّلات الرزم والوصلات التي تربط الأنظمة الطرفية الموصلة على حواف الإنترنت. يوضح الشكل 1-7 قلب الشبكة بخطوط سميكة.

1-3-1 تحويل الدوائر وتحويل الرزم

هناك طريقتان أساسيتان لنقل البيانات عبر شبكة مكونة من وصلات ومحوّلات: تحويل الدوائر (circuit switching) وتحويل رزم البيانات (packet switching). في الشبكات التي تعمل بتحويل الدوائر، تبقى كافة موارد الشبكة اللازمة على طول الطريق لتحقيق الاتصال بين الأنظمة الطرفية (كالمخازن المؤقتة ومعدلات الإرسال على الوصلات) محجوزة طوال جلسة الاتصال بين تلك الأنظمة. أما في شبكات تحويل الرزم فلا يتم حجز تلك الموارد وإنما تَستخدِم الرسائل تلك الموارد أثناء الجلسة حسب الطلب، ومن ثم فقد تحتاج الرسائل لأن تنتظر (تقف في الصف) لاستخدام وصلة اتصال. كمثال بسيط، لنأخذ بعين الاعتبار مطعمين، أحدهما يتطلب حجزاً والآخر لا يتطلب حجوزات ولا يقبلها. في حالة المطعم الأول، علينا أن نتحمل إزعاج عمل الحجز قبل أن نترك المنزل. ولكن عندما نصل إلى المطعم سيكون بوسعنا، من حيث المبدأ، أن نتحدث فوراً مع النادل ونطلب وجبة طعامنا. بالنسبة للمطعم الذي لا يتطلب حجوزات، لن نكون بحاجة لعمل حجز مسبق لمنضدة، .ولكن عندما نصل إلى المطعم، قد نحتاج للانتظار حتى تفرغ منضدة قبل أن نتمكن من الاتصال بالنادل.

تمثل شبكات الهاتف المنتشرة في كل مكان أمثلة لشبكات تحويل الدوائر. تأمّل ما يحدث عندما يرغب شخص في إرسال معلومات (صوت أو فاكس) إلى شخص آخر عبر شبكة الهاتف. قبل أن يتمكن المرسل من إرسال المعلومات، يتعين على الشبكة تجهيز وصلة مادية بين المرسل والمستقبل تعدّ



الشكل 1-7 قلب الشبكة.

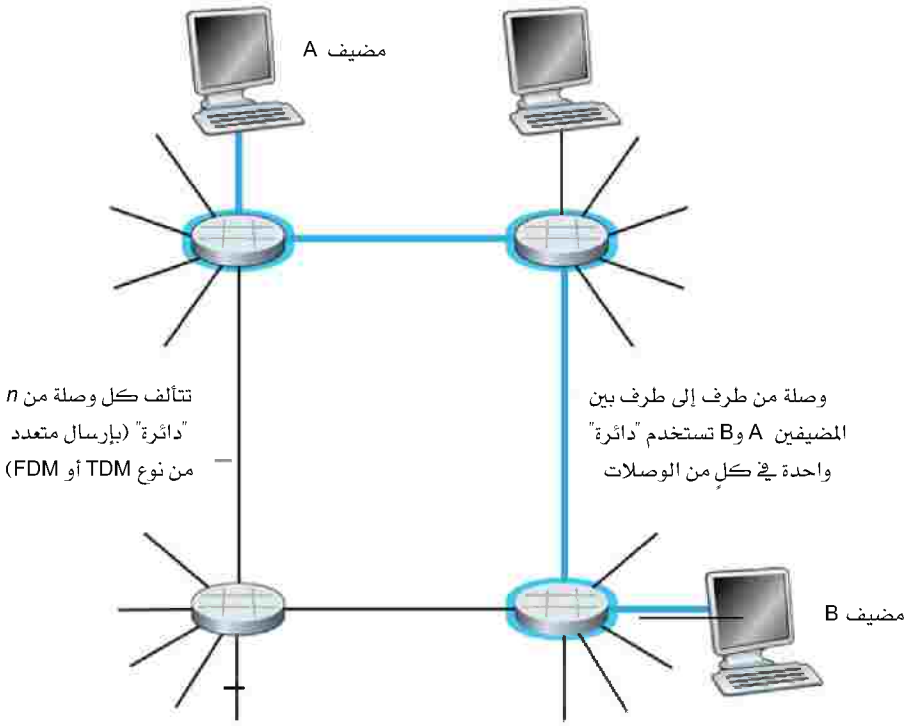
بمثابة وصلة موثوقة وتبقى كل المحوّلات الموجودة على مسار تلك الوصلة موصّلة طوال مدة جلسة الاتصال. في مفردات شبكات الهاتف، يُطلق على هذه الوصلة دائرة (circuit). وعندما تقوم الشبكة بتجهيز دائرةٍ للاتصال، تقوم أيضاً بحجز معدلٍ ثابتٍ لإرسال البيانات على وصلات الشبكة طوال المدة. نظراً لأن الحيز الترددي اللازم لتوصيل المرسل بالمستقبل قد تم حجزه مسبقاً، يكون بوسع المرسل بث البيانات إلى المستقبل بهذا المعدل الثابت.

أما إنترنت اليوم فتُعدّ مثالاً نموذجياً لشبكات تحويل الرزم. تأمل ما يحدث عندما يحتاج مضيف لإرسال رزمة إلى مضيف آخر على الإنترنت. كما هو الحال في أسلوب تحويل الدوائر، يتم إرسال الرزمة عبر سلسلة من وصلات الاتصال. ولكن بطريقة تحويل الرزم ترسل الرزمة عبر الشبكة بدون حجز أي حيز ترددى (bandwidth) على الإطلاق. فإذا صادف وكانت إحدى الوصلات مزدحمة لأن رزماً أخرى تستخدم نفس الوصلة في ذلك الوقت، ستضطر الرزمة للانتظار في المخزن المؤقت في ناحية الإرسال من الوصلة، ومن ثم تعاني تأخيراً. تبذل الإنترنت أفضل جهد لتسليم الرزم في وقت مناسب، ولكنها لا تعطي أي ضمانات (يطلق على نوع الخدمة هذه خدمة أفضل جهد (best-effort service)).

ليست كل شبكات الاتصال من النوع الذي يمكن تصنيفه بسهولة ودقة إلى شبكات بتحويل الدوائر أو شبكات بتحويل الرزم، ومع ذلك يُعدّ هذا التصنيف الأساسي نقطة بداية ممتازة لفهم تقنية شبكات الاتصال.

تحويل الدوائر

هذا كتاب عن شبكات الحاسب والإنترنت وتحويل رزم البيانات، وليس كتاباً عن شبكات الهاتف وتحويل الدوائر. ومع ذلك فمن المهم فهم لماذا تستخدم الإنترنت وشبكات الحاسب الأخرى أسلوب تحويل الرزم بدلاً من الطريقة التقليدية لتحويل الدوائر والمتبعة في شبكات الهاتف. لهذا السبب سنلقي هنا نظرة عامة مختصرة على تحويل الدوائر.



الشكل 1-8 شبكة بسيطة بتحويل الدوائر تتكون من أربعة محوّلات وأربع وصلات.

يوضح الشكل 1-8 شبكة تعمل بتحويل الدوائر. في هذه الشبكة توصّل محوّلات الدوائر الأربعة ببعضها البعض عن طريق أربع وصلات. كل وصلة من هذه الوصلات تضم n دائرة، وعليه فبوسع كل وصلة دعم n توصيلة في نفس الوقت. توصل أجهزة المضيفات (كالحواسب الشخصية ومحطات العمل) بشكلٍ مباشر بأحد المحوّلات. عندما يحتاج مضيفان للاتصال، تقوم الشبكة بتجهيز توصيلة من طرف إلى طرف تكرّسها فقط للاتصال بين هذين المضيفين. (بالطبع هناك إمكانية لعمل اتصالات بين أكثر من جهازين في نفس الوقت، ولكن لتبسيط الأمور دعنا نفترض الآن أن هناك مضيفين اثنين فقط لكل اتصال).

وهكذا، فلكي يتمكّن مضيف A من إرسال رسالة إلى مضيف B يتعين على الشبكة أولاً حجز دائرة واحدة على كل من الوصلتين بينهما. نظراً لأن كل وصلة تضم n دائرة، فإن كل توصيلة مستعملة لتحقيق الاتصال المطلوب من طرف إلى طرف ستستحوذ على جزء مقداره ($\frac{1}{n}$) من الحيز الترددي الكلي للوصلة طوال مدة الاتصال.

الإرسال المتعدد في شبكات تحويل الدوائر

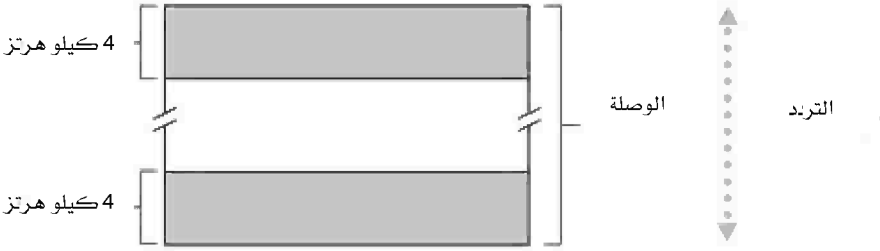
كل دائرة من الدوائر التي توفرها الوصلة يمكن الحصول عليها إمّا بالإرسال المتعدد بتقسيم التردد (FDM) أو الإرسال المتعدد بتقسيم الوقت (TDM). في حالة FDM يتم تقسيم مجال الترددات المخصص للوصلة بين دوائر الاتصال التي توفرها الوصلة. وبشكلٍ أكثر تحديداً، تخصص الوصلة نطاق ترددات لكل اتصال ويبقى كذلك طوال مدة الاتصال. في شبكات الهاتف غالباً ما يكون نطاق التردد هذا عرضه 4 كيلوهرتز (أي 4000 ذبذبة/ثانية أو 4000 دورة/ثانية). تستخدم محطات إذاعة FM أيضاً أسلوب FDM للاشتراك في طيف التردد مابين 88 ميجاهيرتز و108 ميجاهيرتز، حيث يخصص لكل محطة نطاق تردد معين.

تقوم وصلة TDM بتقسيم الوقت إلى إطارات (frames) ثابتة المدّة، وكل إطار يقسّم إلى عدد ثابت من الفترات أو الشرائح الزمنية (time slots). عندما تُجهز الشبكة توصيلة عبر الوصلة، فإنها تقوم بتخصيص إحدى تلك الشرائح الزمنية في كل إطار لخدمة ذلك الاتصال، وتبقى تلك الشرائح الزمنية مكرّسة فقط لنقل البيانات الخاصة بذلك الاتصال إلى أن ينتهي.

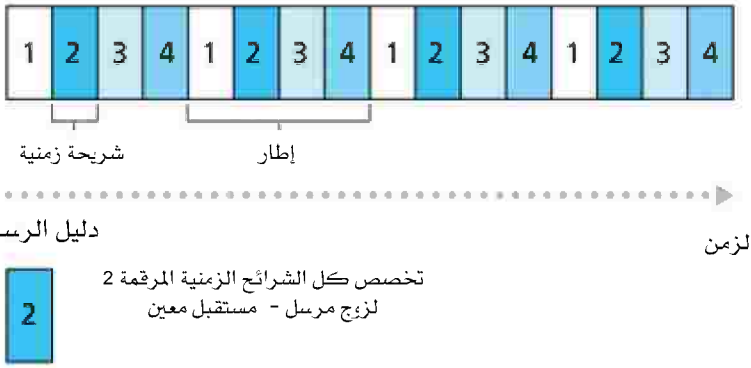
يوضح الشكل 1-9 أسلوبي FDM وTDM على وصلة شبكة معينة توفر أربع دوائر. في حالة FDM يتم تجزئة حيز الترددات إلى أربعة نطاقات، عرض كل منها 4 كيلوهرتز. في حالة TDM يتم تجزئة الوقت إلى إطارات يضم كلٌّ منها أربع شرائح زمنية. تخصص لكل دائرة نفس الشريحة الزمنية في الإطارات المتتابعة ويُحسب معدل إرسال البيانات لدائرة واحدة بضرب معدل إرسال

الإطارات في عدد بتات البيانات التي تُرسل خلال الشريحة الزمنية المخصصة للدائرة. على سبيل المثال إذا كانت الوصلة ترسل 8000 إطار/ثانية وكل فترة زمنية تضم 8 بتات، يكون معدل إرسال البيانات لدائرة واحدة 64 كيلوبت/ثانية.

إرسال متعدد بتقسيم التردد FDM



إرسال متعدد بتقسيم الزمن TDM



الشكل 1-9 في حالة الإرسال المتعدد بتقسيم التردد (FDM) يخصص لكل دائرة جزء من الحيز الترددي. في حالة الإرسال المتعدد بتقسيم الزمن (TDM) تحصل كل دائرة على حيز التردد بأكمله بشكلٍ دوري لفترة قصيرة (أي أثناء الشريحة الزمنية الخاصة بها).

يرى أنصار طريقة تحويل رزم البيانات أن تحويل الدوائر يسبب إضاعة موارد الشبكة، حيث إن الدوائر المكرّسة تبقى عاطلة أثناء فترات الصمت (عند عدم إرسال بيانات). فعلى سبيل المثال عندما يتوقف شخص عن الكلام أثناء مكالمة هاتفية، فإن موارد الشبكة (الشرائح الزمنية أو نطاق التردد المخصص له على الوصلات على طول مسار الاتصال) لن يتسنى استخدامها لخدمة التوصيلات الأخرى، حيث تبقى محجوزة له طوال مدة المكالمة.

لنأخذ مثالاً آخر يبين كيف يمكن لتلك الموارد أن تبقى غير مستغلة، لنأخذ بعين الاعتبار أخصّائي أشعة يستخدم شبكة بتحويل الدوائر للوصول عن بعد لمجموعة من صور الأشعة السينية. يقوم الأخصّائي بإعداد توصيلة، ثم يطلب صورة، ويقوم بتأملها وفحصها، وبعد ذلك يطلب صورة أخرى. تبقى موارد الشبكة مخصصة للاتصال طوال جلسة الفحص ولكنها لا تستعمل (أي تضيع) أثناء فترات تأمل الأخصّائي لصورة الأشعة. ويشير أنصار تحويل الرزم أيضاً الى أن تجهيز دوائر من طرف إلى طرف وحجز عرض نطاق من طرف إلى طرف هي عمليات صعبة وتتطلب برمجيات معقدة لتنسيق عمل المحوّلات على طول مسار التوصيلة من طرف إلى طرف.

قبل أن ننهي مناقشتنا لشبكات تحويل الدوائر، دعنا نعطي مثالاً عددياً لتسليط مزيد من الضوء على الموضوع. دعنا نحسب الوقت اللازم لإرسال ملف حجمه 640 كيلوبت من المضيف A إلى المضيف B على شبكة تعمل بتحويل الدوائر. افترض أن كل الوصلات في الشبكة تستخدم أسلوب TDM بـ 24 شريحة زمنية لكل إطار وبمعدل كلي لإرسال البيانات قدره 1.536 ميجابت/ثانية. افترض أيضاً أن تجهيز دائرة من طرف إلى طرف قبل بدء إرسال الملف يستغرق 500 ميللي ثانية. كم من الوقت سيستغرق إرسال الملف؟ كل دائرة من الدوائر الأربعة والعشرين سيخصص لها معدل إرسال قدره 1.536 ميجابت/ثانية ÷ 24 = 64 كيلوبت/ثانية، لذا يحتاج إرسال بيانات الملف إلى 640 كيلوبت ÷ (64 كيلوبت/ثانية) = 10 ثوانٍ. نضيف إلى تلك المدة الوقت اللازم لتجهيز الدائرة فنحصل على 10.5 ثانية كزمن كلي لإرسال الملف. لاحظ أن زمن إرسال البيانات لا يعتمد على عدد الوصلات المستخدمة، فهو 10

ثوانٍ سواء مرّت الدائرة عبر وصلة واحدة أو عبر مائة وصلة. (يتضمّن التأخير الفعلي من طرف إلى طرف أيضاً زمناً إضافياً للانتقال؛ انظر الجزء 1-4).

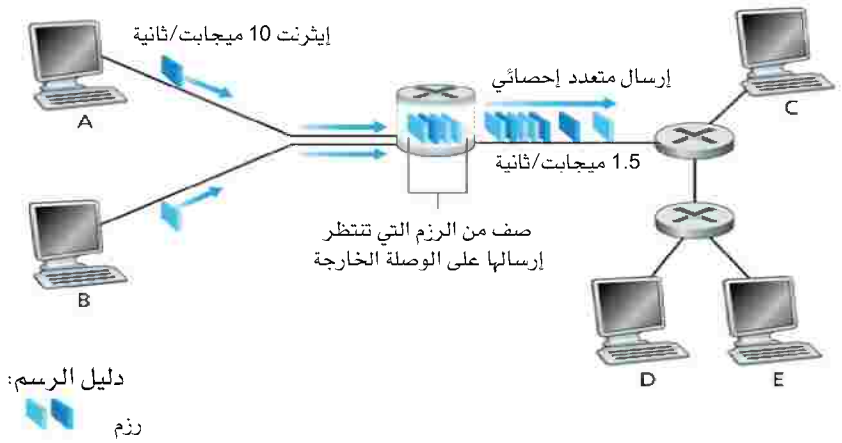
تحويل الرزم

تتبادل التطبيقات الموزّعة على الشبكة الرسائل لإنجاز مهماتها. يمكن أن تتضمن الرسائل أي شئ يقرره مصممو البروتوكول. يمكن أن تؤدي تلك الرسائل وظائف تحكم (على سبيل المثال، رسالة مرحباً في مثالنا السابق للسؤال عن الوقت). كما يمكن أن تحتوي على بيانات، كرسالة بريد إلكتروني، أو صورة JPEG، أو ملف MP3. في شبكات الحاسب الحديثة، يقوم مصدر البيانات بتجزئة الرسائل الطويلة إلى قطع أصغر من البيانات تعرف بالرزم. تنتقل كلٌّ من تلك الرزم بين المصدر والوجهة عبر وصلات الاتصال ومحوّلات الرزم (والتى يوجد منها نوعان سائدان هما الموجّهات ومحوّلات طبقة ربط البيانات). يتم إرسال بتات الرزم على كل وصلة اتصال بمعدل يساوي المعدل الكامل لإرسال البيانات على الوصلة.

تستخدم معظم محوّلات الرزم أسلوب التخزين والإرسال (store-and-forward) عند مدخل كل وصلة اتصال. يتطلب هذا الأسلوب أن يقوم المحوّل باستقبال الرزمة بالكامل قبل أن يبدأ بإرسال أول بت منها على الوصلة الخارجة. وعليه فإن أسلوب التخزين والإرسال يصاحبه تأخيرٌ عند مدخل كل وصلة على طول مسار الرزمة من المصدر إلى الوجهة النهائية. لنحسب كم يستغرق إرسال رزمة حجمها L بتات من مضيف إلى آخر عبر شبكة تستخدم تحويل الرزم. لنفترض أن هناك Q وصلة بين المضيفين، وأن معدل إرسال البيانات على كلٍّ منها هو R بت/ثانية. افترض أن تلك الرزمة هي الرزمة الوحيدة في الشبكة. يجب إرسال الرزمة أولاً على الوصلة الأولى ببثها من المضيف A وهذا يستغرق زمناً قدره $\frac{L}{R}$ ثانية. ينبغي بعد ذلك إرسالها عبرالوصلات $(Q - 1)$ المتبقية مما يتطلب تخزينها وإرسالها $(Q - 1)$ مرة، وبتأخير قدره $\frac{L}{R}$ ثانية لكل مرة. ومن ثم يكون التأخير الكلي $\frac{QL}{R}$.

يرتبط كل محوّل رزم بعدة وصلات اتصال، ولكل وصلة ملحقة به يحتفظ المحوّل بمخزن خرج مؤقت (يعرف أيضاً بصف خرج) لتخزين الرزم التي سيقوم المحوّل بإرسالها على تلك الوصلة. تلعب مخازن الخرج المؤقتة تلك دوراً رئيسياً في تحويل رزم البيانات. إذا وصلت إلى المحوّل رزمة لإرسالها عبر وصلة ولكنها وجدت تلك الوصلة مشغولة بإرسال رزمة أخرى، فعندئذ سيتعين عليها الانتظار في المخزن المؤقت. وهكذا، فإنه بالإضافة إلى التأخير الناجم عن أسلوب التخزين والإرسال، تعاني الرزم من تأخيرات الانتظار في صف المخزن المؤقت. هذه التأخيرات متغيرة وتعتمد على مستوى الازدحام في الشبكة. ونظراً لأن الأماكن في المخزن المؤقت محدودة، فقد تجد رزمة عند وصولها أن المخزن المؤقت مكتظ بالكامل برزم أخرى تنتظر الإرسال. في هذه الحالة سيحدث فقد لبعض الرزم، إما الرزمة الواصلة أو إحدى الرزم المنتظرة في الصف (حسب الأسلوب المتبع لإسقاط الرزم). وعودةً إلى المثال التقريبي للمطعم الذي أوردناه في موضعٍ سابق: يناظر تأخير الانتظار في الصف الوقت الذي تنتظره في بهو المطعم حتى تفرغ منضدة لاستخدامك. أما فقد رزمة فيناظر أن يطلب منك النادل معتذراً مغادرة المكان نظراً لأن هناك أناساً آخرين كثيرين قبلك ينتظرون مناضد.

يوضح الشكل 1-10 شبكة بسيطة تعمل بتحويل الرزم. في هذا الشكل وما يتبعه من أشكال تُمثّل الرزم بكتل ثلاثية الأبعاد حيث يُمثّل عرض الكتلة عدد البتات في الرزمة. كل الرزم في هذا الشكل لها نفس العرض، ومن ثم تحتوى على نفس عدد البتات. افترض أن المضيفين A وB يرسلان رزماً للمضيف E. فى البداية يرسل A وB رزمهما على وصلة إيثرنت بمعدل 10 ميجابت/ثانية إلى محوّل الرزم الأول والذى يقوم بدوره بتوجيه تلك الرزم إلى الوصلة الخارجة التى لها سرعة تساوى 1.5 ميجابت/ثانية. إذا تجاوز معدل وصول الرزم إلى المحوّل معدل إرسال الرزم على الوصلة الخارجة بسرعة 1.5 ميجابت/ثانية، فسيحدث ازدحام عندما تأخذ الرزم الواصلة في الاصطفاف في طابور مخزن الخرج المؤقت قبل أن تُرسل على تلك الوصلة. سنتناول تأخير الانتظار في الصف بتفصيل أكثر في الجزء 1-4.



الشكل 1-10 تحويل الرزم.

تحويل الرزم في مقابل تحويل الدوائر: الإرسال المتعدد الإحصائي

بعد أن تناولنا تحويل الدوائر وتحويل الرزم، دعنا نعقد مقارنة بين الأسلوبين. غالباً ما توجّه الانتقادات إلى أسلوب تحويل الرزم بأنه لا يناسب الخدمات الفورية (كالمكالمات الهاتفية ومؤتمرات الفيديو) نظراً للتأخيرات المتغيرة والتي يصعب التنبؤ بها من طرف إلى طرف (والتي تنجم بصورة رئيسية عن التأخيرات المتغيرة في الانتظار في الطوابير ويصعب التنبؤ بها بدقة). وفى المقابل يدافع أنصار تحويل الرزم بأن هذا الأسلوب: (1) يضمن مشاركة أفضل للحيز الترددي المتاح مقارنةً بأسلوب تحويل الدوائر، (2) يُعتبر أبسط وأكثر كفاءة وأقل كلفة من أسلوب تحويل الدوائر. للاطلاع على مناقشة مفيدة عن تحويل الرزم في مقابل تحويل الدوائر انظر [Molinero-Fernandez 2002]. وبشكلٍ عام قد يفضل الناس الذين لا يحبّون الإزعاج الذي يسببه الحجز في مطعم أسلوب تحويل الرزم على أسلوب تحويل الدوائر!

لماذا يُعدّ تحويل رزم البيانات أكثر كفاءة؟ دعنا نأخذ مثالاً بسيطاً. افترض أن المستخدمين يشتركون في وصلة سرعتها 1 ميجابت/ثانية، وأن كل مستخدم يتناوب بين فترات نشاط (يُنتج فيها بيانات بمعدل 100 كيلوبت/ثانية) وفترات

خمول لا ينتج فيها أي بيانات، ثم افترض أن المستخدم يكون نشطاً فقط بنسبة 10٪ من الوقت (ويحتسي قهوته على مهَل أثناء الـ 90٪ الأخرى). في نظام تحويل الدوائر، يجب حجز سعة إرسال مقدارها 100 كيلوبت/ثانية لكل مستخدم طوال الوقت. فعلى سبيل المثال مع نظام TDM لتحويل الدوائر، إذا تم تقسيم إطار زمني مدته ثانية واحدة إلى 10 فترات كلٌ منها 100 ميللي ثانية، فسيخصص لكل مستخدم فترة واحدة في كل إطار.

وعليه، فإن الوصلة فى حالة استخدام أسلوب تحويل الدوائر يمكنها أن تدعم في نفس الوقت 10 مستخدمين فقط (أى ناتج قسمة 1 ميجابت/ثانية على 100 كيلوبت/ثانية). أما عند استخدام أسلوب تحويل رزم البيانات، فاحتمال أن يكون مستخدم بعينه نشطاً هو 0.1 (أي 10 بالمائة). بافتراض وجود 35 مستخدم، فاحتمال أن يكون هناك 11 مستخدماً أو أكثر نشطين في نفس الوقت سيكون تقريباً 0.0004 (توضح المسألة P7 كيفية حساب هذا الاحتمال). عندما يكون هناك 10 مستخدمين أو أقل نشطين في نفس الوقت (وذلك يحدث باحتمال قدره 0.9996)، يكون المعدل الكـــلي لوصول البيانات أقل من أو يساوي 1 ميجابت/ثانية (أي معدل خرج الوصلة). وهكذا فعندما يكون هناك 10 مستخدمين أو أقل نشطين، تتدفق رزم المستخدمين خلال الوصلة عملياً بدون تأخير كما هو الحال مع نظام تحويل الدوائر. أما عندما يكون هناك أكثر من 10 مستخدمين نشطين في نفس الوقت فإن معدل الوصول الكلي للرزم يتجاوز معدل خرج الوصلة ويأخذ صف الانتظار في النمو (يستمر هذا النمو حتى يتراجع معدل الوصول الكلي ليقل عن 1 ميجابت/ثانية، وعندها يبدأ طول صف الانتظار في التراجع). نظراً لأن احتمال وجود أكثر من 10 مستخدمين نشطين في نفس الوقت هو احتمال ضئيل في هذا المثال، فإن أسلوب تحويل رزم البيانات يعطي تقريباً نفس أداء أسلوب تحويل الدوائر، ولكنه يسمح بعدد أكبر من المستخدمين (35 بدلاً من 10، أي ثلاثة أضعاف ونصف).

دعنا نأخذ بعين الاعتبار مثالاً بسيطاً آخر. افترض وجود 10 مستخدمين، وأن مستخدماً واحداً فقط يقوم فجأة بإنتاج ألف رزمة كل منها مكون من

1000 بت بينما يبقى المستخدمون الآخرون خاملون ولا ينتجون أي رزم. في نظام TDM بتحويل الدوائر يستخدم 10 فترات زمنية لكل إطار و1000 بت لكل فترة زمنية وسعة إرسال كلية مقدارها 1 ميجابت/ثانية، يستطيع المستخدم النشط استخدام الفترة الزمنية المخصصة له فقط في كل إطار لإرسال البيانات، بينما تبقى الفترات الزمنية التسعة الباقية في كل إطار خالية. سيحتاج المستخدم النشط إلى 10 ثوانٍ لإرسال المليون بت التي أنتجها. أما في حالة تحويل رزم البيانات فيمكن للمستخدم النشط إرسال رزمه بشكلٍ مستمر بمعدل الإرسال الكامل للوصلة (1 ميجابت/ثانية)، حيث لا يوجد مستخدمون آخرون ينتجون رزماً ينبغي إرسالها مع رزم المستخدم النشط بطريقة الإرسال المتعدد، وفي هذه الحالة سيتم إرسال كل البيانات التي أنتجها المستخدم النشط خلال ثانية واحدة فقط.

توضح الأمثلة السابقة حالتين يمكن أن يكون فيهما أداء تحويل الرزم أفضل من أداء تحويل الدوائر. كما تُظهر أيضاً الاختلاف الجوهري بين هذين الأسلوبين لاشتراك عدة مصادر للبيانات فيما بينها في معدل الإرسال على وصلة. يقوم أسلوب تحويل الدوائر بتحديد كيفية استخدام سعة الإرسال للوصلة بشكلٍ مسبق بغض النظر عن الطلب على تلك السعة، مما يؤدي إلى ضياع وقت الوصلة المخصص مسبقاً عند عدم استخدامه. وفي المقابل يقوم أسلوب تحويل الرزم بتخصيص استعمال الوصلة حسب الطلب، ومن ثم توزّع سعة الإرسال لوصلة مشتركة لكل رزمة على حدة، وفقط بين أولئك المستخدمين الذين لديهم رزم يلزم إرسالها على الوصلة. هذا الاشتراك في استخدام الموارد (resources) على أساس الطلب (بدلاً من التخصيص الثابت والمسبق لها) يطلق عليه أحياناً الإرسال المتعدد الإحصائي (statistical multiplexing).

رغم أن كلاً من تحويل الدوائر وتحويل الرزم منتشرٌ في شبكات الاتصالات اليوم، إلا أن الاتجاه السائد يميل بالتأكيد في صالح تحويل الرزم. حتى العديد من شبكات الهاتف اليوم تنتقل ببطء نحو تحويل رزم البيانات،

حيث تستخدم شبكات الهاتف غالباً تحويل الرزم في جزء الاتصالات عبر البحار، والذي يمثل الجزء الأعلى كلفةً للمكالمة الهاتفية.

2-3-1 كيف تسلك رزم البيانات طريقها عبر شبكات تحويل الرزم؟

ذكرنا سابقاً أن الموجّه يتسلم الرزمة التي وصلت إليه من إحدى وصلات الاتصال القادمة إليه ويرسلها عبر إحدى وصلات الاتصال الخارجة منه. ولكن كيف يحدد الموجّه الوصلة التي يجب أن يُرسل الرزمة من خلالها؟ في الواقع يتم ذلك بطرق مختلفة في الأنواع المختلفة من شبكات الحاسب. في هذا الفصل التمهيدي سنصف إحدى الطرق الشائعة، وبالتحديد الطريقة المستخدمة في الإنترنت.

تحمل كل رزمة تعبر شبكة الإنترنت عنوان الوجهة النهائية لها في ترويسة الرزمة، ولهذا العنوان تركيب هرمي كما هو الحال مع العناوين البريدية. عندما تصل رزمة إلى موجّه في الشبكة، يقوم الموجّه بفحص جزء من عنوان وجهتها النهائية ثم يرسلها إلى موجّه مجاور. وبتحديد أكثر، يضم كل موجّه جدول توجيه يربط ما بين عناوين الوجهات النهائية (أو أجزاء منها) والوصلات الخارجة المناظرة. عندما تصل رزمة إلى موجّه، يفحص الموجّه العنوان، ويبحث في جدوله لإيجاد الوصلة الخارجة المناظرة لعنوان الوجهة النهائية، ثم يقوم بعد ذلك بتوجيه الرزمة إلى تلك الوصلة.

لقد تعلمنا منذ وقت قصير أن الموجّه يستخدم عنوان وجهة الرزمة كدليل لجدول التوجيه ومن ثم تحديد الوصلة الخارجة الملائمة. لكن ذلك يطرح سؤالاً آخر: كيف يتم إعداد جداول التوجيه تلك؟ هل تُعد يدوياً في كل موجّه، أم أن الإنترنت تستخدم إجراءات أكثر آلية؟ سنتناول هذه القضية بالتفصيل في الفصل الرابع، ولكن لتبسيط الأمر الآن، سنكتفي هنا بذكر أن الإنترنت لديها عددٌ من بروتوكولات التوجيه الخاصة التي تستخدم لإعداد جداول التوجيه. على سبيل المثال، قد يحدد بروتوكول التوجيه المسار الأقصر بين كل موجّه والوجهات

النهائية المختلفة للرزم، ويستخدم تلك النتائج فى ضبط جداول التوجيه في الموجّهات.

تشبه عملية توجيه الرزم من طرف إلى طرف حالة سائق سيارة لا يستخدم الخرائط، ولكن بدلاً من ذلك يفضّل السؤال عن الطريق. على سبيل المثال، لنفرض أن جون يقود سيارته من فيلاديلفيا إلى منزل رقم 156 شارع Lakeside Drive في أورلندو بولاية فلوريدا. يقود جون السيارة أولاً إلى محطة بنزين في حيّه ويسأل كيف يصل إلى منزل رقم 156 شارع Lakeside Drive في أورلندو بولاية فلوريدا. يستخلص العامل في محطة البنزين جزء فلوريدا من العنوان ويخبر جون أن عليه أخذ الطريق السريع بين الولايات رقم I-95 باتجاه الجنوب، ويوصيه أن يسأل شخصاً آخر عند وصوله إلى ولاية فلوريدا. يأخذ جون الطريق I-95 جنوباً حتى يصل إلى مدينة Jacksonville فى فلوريدا، ثم يسأل عامل محطة بنزين آخر عن الطريق. يستخلص العامل جزء أورلندو من العنوان، ويخبر جون بأنه يجب أن يستمر على الطريق I-95 جنوباً حتى مدينة Daytona Beach، وبعد ذلك يسأل شخصاً آخر. في مدينة Daytona Beach يستخلص عامل محطة بنزين آخر جزءاً من العنوان (أورلندو) ويخبر جون أن عليه أخذ I-4 مباشرة إلى أورلندو. يأخذ جون I-4 ويغادره في مخرج أورلندو. هناك يذهب جون إلى عامل محطة بنزين آخر، وفي هذه المرة يستخلص العامل جزء Lakeside Drive من العنوان ويخبر جون عن الطريق الذي يجب عليه اتباعه للوصول إلى Lakeside Drive. عندما يصل جون إلى Lakeside Drive يسأل غلاماً على دراجة كيف يصل إلى وجهته. يستخلص الغلام رقم 156 من العنوان ويشير إلى مكان المنزل. يصل جون أخيراً إلى وجهته النهائية.

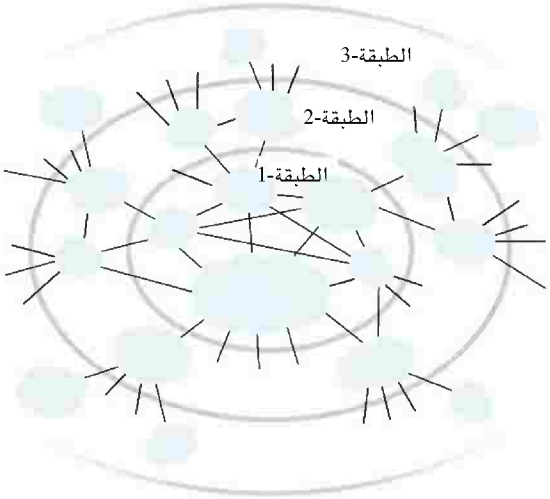
في هذا المثال التشبيهي يناظر عمال محطات البنزين والأطفال على الدراجات موجّهات الشبكة. لقد تم إعداد وتشكيل جداول التوجيه المخزنة في ذاكرتهم عبرسنوات طويلة من التجربة والخبرة.

ولكي ترى الآن بنفسك مسار رزم البيانات عبر الإنترنت من البداية إلى النهاية، يمكنك تحصيل تلك الخبرة العملية عن طريق التفاعل مع برامج تتبع

المسار (traceroute)، وذلك بالاطلاع على مناقشة عن البرنامج في الجزء 1-4 وبزيارة موقعه على الإنترنت http://www.traceroute.org.

1-3-3 موفرو خدمة الإنترنت وأعمدة الإنترنت الفقرية

رأينا فيما سبق كيف أن الأنظمة الطرفية (كحاسبات المستخدم الشخصية، والمساعدات الرقمية الشخصية، وخادمات الويب، وخادمات البريد، وما إلى ذلك) توصّل بالإنترنت عن طريق شبكات وصول. قد تكون شبكات الوصول تلك شبكات محلية سلكية أو لاسلكية (مثلاً في شركة أو مدرسة أو مكتبة)، أو مودم كبل سكني، أو وصلة DSL، أو وصلة عن طريق مودم هاتفي بموفر خدمة إنترنت سكني (مثل AOL أو MSN). غير أن توصيل المستخدمين وموفري خدمة الإنترنت إلى شبكات الوصول لا يعدو كونه جزءاً ضئيلاً من حل اللغز الكبير لتوصيل مئات الملايين من الأنظمة الطرفية ومئات الآلاف من الشبكات التي تكوّن الإنترنت. إن الإنترنت هي شبكة للربط بين شبكات، ويُعد فهم هذه الحقيقة واستيعابها بمثابة المفتاح لحل هذا اللغز.



الشكل 1-11 التوصيلات فيما بين موفري خدمة الإنترنت.

في الإنترنت العامة، ترتبط شبكات الوصول الواقعة على حافة الإنترنت ببقية الإنترنت عبر تقسيم هرمي متدرج من موفري خدمة الإنترنت، كما هو موضح في الشكل 1-11. يقع موفرو خدمة الوصول للإنترنت (على سبيل المثال شبكات الكبل وأنظمة DSL السكنية، وشبكات المودم الهاتفي مثل AOL، وشبكات الوصول اللاسلكية، وموفرو خدمة الإنترنت للجامعات والشركات عن طريق الشبكات المحلية) في أسفل هذا التدرج الهرمي. أما في أعلى القمة من هذا التدرج فيوجد عددٌ قليل نسبياً مما يسمّى بموفري خدمة الإنترنت من الطبقة -1 (tier-1) (أي الطبقة الأولى). ومع أن موفري خدمة الإنترنت من الطبقة -1 يشبهون الشبكات العادية في كثير من الأمور (فلديهم وصلات وموجّهات ويتصلون بغيرهم من الشبكات الأخرى) إلا أنهم يتميزون بأمور أخرى، فسرعات وصلاتهم غالباً ما تكون 622 ميجابت/ثانية أو أكثر، بل قد تتراوح سرعات وصلات موفري خدمة الإنترنت الكبار من هذه الطبقة ما بين 2.5 و10 جيجابت/ثانية؛ وبالتالي فإن موجّهاتهم يجب أن تكون قادرة على إرسال الرزم بسرعات عالية جداً. ويتصف موفر خدمة الإنترنت من "الطبقة -1" أيضاً بأنه:

- مرتبط مباشرة مع كل موفر آخر لخدمة الإنترنت من الطبقة -1.
- مرتبط بعدد كبير من موفري خدمة الإنترنت من الطبقة -2 وغيرهم من شبكات الزبائن.
- يغلب على تغطيته الطابع الدولي.

يُعرف موفرو خدمة الإنترنت من الطبقة -1 أيضاً بشبكات العمود الفقري للإنترنت، وتضم شركات مثل Sprint، وVerizon، وAT&T، وNTT، وLevel3، وQuest، وCable & Wireless. من المثير للانتباه أنه لا توجد مجموعة أو هيئة تمنح منزلة الطبقة -1 رسمياً، وكما يقول المثل: "إذا كنت بحاجة للسؤال عما إذا كنت تنتمي إلى مجموعة، فأغلب الظن أنك لست كذلك!"

عادةً ما يكون لموفر خدمة الإنترنت من الطبقة-2 تغطية إقليمية أو وطنية، كما أنه (وهذا مهم) يرتبط فقط بعدد قليل من موفري خدمة الإنترنت من الطبقة -1 (انظر الشكل 1-11). وعليه فلكي يصل إلى جزء كبير من الإنترنت

العالمية يتعين على موفر الخدمة من الطبقة -2 توجيه حركة بياناته عبر واحد من موفري الخدمة من الطبقة -1 المرتبط بها. يطلق على موفر خدمة الإنترنت من الطبقة -2 أنه زبون لموفر خدمة الإنترنت من الطبقة -1 المرتبط به، في حين يطلق على الأخير أنه موفر خدمة لزبائنه. توصّل العديد من الشركات والمؤسسات الكبيرة شبكتها مباشرة إلى موفر خدمة إنترنت من الطبقة -1 أو 2 ، ومن ثم تصبح زبوناً لذلك الموفر. يطالب موفر خدمة الإنترنت زبونه بأجور، تعتمد عادةً على سرعة الإرسال على الوصلة بينهما. قد يختار موفر الخدمة من الطبقة -2 أن يرتبط مباشرةً أيضاً بشبكات موفري خدمة آخرين من الطبقة-2 وفي هذه الحالة يمكن للبيانات أن تتدفق بين شبكتين من الطبقة -2 دون الحاجة للمرور عبر شبكة من الطبقة -1. يوجد أسفل موفري خدمة الإنترنت من الطبقة-2 موفرو خدمة الإنترنت من الطبقات الأدنى، والذين يوصلون إلى الإنترنت الأكبر عن طريق واحد أو أكثر من موفري الخدمة من الطبقة-2. وفي أسفل التدرج الهرمي يوجد موفرو خدمة الوصول للإنترنت. ومما يعقّد الأمور أكثر أن بعض الموفرين من الطبقة -1 هم أيضاً موفرون من الطبقة-2 (تكامل رأسي)، أي أنهم يقومون ببيع الوصول للإنترنت مباشرة إلى المستخدمين الطرفيين وموفري المحتوى، بالإضافة إلى موفري خدمة الإنترنت من الطبقات الأدنى. عندما يوصّل موفران لخدمة الإنترنت مباشرةً كل منهما بالآخر، يطلق على كلٍّ منهما أنه نظير للآخر. وللمزيد عن هذا الموضوع، راجع الدراسة [Subramanian 2002] والتى يسعى فيها الباحث للوصول إلى وصف أدق للهيكل الهرمي للإنترنت عن طريق دراسة طبوغرافية الإنترنت كدالة في علاقات توفير الخدمات للزبائن وعلاقات النظير بالنظير.

ضمن شبكة موفري خدمة الإنترنت، تُعرف النقاط التي يوصّل عندها موفر الخدمة بموفري خدمة آخرين (سواء أدنى أو أعلى أو في نفس مستوى التدرج الهرمي) بنقاط التواجد (POPs). تمثل نقطة التواجد ببساطة مجموعة من واحد أو أكثر من الموجّهات في شبكة موفر خدمة الإنترنت يتسنى توصيلها بموجّهات تابعة لموفري خدمة آخرين أو ضمن شبكات تابعة لزبائن موفر الخدمة. عادةً ما يكون لموفر الخدمة من الطبقة -1 نقاط تواجد كثيرة موزعة

عبر مناطق جغرافية مختلفة ضمن شبكته، حيث توصّل عند كل نقطة عدة شبكات للزبائن وموفري الخدمة الآخرين. لتوصيل شبكة زبون إلى نقطة تواجد خاصة بموفر خدمة، عادةً ما يقوم الزبون باستئجار وصلة عالية السرعة من موفر خدمة اتصالات كطرف ثالث، ثم يقوم بتوصيل أحد الموجّهات لديه إلى موجّه عند نقطة التواجد لدى موفر الخدمة. وعلاوة على ذلك يمكن أن يكون لاثنين من موفري الخدمة عدة نقاط تواجد يوصّلان فيها كنظيرين.

باختصار تعتبر طبوغرافية الإنترنت متشابكة ومعقّدة، حيث تشمل العشرات من موفري الخدمة من الطبقة-1 والطبقة-2 والآلاف من موفري الخدمة من الطبقات الأدنى. يتفاوت موفرو خدمة الإنترنت في المساحات التي يغطونها، فالبعض يغطي عدة قارات، والآخر يقتصر مجاله على مناطق محدودة من العالم. يرتبط موفرو الخدمة من الطبقات الأدنى بموفري خدمة من الطبقات الأعلى، بينما يرتبط موفرو الخدمة من الطبقات الأعلى ببعضهم البعض. يعتبر مستخدمو الإنترنت وموفرو المحتوى زبائن لموفري الخدمة من الطبقات الأدنى، في حين يعتبر موفرو الخدمة من الطبقات الأدنى زبائن لدى موفري الخدمة من الطبقات الأعلى.

4-1 التأخير والفقد والطاقة الإنتاجية في شبكات تحويل الرزم

ذكرنا في الجزء 1-1 أنه يمكننا اعتبار الإنترنت كبنية تحتية توفر خدمات لتطبيقات موزّعة يتم تنفيذها على أنظمة طرفية. في الحالة المثالية نود أن يكون لخدمة الإنترنت القدرة على نقل كل البيانات التي نريد نقلها من نظام طرفي إلى آخر، في الحال، وبدون أي فقد في البيانات. للأسف هذا مطلب بعيد المنال ويصعب تحقيقه على أرض الواقع. ففي الواقع نجد أن شبكات الحاسب محدودة بالضرورة من حيث طاقتها الإنتاجية (كمية البيانات التي يمكن نقلها كل ثانية) بين الأنظمة الطرفية، كما أنها تعاني من التأخير بين تلك الأنظمة، بل ومن الممكن أن تفقد بعض الرزم بالكامل. يرجع ذلك إلى قوانين الواقع المادي التي تؤدي إلى التأخير والفقد بالإضافة إلى الحد من الطاقة الإنتاجية

للشبكة. ولكن من ناحية أخرى، فلكون شبكات الحاسب تعاني من تلك المشاكل فإنه يوجد العديد من القضايا الشائقة التي تتعلق بكيفية التعامل مع تلك المشاكل ـ قضايا أكثر مما يلزم لملء منهج مقرر دراسي عن شبكات الحاسب ولتأليف المئات من أطروحات الدكتوراه في هذا المجال! سنبدأ في هذا الجزء بدراسة وتحديد التأخير والفقد والطاقة الإنتاجية في شبكات الحاسب تحديداً كمياً.

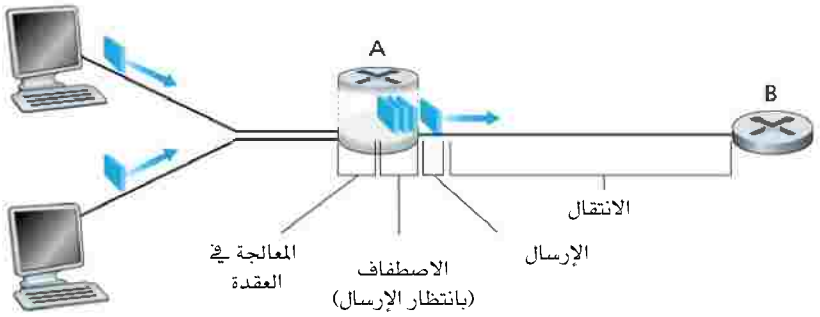
1-4-1 نظرة عامة على التأخير في شبكات تحويل الرزم

تذكّر أن رزمة البيانات تبدأ رحلتها في الشبكة من مضيف (المصدر)، وتمر عبر سلسلة من الموجّهات، لتنهي رحلتها في مضيف آخر (الوجهة النهائية). وأثناء رحلتها وهي تنتقل من عقدة على الشبكة (مضيف أو موجّه) إلى عقدة تالية (مضيف أو موجّه)، تعاني الرزمة من عدة أنواع من التأخيرات في كل عقدة على طول مسارها. من أهم تلك التأخيرات: التأخير نتيجة معالجة البيانات داخل العقدة، والتأخير بسبب انتظار الرزمة في الطوابير، والتأخير نتيجة إرسالها، والتأخير نتيجة انتقال الإشارات على الوسط المادي؛ ومجموع كل تلك التأخيرات معاً يعطي التأخير الكلي بالعقدة. ولفهم شبكات الحاسب وتحويل رزم البيانات فهماً عميقاً، علينا استيعاب طبيعة وأهمية تلك التأخيرات.

أنواع التأخيرات

دعنا نستكشف أنواع التأخيرات تلك في سياق الشكل 1-12. تُرسَل الرزمة من جهاز طرفي على الشبكة عبر الموجّه A إلى الموجّه B كجزء من مسارها بين المصدر والوجهة النهائية. هدفنا هو تحديد مكونات التأخير عند الموجّه A. لاحظ أن ذلك الموجّه لديه وصلة خارجة تؤدي إلى الموجّه B. يسبق الوصول إلى هذه الوصلة صف انتظار (يعرف أيضاً بالمخزن المؤقت). عندما تصل الرزمة إلى الموجّه A من المصدر، يقوم الموجّه بفحص ترويسة الرزمة لتحديد الوصلة الخارجة الملائمة لها ثم يوجّهها إلى تلك الوصلة. في هذا المثال، الوصلة الخارجة التي تم اختيارها للرزمة هي تلك المؤدية إلى الموجّه B. يمكن إرسال رزمة على

وصلة فقط إذا لم يكن هناك رزمة أخرى يجري إرسالها حالياً على نفس الوصلة أو إذا لم تكن هناك رزم أخرى تسبقها في صف الانتظار. إذا كانت الوصلة مشغولة حالياً أو إذا كانت هناك رزم أخرى تسبقها في الصف، فإن الرزمة الواصلة حديثاً تنضم إلى صف الانتظار.



الشكل 1-12 مكونات التأخير الكلي عند عقدة الموجّه A.

- **تأخير المعالجة**

يعتبر الوقت اللازم لفحص ترويسة الرزمة وتحديد الوصلة الخارجة التي ينبغي توجيهها إليها جزءًا من تأخير المعالجة. يمكن أن يتضمّن تأخير المعالجة أيضاً عدة عوامل أخرى كالوقت اللازم للتدقيق بحثاً عن وجود أخطاء في بتات الرزمة والتي يمكن أن تكون قد حدثت أثناء إرسالها من المصدر إلى الموجّه A. وعادةً ما يكون تأخير المعالجة في الموجّهات عالية السرعة في حدود الميكروثانية أو أقل. بعد هذه المعالجة في العقدة يقوم الموجّه بتوجيه الرزمة إلى صف الانتظار الذي يسبق الوصلة المؤدية إلى الموجّه B. سنتناول في الفصل الرابع بالتفصيل كيفية عمل الموجّه.

- **تأخير الانتظار**

تعاني الرزمة من التأخير نتيجة الانتظار في الصف حتى يحين دورها لكي تُرسَل عبر الوصلة الخارجة. ويعتمد تأخير الانتظار في الصف لرزمة بعينها على عدد الرزم التي سبق وصولها والتي اصطفت منتظرةً الإرسال عبر الوصلة نفسها. فإذا كان صف الانتظار فارغاً ولا توجد رزمة أخرى يجري إرسالها حالياً، فسيكون تأخير الانتظار بالنسبة لتلك الرزمة الواصلة صفراً. ولكن إذا كانت حركة مرور البيانات مزدحمة، ويوجد العديد من الرزم الأخرى قبلها تنتظر دورها في الإرسال، فسيكون تأخير الانتظار طويلاً. سنرى بعد قليل أن عدد الرزم المنتظرة التي يُتوقع أن تجدها رزمة واصلة هو دالة في كثافة وطبيعة حركة مرور الرزم التي تصل إلى صف الانتظار. عملياً يتراوح تأخير الانتظار من ميكروثانية إلى ميللي ثانية.

- **تأخير الإرسال**

على افتراض أن الرزم تُرسَل حسب ترتيب وصولها (أي بأسلوب الخدمة أولاً للواصل أولاً (first-come-first-served (FCFS))، كما هو المتبع عادةً في شبكات تحويل الرزم، فإن رزمتنا سترسل فقط بعد أن يتم إرسال كل الرزم التي وصلت قبلها. لنرمز لطول الرزمة بالبتات بالرمز L، ولمعدل إرسال البيانات على الوصلة من الموجّه A إلى الموجّه B بالرمز R بت/ثانية. على سبيل المثال، لوصلة إيثرنت سرعتها 10 ميجابت/ثانية فإن R = 10 ميجابت/ثانية؛ ولوصلة إيثرنت سرعتها 100 ميجابت/ثانية تكون R = 100 ميجابت/ثانية. تأخير الإرسال (والذي يعرف أيضاً بتأخير التخزين والإرسال كما بيّنا في الجزء 1-3) يساوي $\frac{L}{R}$. تلك هي كمية الوقت اللازمة لدفع (أي إرسال) كل بتات الرزمة إلى الوصلة. عملياً يكون تأخير الإرسال في حدود من ميكروثانية إلى ميللي ثانية.

- **تأخير الانتقال**

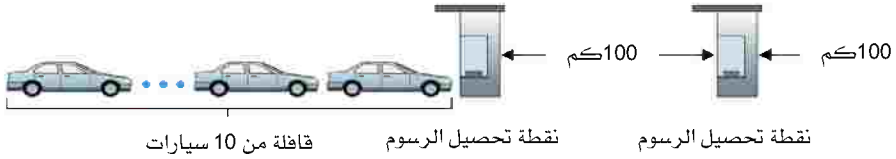
بمجرد دفع بت بيانات إلى الوصلة، فإنه يحتاج للانتقال إلى الموجّه B. ويُطلق على الوقت اللازم لانتقال البت من بداية الوصلة (عند الموجّه A) إلى نهايتها (عند الموجّه B) تأخير الانتقال. ينتقل البت بسرعة انتقال موجة الإشارة على الوصلة، وتعتمد تلك السرعة على نوع الوسط المادي للوصلة (أي ألياف ضوئية، أو زوج أسلاك نحاس مجدولة، وهكذا)، وهي في الحدود من 2×10^8 إلى 3×10^8 متر/ثانية، والتي تساوي أو تقل قليلاً عن سرعة الضوء. يُحسب تأخير الانتقال بقسمة المسافة بين موجّهين على سرعة الانتقال، أي أن تأخير الانتقال = $\frac{d}{s}$، حيث d هي المسافة بين الموجّهين، s هي سرعة الانتقال على الوصلة. بمجرد وصول البت الأخير من الرزمة إلى العقدة B على الشبكة يتم تخزينها مع كل بتات الرزمة التي وصلت قبلها على الموجّه B. يتم تكرار العملية بعد ذلك من جديد حيث يقوم الموجّه B بإرسال الرزمة إلى الموجّه التالى. ويكون تأخير الإرسال في حدود الميللي ثانية في الشبكات التي تغطي مناطق شاسعة (WAN).

مقارنة بين تأخيرات الإرسال والانتقال

أحياناً ما يجد المبتدئون فى مجال شبكات الحاسب صعوبة في فهم الاختلاف بين تأخير الإرسال وتأخير الانتقال. إن الاختلاف دقيق ولكنه مهم. فتأخير الإرسال هو كمية الوقت اللازمة لموجّه لإخراج الرزمة؛ ومن ثم فإنه دالة في طول الرزمة ومعدل إرسال البيانات على الوصلة، لكن ليس له أي علاقة بالمسافة بين الموجّهين. أما تأخير الانتقال فهو الوقت الذي يستغرقه بت واحد للانتقال من موجّه إلى الموجّه التالي عبر وصلة؛ ومن ثم فإنه دالة في المسافة بين الموجّهين وسرعة انتقال الاشارة فى الوسط المادى، ولكن ليس له أي علاقة بطول الرزمة أو معدل إرسال البيانات على الوصلة.

قد يوضّح المثال التالي مفهوم كلٍّ من تأخير الإرسال وتأخير الانتقال. لنأخذ في الاعتبار طريقاً سريعاً عليه نقاط لتحصيل الرسوم كل 100

كيلومتر، كما هو موضح في الشكل 1-13. يمكنك اعتبار أجزاء الطريق السريع ما بين نقاط التحصيل كالوصلات، ونقاط التحصيل نفسها كالموجّهات. افترض أن السيارات تسافر على الطريق السريع بسرعة 100 كيلومتر/ساعة (أي أنه عندما تترك سيارة نقطة التحصيل، فإنها تحقق تسارعاً في الحال لتصل سرعتها إلى 100 كيلومتر/ساعة وتحافظ على تلك السرعة ثابتة بين النقاط. افترض بعد ذلك أن قافلة مكونة من 10 سيارات تسافر معاً ويتبع بعضها بعضاً بنفس الترتيب. يمكنك اعتبار كل سيارة تمثل بت بيانات بينما تمثل القافلة رزمة بيانات. افترض أيضاً أن كل نقطة تحصيل تقوم بخدمة (أي إرسال) السيارات بمعدل سيارة كل 12 ثانية (أي 5 سيارات/دقيقة)، وأن السيارات كانت تسير في ساعة متأخرة من الليل بحيث لا توجد سيارات أخرى على الطريق السريع. وأخيراً لنفترض أنه حينما تصل السيارة الأولى من القافلة إلى نقطة التحصيل، فإنها تنتظر في المدخل حتى تصل السيارات التسع الأخرى وتتراص خلفها. (وبذلك يتم "تخزين" كامل القافلة عند نقطة التحصيل قبل البدء في إرسال القافلة عبر القطعة التالية من الطريق).



الشكل 1-13 مثال قافلة السيارات.

الوقت الذي تحتاجه النقطة لدفع كامل القافلة على الطريق السريع = (10 سيارات) / (5 سيارات/دقيقة) = 2 دقيقة، وهذا الوقت يناظر تأخير الإرسال للموجّه. الوقت الذي تحتاجه سيارة للسفر من لحظة خروجها من نقطة تحصيل إلى وصولها إلى النقطة التي تليها = 100 كيلومتر ÷ (100 كيلومتر/ساعة) = 1 ساعة، وهذا الوقت يناظر تأخير الانتقال. وعليه فإن الوقت الكلي من لحظة اصطفاف القافلة مخزّنةً أمام نقطة تحصيل حتى

لحظة اصطفافها مخزّنة أمام النقطة التالية هو مجموع تأخير الإرسال وتأخير الانتقال(أي 62 دقيقة في هذا المثال).

لنستطرد بعض الشيء في تأمل هذا المثال. ماذا يحدث لو أن وقت الخدمة في نقطة التحصيل كان أكبر من الوقت الذي تستغرقه السيارة في السفر بين نقطتي تحصيل؟ على سبيل المثال، افترض الآن أن السيارات تسير بسرعة 1000 كيلومتر/ساعة وأن النقطة تخدم السيارات بمعدل سيارة واحدة في الدقيقة. عندئذ يكون تأخير الانتقال بين نقطتين هو 6 دقائق، والوقت اللازم لخدمة القافلة في النقطة هو 10 دقائق. في هذه الحالة ستصل السيارات الأولى من القافلة إلى النقطة التالية قبل أن تغادر السيارات الأخيرة من القافلة النقطة الأولى. يمكن أن يحدث ذلك أيضاً في شبكات تحويل الرزم، حيث قد تصل البتات الأولى من رزمة إلى موجّه بينما العديد من البتات الباقية من الرزمة ما تزال تنتظر إرسالها من الموجّه السابق.

وكما يقال أنه إذا كانت الصورة الثابت تحكي أكثر من ألف كلمة، فإنه حريٌ بالصورة المتحركة أن تحكي أكثر من مليون كلمة! لذا يتضمن موقع الويب المصاحب لهذا الكتاب برنامج جافا تفاعلي (Java Applet) يصور بشكلٍ لطيف تأخير الإرسال وتأخير الانتقال ويقارن بينهما، وننصح القارئ بزيارة الموقع واستعراض ذلك البرنامج. لنفترض أن d_{proc}، وd_{queue}، وd_{trans}، وd_{prop} تمثل تأخير المعالجة، والانتظار، والإرسال، والانتقال على الترتيب. عندئذٍ تحدد المعادلة التالية التأخير الكلي عند كل عقدة d_{nodal} في الشبكة:

$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

يمكن أن تتفاوت مساهمة كلٍّ من مكونات التأخير في المعادلة أعلاه بشكلٍ ملحوظ، فمثلاً قد تكون d_{prop} لوصلة بين موجّهين في نفس الحي الجامعي ضئيلة جداً بحيث تهمل (مثلاً حوالي 2 ميكروثانية).ومع ذلك يمكن أن تبلغ d_{prop} مئات الميللي ثانية بين موجّهين أرضيين موصلين عبر قمر صناعي، ومن ثم تكون بمثابة مركّبة التأخير المهيمنة في تأخير العقدة الكلي d_{nodal}.

بنفس الطريقة يمكن أن يتراوح تأثير d_{trans} من ضئيل إلى مؤثر؛ فمثلاً يكون تأثير تلك المركّبة ضئيلاً عادةً عند معدلات الإرسال ابتداءً من 10 ميجابت/ثانية فما فوق (على سبيل المثال، فى بعض أنواع الشبكات المحلية)؛ ومع ذلك يمكن أن تصل إلى مئات الميللي ثانية لرزم إنترنت كبيرة مرسلة على وصلات مودم هاتفية بسرعات بطيئة. يمكن إهمال تأخير المعالجة d_{proc} في أغلب الأحيان؛ ومع ذلك فله تأثير قوي على الطاقة الإنتاجية القصوى للموجّه (أى المعدل الأقصى لإرسال الرزم بواسطة الموجّه).

2-4-1 تأخير الانتظار وفقد الرزم

يعتبر تأخير الانتظار في الصف d_{queue} أكثر مكونات تأخير العقدة أهمية وتعقيداً في مجال شبكات الحاسب، ولهذا فقد كُتبَت عنه آلاف الأبحاث وأُلفَت العديد من الكتب [Bertsekas 199l; Daigle 1991; Kleinrock 1975, 1976; Ross 1995]. سنعطي هنا فقط مجرد مناقشة بديهية تجريدية للتأخير في صف الانتظار؛ وبوسع القارئ المهتم مراجعة بعض الكتب الأخرى (أو حتى كتابة أطروحة دكتوراه في الموضوع!). بخلاف التأخيرات الثلاثة الأخرى (أي d_{proc}، وd_{trans}، وd_{prop})، يمكن أن يتفاوت تأخير الانتظار في الصف من رزمة إلى رزمة. فعلى سبيل المثال إذا وصلت 10 رزم إلى صف انتظار فارغ في نفس الوقت، فإن الرزمة الأولى لن تعاني في إرسالها أي انتظار في الصف، بينما ستعاني الرزمة الأخيرة المرسلة تأخير انتظار كبير نسبياً (لانتظار إرسال الرزم التسعة الأخرى). ولذا تُستخدم عند دراسة تأخير الانتظار في الصف عادةً مقاييسٌ إحصائية، كمتوسط التأخير والتباين في التأخير واحتمال تجاوز التأخير قيمة معينة.

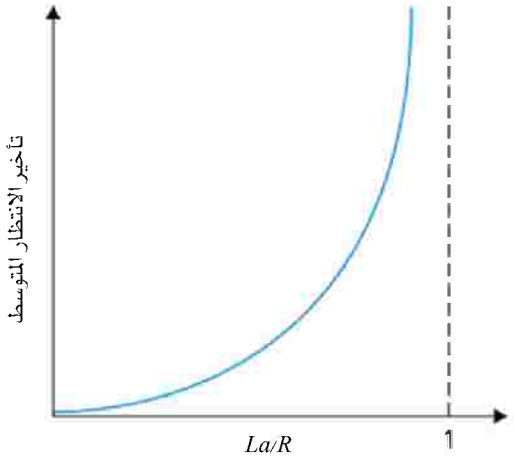
متى يكون تأخير الانتظار في الصف كبيراً ومتى يمكن إهماله؟ يعتمد الجواب عن هذا السؤال على معدل وصول الرزم إلى صف الانتظار ومعدل إرسال البيانات على الوصلة وطبيعة حركة مرور البيانات الواصلة (أي: ما إذا كانت البيانات تصل بشكلٍ دوري أو على هيئة نبضات قصيرة). لإلقاء بعض الضوء على هذا الموضوع، لنفترض أن a تمثل متوسط معدل وصول الرزم إلى صف الانتظار (ووحداتها رزمة/ثانية). تذكّر أن R هي معدل الإرسال

(بت/ثانية)؛ أي المعدل الذي يتم به دفع البتات على الوصلة، ومن ثم خروجها من صف الانتظار. لنفترض أيضاً للتبسيط أن كل الرزم الواصلة تتألف من L بت. عندئذ يكون المعدل المتوسط لوصول البتات لصف الانتظار هو Laبت/ثانية. أخيراً افترض أن المخزن المؤقت (صف الانتظار) كبير جداً، بحيث يمكن أن يستوعب عدداً لا نهائياً من البتات. تُعرف النسبة $\frac{La}{R}$ بكثافة حركة المرور، وتلعب غالباً دوراً هاماً في تقدير مدى التأخير بسبب الانتظار في الصف. فإذا كانت $\frac{La}{R} > 1$، فإن المعدل المتوسط لوصول البتات لصف الانتظار يتجاوز معدل إرسال البتات من صف الانتظار، وفي هذه الحالة المؤسفة سيتجه طول صف الانتظار إلى الزيادة بدون حدّ، ويقترب تأخير الانتظار في الصف من اللانهاية!. ومن ثم فإن إحدى القواعد الذهبية في هندسة المرور هي: "صمّم نظامك بحيث لا تتجاوز كثافة المرور القيمة 1".

لنأخذ في الاعتبار الآن الحالة $\frac{La}{R} \le 1$. هنا تؤثر طبيعة حركة مرور رزم البيانات الواصلة على تأخير الانتظار في الصف. فمثلاً إذا كانت الرزم تصل بشكلٍ دوري بمعدل رزمة واحدة كل $\frac{L}{R}$ ثانية (أي $\frac{R}{L} = a$)، فحينئذ ستصل كل رزمة إلى صف انتظار فارغ ولن يكون هناك تأخير انتظار. أما إذا وصلت الرزم على شكل نبضات ولكن بشكلٍ دوري، فيمكن أن يؤدي ذلك إلى تأخير انتظار ملحوظ في المتوسط. لنفترض على سبيل المثال أن الرزم تصل في نفس الوقت بمعدل N رزمة كل $\frac{NL}{R}$ ثانية، ففي هذه الحالة لا تعاني الرزمة الأولى من أي تأخير انتظار؛ أما الرزمة الثانية فتنتظر $\frac{L}{R}$ ثانية. وبشكلٍ عام فإن الرزمة رقم n تعاني من تأخير انتظار قدره $\frac{(n-1)L}{R}$ ثانية. وكتمرين سنترك للقارئ حساب تأخير الانتظار المتوسط في هذا المثال.

يغلب على المثالين السابقين الطابع الأكاديمي نوعاً ما، حيث افترضنا وصول الرزم بشكلٍ دوري منتظم. ففي الواقع العملي عادةً ما يكون وصول الرزم إلى صف الانتظار بشكلٍ عشوائي؛ بحيث إن الرزم الواصلة لا تتبع أي

نمط ويفصل بينها فترات عشوائية من الزمن. في هذه الحالة الأكثر واقعية، لن تكون الكمية $\frac{La}{R}$ كافية عادةً لتحديد الخواص الإحصائية لتأخير الانتظار بالكامل. ومع ذلك فهي مفيدة لتحصيل فهم بديهي لمدى التأخير. وبالتحديد، إذا كانت كثافة حركة مرور الرزم قريبة من الصفر، وكانت الرزم تصل قليلة ومتباعدة فيما بينها، فمن غير المحتمل أن تجد رزمة واصلة رزمة أخرى في صف الانتظار. وعليه فإن متوسط تأخيرالانتظار في الصف سيكون صفراً تقريباً. من الناحية الأخرى عندما تكون كثافة حركة المرور قريبة من 1، سيكون هناك فترات من الوقت يتجاوز فيها معدل الوصول قدرةَ الإرسال (بسبب الاختلافات في معدل وصول الرزم)، ويبدأ صف انتظار في التكون أثناء تلك الفترات. أما عندما يكون معدل وصول الرزم أقل من قدرة الإرسال، فسينكمش طول صف الانتظار. ومع ذلك فعندما تقترب كثافة حركة المرور من 1، يصبح صف الانتظار المتوسط أطول وأطول. يبين الشكل 1-14 طبيعة العلاقة المعتادة في الواقع العملي بين تأخير الانتظار المتوسط وكثافة حركة مرورالبيانات.



الشكل 1-14 طبيعة اعتماد تأخير الانتظار المتوسط على كثافة حركة مرور البيانات.

من السمات المهمة في الشكل 1-14 أنه عندما تقترب كثافة حركة المرور من 1، يزداد متوسط تأخير الانتظار في الصف بسرعة فائقة. أي أن زيادة الكثافة بنسبة مئوية صغيرة تؤدي إلى زيادة في التأخير بنسبة مئوية أكبر بكثير. ولعلك لاحظت هذه الظاهرة على الطريق السريع. إذا كنت تقود سيارتك بانتظام على طريق مزدحم عادةً، فإن ازدحام الطريق في العادة يعني أن كثافة حركة المرور تكون قريبة من 1. إذا طرأ شيء تسبب في زيادة حتى ولو طفيفة في حركة المرور عن المعدلات المعتادة، فإن التأخيرات التي تواجهها حركة المرور نتيجة لذلك يمكن أن تكون كبيرة.

لكي يتكون لديك تصور جيد عن ماهية تأخيرات الانتظار والعوامل المؤثرة فيها، ندعوك مرةً أخرى لزيارة موقع الويب المصاحب لهذا الكتاب، والذي يتضمن برنامج جافا تفاعلي يحاكي صف انتظار. إذا وضعت معدل وصول الرزم عالياً بما فيه الكفاية بحيث تتجاوز كثافة حركة مرور البيانات القيمة 1، فسترى كيف يأخذ صف الانتظار في النمو ببطء مع مرور الوقت.

فقد الرزم

في المناقشة السابقة، افترضنا أن صف الانتظار يتسع لعدد لانهائي من الرزم، غير أنه في واقع الأمر تكون سعة صف الانتظار الموجود على بوابة كل وصلة محدودة، علماً بأنها تعتمد كثيراً على تصميم وكلفة محوّل الرزم. ونظراً لأن سعة الانتظار في الصف محدودة، فإن تأخيرات الرزم لا تقارب ما لا نهاية في الواقع عندما تقترب كثافة حركة المرور من 1. غير أنه يمكن أن تصل رزمة لتجد صف الانتظار مملوءاً بالكامل، وعندها سيضطر الموجّه إلى إسقاط الرزمة من حسابه، أي أن تلك الرزمة ستُفقد.

يمكن أيضاً مشاهدة ظاهرة فيضان صف الانتظار هذه في المحاكاة التي يقوم بها برنامج جافا التفاعلي لصف انتظار عند كثافة لحركة المرور

أكبر من 1. من وجهة نظر نظام طرفي مرسِل، ستبدو رزمة مفقودة كرزمة أرسلت إلى قلب الشبكة ولكنها لم تخرج منها من الناحية الأخرى باتجاه وجهتها المقصودة. تزداد نسبة الرزم المفقودة بزيادة كثافة حركة المرور، ولذا فإن أداء عقدة ما على الشبكة غالباً ما يقاس، ليس فقط بدلالة التأخير الناجم، ولكن أيضاً باحتمالية فقد الرزم. كما سيتضح في تناولنا للفصول التالية، قد نضطر في حالة رزمة فُقدت لإعادة إرسالها بطريقة موثوقة أكثر (من طرف إلى طرف) لكي نضمن أن كل البيانات المطلوبة يتم نقلها جميعاً في نهاية الأمر من المصدر إلى الوجهة.

3-4-1 التأخير من طرف إلى طرف

ركّزت معالجتنا حتى الآن على التأخير عند كل عقدة على الشبكة، أي التأخير عند موجّه واحد. لنأخذ في الاعتبار الآن التأخير الكلي من المصدر إلى الوجهة. ولاستيعاب هذا المفهوم، لنفترض أن هناك N-1 موجّه بين مضيف المصدر ومضيف الوجهة. لنفترض أيضاً في البداية أن الشبكة غير مزدحمة (ومن ثم يمكن إهمال تأخيرات الانتظار)، وأن تأخير المعالجة في كلّ موجه وفي مضيف المصدر هو d_{proc}، ومعدل إرسال البيانات من كل موجّه ومن مضيف المصدر هو R بت/ثانية، وتأخير الانتقال على كل وصلة هو d_{prop}. تتراكم تأخيرات العقد لتعطي تأخيراً من طرف إلى طرف $d_{\text{end-end}}$ قدره:

$$d_{\text{end-end}} = N \times (d_{\text{proc}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}})$$

حيث $d_{trans} = \frac{L}{R}$ ، وL هي حجم الرزمة بالبتات.

سنترك لك كتمرين تعميم هذه المعادلة في حالة تفاوت التأخيرات عند العقد المختلفة في الشبكة وفى وجود تأخير انتظار متوسط عند كل عقدة.

برنامج تتبع المسار (traceroute)

للحصول على تدريب عملي على التأخير من طرف إلى طرف في شبكة حاسب، يمكنك استخدام برنامج تتبع المسار traceroute، وهو برنامج بسيط

يمكن تشغيله على أي مضيف بالإنترنت. عندما يحدد المستخدم اسم مضيف الوجهة، فإن هذا البرنامج في مضيف المصدر يرسل عدة رزم خاصة نحو تلك الوجهة. وبينما تشق تلك الرزم طريقها إلى الوجهة فإنها تعبر سلسلة من الموجّهات. عندما يتسلم كل موجّه إحدى تلك الرزم الخاصة، فإنه يرسل إلى المصدر رسالة قصيرة تضم اسم وعنوان ذلك الموجّه.

بشكلٍ أكثر تحديداً، لنفترض أن هناك N-1 موجّه بين المصدر والوجهة النهائية. في هذه الحالة سيرسل المصدر N رزمة خاصة إلى الشبكة، كلاً منها معنونة إلى الوجهة النهائية. ترقّم تلك الرزم الخاصة بالأرقام التسلسلية من 1 إلى N، حيث يمثل 1 الرزمة الأولى وN الرزمة الأخيرة. عندما يستلم الموجّه رقم n الرزمة n، لا يقوم بإرسال الرزمة نحو وجهتها، ولكنه بدلاً من ذلك يرسل رسالة إلى المصدر. عندما يستلم مضيف الوجهة النهائية الرزمة N، يرسل أيضاً رسالة إلى المصدر. يقوم المصدر بتسجيل الوقت الذي ينقضي بين إرسال كل رزمة وتسلم الرسالة الراجعة المناظرة لها، كما يسجّل أيضاً اسم وعنوان الموجّه (أو مضيف الوجهة النهائية) الذي أعاد الرسالة. بهذه الطريقة يمكن للمصدر إعادة تركيب المسار الذي سلكته الرزم في تدفقها من المصدر إلى الوجهة، ويكون بوسع المصدر أيضاً قياس زمن التأخير في رحلة الذهاب والإياب إلى كلٍّ من الموجّهات الموجودة بين المصدر والوجهة. في واقع الأمر يكرر برنامج تتبع المسار هذه التجربة ثلاث مرات، أي أن المصدر يرسل في الحقيقة 3N رزمة إلى الوجهة. ولتفاصيل طريقة تتبع المسار راجع المستند RFC 1393.

وإليك مثالاً للبيانات الناتجة من تنفيذ برنامج تتبع المسار، حيث يمتد المسار الذي تم تتبّعه من مضيف المصدر gaia.cs.umass.edu (في جامعة ماسوشوستس) إلى مضيف cis.poly.edu (في جامعة بوليتكنيك بروكلن) كوجهة نهائية. يتألف ناتج البرنامج من ستة أعمدة: يحتوي العمود الأول قيمة n والتي تمثل رقم الموجّه على طول المسار كما ذكرنا من قبل، ويعطي العمود الثاني اسم الموجّه، ويبين العمود الثالث عنوان الموجّه (بالشكل xxx.xxx.xxx.xxx)، أما الأعمدة الثلاثة الأخيرة فتتضمن ثلاثة قياسات لقيم

التأخير لرحلة الذهاب والإياب فى أوقات مختلفة. لاحظ أنه فى حالة وجود فقد للرزم في الشبكة قد يستلم المصدر أقل من ثلاث رسائل من أي من الموجّهات على المسار، عندئذ سيضع برنامج تتبع المسار نجمة مباشرة بعد رقم الموجّه المناظر ويعطي أقل من ثلاث نتائج لقيم التأخير لذلك المسار.

```
1 cs-gw (128.119.240.254) 1.009 ms 0.899 ms 0.993 ms
2 128.119.3.154 (128.119.3.154) 0.931 ms 0.441 ms 0.651 ms
3 border4-rt-gi-1-3.gw.umass.edu (128.119.2.194) 1.032 ms 0.484 ms 0.451 ms
4 acrl-ge-2-1-0.Boston.cw.net (208.172.51.129) 10.006 ms 8.150 ms 8.460 ms
5 agr4-loopback.NewYork.cw.net (206.24.194.104) 12.272 ms 14.344 ms 13.267 ms
6 acr2-loopback.NewYork.cw.net (206.24.194.62) 13.225 ms 12.292 ms 12.148 ms
7 pos10-2. core2.NewYorkl.Leve13.net (209.244.160.133) 12.218 ms 11.823 ms 11.793 ms
8 gige9-1-52.hsipaccessl.NewYorkl.Leve13.net (64.159.17.39) 13.081 ms 11.556 ms 13.297 ms
9 p0-0.polyu.bbnplanet.net (4.25.109.122) 12.716 ms 13.052 ms 12.786 ms
10 cis.poly.edu (128.238.32.126) 14.080 ms 13.035 ms 12.802 ms
```

يحتوي المسار أعلاه على تسعة موجّهات بين المصدر والوجهة النهائية. أغلب هذه الموجّهات لها اسم، ولكل منها عنوان. فعلى سبيل المثال، اسم الموجّه 3 هو border4-rt-gi-1-3.gw.umass.edu وعنوانه 128.119.2.194. بالرجوع إلى البيانات المسجلة لهذا الموجّه نفسه، نجد أنه في أوّل المحاولات الثلاث كان تأخير رحلة الذهاب والإياب بين المصدر والموجّه 1.032 ميللي ثانية، بينما كان التأخير في المحاولتين اللاحقتين 0.484 و0.451 ميللي ثانية. يتضمن كلٌّ من تلك القيم جميع التأخيرات التي ذكرناها سابقاً، بما في ذلك تأخيرالإرسال وتأخير الانتقال وتأخير المعالجة بواسطة الموجّه وتأخير الانتظار في الصف. لمّا كان تأخير الانتظار يتفاوت مع الوقت، فإن قيمة التأخير في المحاولات الثلاث قد تختلف، بل إن تأخير رحلة الذهاب والإياب للرزمة n المرسلة إلى الموجّه n قد يتجاوز أحياناً ذلك التأخير للرزمة $n + 1$ المرسلة إلى الموجّه $n + 1$. وفي الواقع، فإننا نلاحظ هذه الظاهرة في المثال أعلاه، فقيم التأخيرات إلى الموجّه 6 أكبر منها في حالة الموجّه 7.

هل تريد الآن تجربة برنامج تتبع المسار (traceroute) بنفسك؟ نوصي بشدة بزيارة الموقع http://www.traceroute.org حيث توجد قائمة شاملة لعدد

من الروابط لواجهات ويب تتضمن مصادر لبرامج تتبع المسار. من هنا يمكنك اختيار اسم المصدر فتظهر صفحة ويب يمكنك من خلالها إدخال اسم المضيف الذي يمثل الوجهة النهائية المطلوبة، فيقوم برنامج تتبع المسار بعد ذلك (والذى يجرى تشغيله على المصدر المختار) بعمل كل شيء. هناك أيضاً عدد من البرامج المجانية لتتبع المسار توفر واجهة رسومية للمستخدِم (GUI)، منها برنامج Ping Plotter، وهو أحد البرامج المفضلة لدينا في هذا الصدد [Ping Plotter 2007].

تأخيرات الأنظمة الطرفية والتطبيقات، والتأخيرات الأخرى

بالإضافة إلى تأخيرات المعالجة والإرسال والانتقال قد توجد تأخيرات أخرى هامّة في الأنظمة الطرفية. على سبيل المثال تتسبب المودمات الهاتفية في تأخيرات تضمين (modulation) وتكويد (encoding) في حدود العشرات من الميللي ثانية. (يعتبر هذا التأخير في حالة تقنيات الوصول الأخرى كالإيثرنت ومودم الكبل، ووصلة DSL أقل أهمية وغالباً ما يهمل). عندما يرغب نظام طرفي في إرسال رزمة إلى وسط مشترك (كما في حالة شبكة WiFi أو إيثرنت) قد يضطر لتأخير الإرسال "بقصد" ضمن فعاليات بروتوكول الاشتراك في الوسط مع أنظمة طرفية أخرى. سنتناول تلك البروتوكولات بالتفصيل في الفصل الخامس.

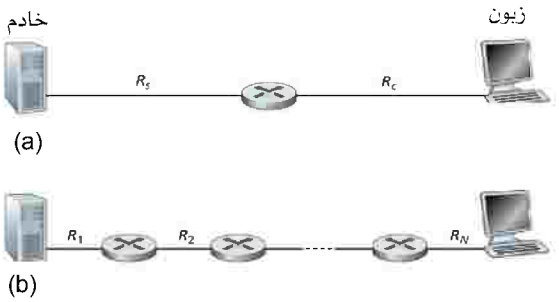
من أنواع التأخيرات الهامة الأخرى تأخير تحويل بيانات الوسائط المتعددة إلى رزم، كما هو الحال في تطبيقات إرسال مكالمات الهاتف على الإنترنت (باستخدام VoIP). في هذه التقنية ينبغي أن يملأ جانب الإرسال أولاً رزمة بالكلام الرقمي المشفر قبل إرسال الرزمة على الإنترنت، ويسمى الوقت اللازم لملء رزمة تأخير تكوين الرزم، والذي يمكن أن يكون هاماً بحيث يؤثر على جودة المكالمة الهاتفية من نوع VoIP. سنتقصى هذه القضية بشكلٍ أكبر كواجب منزلي من خلال تمرين في نهاية هذا الفصل.

4-4-1 الطاقة الإنتاجية في شبكات الحاسب

بالإضافة إلى التأخير وفقد الرزم هناك مقياس هام آخر لأداء شبكات الحاسب، ألا وهو الطاقة الإنتاجية للشبكة من طرف إلى طرف. ولتعريف تلك الطاقة الإنتاجية لنأخذ بعين الاعتبار عملية نقل ملف كبير من المضيف A إلى المضيف B عبر شبكة حاسب. قد يكون هذا الملف عبارة عن لقطة فيديو كبيرة منقولة من نظير إلى آخر ضمن نظام لمشاركة الملفات بين النظائر. تُعرّف الطاقة الإنتاجية الآنية في أي لحظة بالمعدل (بت/ثانية) الذي يتسلم به المضيف B بيانات الملف (ولعلك لاحظت من قبل أن العديد من التطبيقات، بما في ذلك الكثير من أنظمة مشاركة الملفات بين النظائر، تقوم بعرض الطاقة الإنتاجية الآنية أثناء تنزيل الملف ليقرأها المستخدم). إذا كان الملف يتألف من F بت، وتستغرق عملية النقل T ثانية، فإن الطاقة الإنتاجية المتوسطة لعملية نقل الملف تكون $\frac{F}{T}$ بت/ثانية. تحبّذ بعض التطبيقات، كإرسال مكالمات الهاتف على الإنترنت، الحصول على تأخير قليل وطاقة إنتاجية آنية تزيد بشكلٍ ثابت عن حدٍّ أدنى معين (على سبيل المثال أكثر من 24 كيلوبت/ثانية لبعض تطبيقات الهاتف على الإنترنت وأكثر من 256 كيلوبت/ثانية لبعض تطبيقات الفيديو الفورية). ولبعض التطبيقات الأخرى، بما في ذلك نقل الملفات، لا يعتبر التأخير مهماً بشكلٍ حرج، لكن يكون من المرغوب فيه الحصول على أعلى طاقة إنتاجية ممكنة.

ولإدراك ذلك المفهوم المهم للطاقة الإنتاجية بشكلٍ أفضل، دعنا نستعرض هنا بعض الأمثلة. يبين الشكل 1-15 (a) اثنين من الأنظمة الطرفية (خادم وزبون) يربط بينهما وصلتا اتصال وموجّه. لنأخذ في الاعتبار الطاقة الإنتاجية لإرسال ملف من الخادم إلى الزبون. دع R_s تمثل معدل إرسال البيانات على الوصلة بين الخادم والموجّه، وR_c تمثل معدل الإرسال على الوصلة بين الموجّه والزبون. افترض أن البتات الوحيدة التي يجري إرسالها على الشبكة ككل هي تلك البتات من الخادم إلى الزبون. نتساءل الآن ما الطاقة الإنتاجية من الخادم إلى الزبون في هذا السيناريو المثالي؟ للإجابة عن هذا السؤال يمكننا أن نتصور بتات البيانات

كسائل ووصلات الاتصال كأنابيب. واضح أن الخادم لا يستطيع ضخ البتات خلال وصلته بمعدل أسرع من R_s بت/ثانية، وكذلك لا يستطيع الموجّه توجيه البتات بمعدل أسرع من R_c بت/ثانية. إذا كانت $R_s < R_c$ فإن البتات التي يضخها الخادم سوف تتدفق إلى الزبون بمعدل R_s بت/ثانية لتعطي طاقة إنتاجية قدرها R_s بت/ثانية.

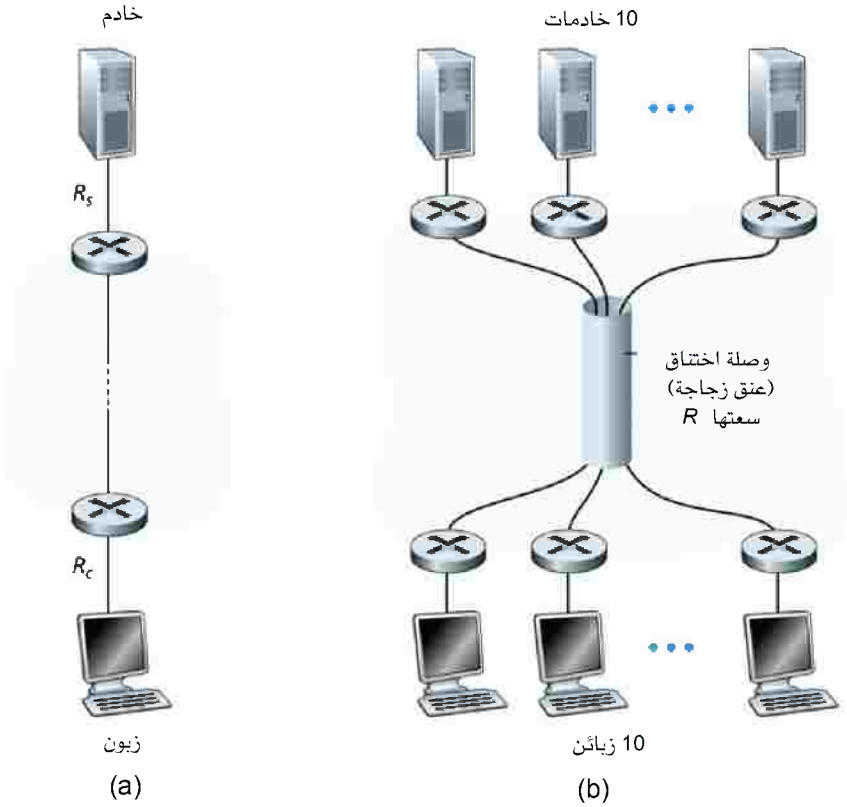


الشكل 1-15 الطاقة الإنتاجية لنقل ملف من خادم إلى زبون.

من ناحية أخرى إذا كانت $R_c < R_s$ فإن الموجّه لن يكون قادراً على إرسال البتات بنفس السرعة التي يستقبلها بها. في هذه الحالة ستترك البتات الموجّه بمعدل R_c فقط، مما يعطي طاقة إنتاجية من طرف إلى طرف قدرها R_c. (لاحظ أيضاً أنه إذا استمرت البتات في الوصول إلى الموجّه بالمعدل R_s ومغادرة الموجّه بالمعدل R_c فإن تراكم البتات التي تنتظر الإرسال إلى الزبون في الموجّه سينمو باضطراد مع الوقت ـ وهو وضع غير مرغوب فيه على الإطلاق!). وعليه فإنه في هذه الحالة البسيطة لشبكة من وصلتين، تكون الطاقة الإنتاجية هي الحد الأدنى للقيمتين (R_s, R_c)، أي $\min(R_s, R_c)$، بمعنى أنها تساوي معدل الإرسال للوصلة التي تمثل "عنق الزجاجة" على المسار من المصدر إلى الوجهة. بعد أن حسبنا الطاقة الإنتاجية، يمكننا الآن حساب الوقت التقريبي اللازم لنقل ملف كبير يتألف من F بت من الخادم إلى الزبون كـ $\frac{F}{\min(R_s, R_c)}$. كمثال عددي افترض أنك تقوم بتنزيل ملف MP3 حجمه F = 32 مليون بت، وأن الخادم له معدل

إرسال قدره R_s = 2 ميجابت/ثانية، وسرعة وصلة الوصول R_c = 1 ميجابت/ثانية، وبالتالي يكون الوقت اللازم لتنزيل الملف هو 32 ثانية. بالطبع تعتبر هذه المعادلات لحساب وقت النقل والطاقة الإنتاجية تقريبية، فهى لا تتضمن الاعتبارات الخاصة على مستوى الرزمة والبروتوكولات المستخدمة.

يبين الشكل 1-15 (b) شبكة تتكون من N وصلة بين الخادم والزبون، بمعدلات إرسال R_N ,..., R_2, R_1 على الوصلات المختلفة. باستخدام نفس أسلوب التحليل السابق للمثال الخاص بالشبكة ذات الوصلتين، نجد أن الطاقة الإنتاجية لإرسال الملفات من الخادم إلى الزبون هي $\min(R_1, R_2, ..., R_N)$، والتي هي مرة أخرى معدل الإرسال على وصلة عنق الزجاجة على طول المسار بين الخادم والزبون.



الشكل 1-16 الطاقة الإنتاجية من طرف إلى طرف: (a) زبون ينزّل ملفاً من خادم؛ (b) 10 زبائن ينزّلون ملفات من 10 خادمات.

لنأخذ الآن مثالاً آخر من وحي إنترنت اليوم. يبين الشكل 1-16 (a) نظامين طرفيين لخادم وزبون موصلين عبر شبكة حاسب. لنأخذ في الاعتبار الطاقة الإنتاجية لإرسال ملف من الخادم إلى الزبون. يوصّل الخادم إلى الشبكة بوصلة سرعتها R_s وكذلك يوصّل الزبون إلى الشبكة بوصلة وصول سرعتها R_c. نفترض الآن أن كل الوصلات في قلب الشبكة لها معدلات إرسال عالية جداً – أعلى بكثير من كلٍّ من R_s وR_c. في الواقع فإن قلب شبكة الإنترنت اليوم مزود بما فيه الكفاية بوصلات عالية السرعة بحيث تعاني القليل من الازدحام [Akella 2003]. افترض أيضاً أن البتات الوحيدة التي يجري إرسالها على الشبكة ككل هي تلك البتات من الخادم إلى الزبون. ونظراً لأن قلب شبكة الحاسب يشبه في هذه الحالة أنبوباً عريضاً، فإن معدل تدفق البتات من المصدر إلى الوجهة هو مرة أخرى الحد الأدنى لـ R_s وR_c، أي أن الطاقة الإنتاجية = $\min(R_s, R_c)$. لذا فإن العامل الذي يحد من الطاقة الإنتاجية للإنترنت اليوم يكمن في الغالب في شبكات الوصول.

كمثال أخير انظر الشكل 1-16 (b) الذي يمثل 10 خادمات و10 زبائن موصلين عبر قلب شبكة حاسب. في هذا المثال، هناك 10 عمليات تنزيل ملفات تتم في نفس الوقت مابين 10 خادمات و10 زبائن. لنفترض أن هذه العمليات العشر تمثل حركة مرور البيانات الوحيدة على الشبكة في ذلك الوقت. كما هو مبين في الشكل، هناك وصلة في قلب الشبكة تعبرها كل حركات المرور للعمليات العشر. دع R تمثل معدل الإرسال على تلك الوصلة، وافترض أن كل وصلات الوصول للخادمات لها نفس معدل الإرسال R_s، وكل وصلات الوصول للزبائن لها نفس معدل الإرسال R_c، وأن معدلات الإرسال على كل وصلات قلب الشبكة ماعدا الوصلة الواحدة المشتركة ذات المعدل R لها معدلات إرسال أكبر بكثير من كلٍّ من R_s وR_c وR. والسؤال الآن ما الطاقات الإنتاجية لعمليات التنزيل؟. واضح أنه إذا كانت سرعة الوصلة المشتركة R أكبر بكثير (مثلاً حوالي مائة مرة) من كلٍّ من R_s وR_c فإن الطاقة الإنتاجية لكل عملية تنزيل ستكون مرة أخرى $\min(R_s, R_c)$. لكن ماذا لو أن معدل إرسال الوصلة المشتركة في نفس حدود R_s وR_c؟ ماذا ستكون الطاقة الإنتاجية في هذه الحالة؟ لنلق نظرة على مثالٍ

بعينه. افترض أن R_s = 2 ميجابت/ثانية، R_c = 1 ميجابت/ثانية، R = 5 ميجابت/ثانية، وأن الوصلة المشتركة تقسّم معدل إرسالها بالتساوي بين عمليات التنزيل العشر. عندئذٍ لن يكمن عنق الزجاجة لكل عملية تنزيل في شبكة الوصول، لكنه بدلا من ذلك يصبح الآن في الوصلة المشتركة بقلب الشبكة، والتي توفر معدل إرسال قدره 500 كيلوبت/ثانية فقط كطاقة إنتاجية لكل عملية تنزيل. أي أن الطاقة الإنتاجية من طرف إلى طرف لكل عملية تنزيل تنخفض في هذه الحالة إلى 500 كيلوبت/ثانية.

توضح الأمثلة السابقة في الأشكال 1-15 و1-16 (a) أن الطاقة الإنتاجية تعتمد على معدلات الإرسال على الوصلات التي تتدفق البيانات عبرها. رأينا أنه في حالة عدم وجود تدخّل من حركة مرور أخرى على الشبكة فإن الطاقة الإنتاجية يمكن تقريبها ببساطة كمعدل الإرسال الأدنى على طول المسار بين المصدر والوجهة النهائية. أما المثال في الشكل 1-16 (b) فيوضح بشكلٍ أكثر عمومية أن الطاقة الإنتاجية لا تعتمد فقط على معدلات إرسال الوصلات على طول المسار، ولكن أيضاً على المرور المتدخّل. وبشكلٍ خاص فإن وصلة ذات معدل إرسال عالٍ قد تصبح مع ذلك عنق الزجاجة لإرسال ملفات إذا كان الكثير من البيانات الأخرى يتدفق أيضاً عبر تلك الوصلة. سنتناول الطاقة الإنتاجية في شبكات الحاسب بتفصيل أكثر في تمارين الواجب المنزلي وفي الفصول اللاحقة.

1-5 طبقات البروتوكولات ونماذج الخدمة الخاصة بها

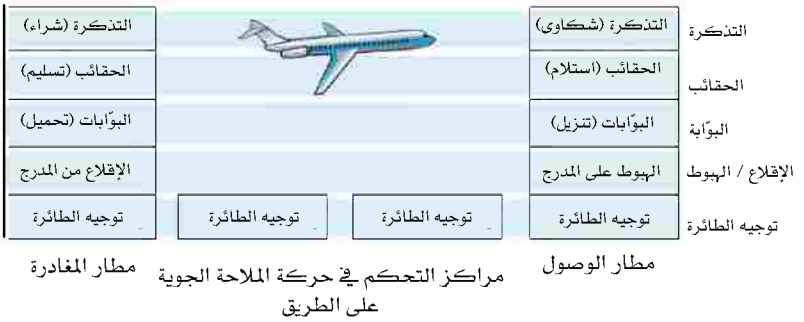
يتضح من مناقشتنا حتى الآن أن الإنترنت نظام معقد جداً. رأينا أن هناك العديد من مكونات الإنترنت: العديد من التطبيقات والبروتوكولات، وأنواع مختلفة من الأنظمة الطرفية، ومحوّلات الرزم، وأنواع مختلفة من الأوساط المادية التي تتكون منها وصلات الاتصال. وبالنظر إلى هذا التعقيد الهائل، نتساءل: هل هناك أي أمل في تنظيم البنية المعمارية للشبكة، أو على الأقل هل يمكننا مناقشة تلك البنية؟ لحسن الحظ الإجابة على كلا السؤالين هي نعم.

1-5-1 البنية المعمارية الطبقية

قبل محاولة تنظيم أفكارنا حول بنية الإنترنت، دعنا نبحث عن مثال بشري يقرب ذلك المفهوم. في الواقع نحن نتعامل مع أنظمة معقدة دائماً في حياتنا اليومية. تخيل أن شخصاً ما طلب منك وصف النظام الذي تقوم عليه شركات الطيران على سبيل المثال. كيف تجد التركيبة المناسبة لوصف هذا النظام المعقد الذي يتضمن وكلاء سفريات، ومدقّقي أمتعة، وموظفي بوابة، وطيارين، وطائرات، ونظاماً عالمياً للمراقبة والتحكم فى الملاحة الجوية للطائرات؟ قد تكون إحدى الطرق لوصف هذا النظام هي وصف سلسلة الخطوات التي تتخذها أنت كمسافر (أو يؤديها الآخرون لك) عندما تطير على إحدى شركات الطيران: تشتري تذكرتك، وتسلّم حقائبك، وتذهب إلى البوابة، وأخيراً تصعد على متن الطائرة. تقلع الطائرة ويتم توجيهها لتصل إلى وجهتها، وبعد أن تهبط طائرتك، تنزل منها وتأخذ حقائبك. إذا كانت الرحلة سيئة قد تشتكي إلى وكيل سفرياتك (دون جدوى!). يوضح الشكل 1-17 هذا السيناريو.

من البداية يمكننا أن نلحظ هنا بعض أوجه الشبه مع شبكات الحاسب: فأنت تُنقل من المصدر إلى الوجهة النهائية بشركة الطيران، ورزمة البيانات تُنقل من مضيف المصدر إلى مضيف الوجهة النهائية على الإنترنت. ومع ذلك فليس هذا فقط هو التناظر الذي نرمي إليه بالضبط. إننا نبحث عن شيء من الهيكلة كما يظهر فى الشكل 1-17. بالنظر إلى الشكل 1-17 نلاحظ وجود وظيفة إصدار تذاكر في كل ناحية، وهناك أيضاً وظيفة مناولة الأمتعة للمسافرين الذين لديهم تذاكر، ووظيفة بوابة للمسافرين الذين لديهم تذاكر وسلّموا أمتعتهم. أما بالنسبة للمسافرين الذين مروا خلال البوابة (أي المسافرين الذين لديهم تذاكر وسلّموا أمتعتهم وعبروا البوابة) فهناك وظائف إقلاع وهبوط. وأثناء الطيران هناك وظائف ملاحة جوية لتوجيه الطائرة. هذا يعني أنه يمكننا أن ننظر إلى الوظائف المختلفة في الشكل 1-17 بطريقة أفقية، كما هو موضح في الشكل 1-18.

الشكل 1-17 خطوات القيام برحلة بالطائرة.



الشكل 1-18 تمثيل المهام المختلفة للطيران المدني على شكل طبقات أفقية.

في الشكل 1-18 تم تقسيم وظائف شركات الطيران إلى طبقات، مما يوفر إطاراً يمكننا من خلاله مناقشة السفر على شركات الطيران. لاحظ أن كل طبقة، بالاشتراك مع الطبقات التي تحتها، تؤدي وظيفةً معينة، أي خدمة ما. فمثلاً في طبقة التذاكر وماتحتها، يتم نقل الشخص من خلال كاونتر شركة الطيران في جهة المغادرة إلى كاونتر شركة الطيران في جهة الوصول. وفي طبقة الأمتعة وما تحتها، يتم نقل أمتعة الراكب عبر تسليم واستلام الأمتعة. لاحظ أن

طبقة الأمتعة توفر هذه الخدمة فقط لشخص يحمل تذكرة. أما في طبقة البوابة فيتم نقل الراكب وأمتعته عبر بوابة مغادرة إلى بوابة وصول. وفي طبقة الإقلاع/الهبوط يتم نقل الركاب وأمتعتهم عبر مدارج إقلاع وهبوط الطائرات. تقوم كل طبقة بتوفير خدماتها عن طريق: (1) أداء بعض الأعمال ضمن تلك الطبقة (مثلاً في طبقة البوابة، تحميل وإنزال ركاب الطائرة)، (2) الاستعانة بخدمات الطبقة التي تحتها مباشرة (على سبيل المثال، تستعمل طبقة البوابة خدمة المدرج إلى المدرج من طبقة الإقلاع/الهبوط تحتها).

من مزايا البنية المعمارية على شكل طبقات أنها تمكننا من دراسة جزء محدد وواضح المعالم من نظام كبير ومعقد. لهذا التبسيط في حد ذاته قيمة كبيرة، حيث يوفر نظرة معيارية قطاعية لتصميم النظام تسهّل كثيراً تغيير طريقة إنجاز الخدمة التي توفرها طبقة ما. فطالما أن الطبقة توفر نفس الخدمات للطبقة الأعلى منها وتستعمل نفس الخدمات من الطبقة الأسفل منها، تبقى بقية النظام دون تغيير حتى عندما تتغير الطريقة المتبعة لإنجاز وظائف الطبقة. (لاحظ أن تغيير طريقة إنجاز خدمة ما هو أمر مختلف جداً عن تغيير الخدمة نفسها). على سبيل المثال، إذا تم تغيير وظائف البوابة (على سبيل المثال بجعل الركاب يستقلّون الطائرة وينزلون منها حسب الطول)، ستبقى الأجزاء الأخرى من نظام شركة الطيران بدون تغيير نظراً لأن طبقة البوابة ما زالت تؤدي نفس الوظيفة (تحميل وتنزيل الركاب) ولكنها تنفذها بطريقة مختلفة. في الأنظمة الكبيرة والمعقّدة التي يتم تحديثها باستمرار، تعتبر القدرة على تغيير طريقة إنجاز خدمة ما دون التأثير على المكونات الأخرى للنظام فائدة مهمة أخرى من فوائد استخدام البنية الطبقية.

طبقات البروتوكولات

نكتفي بهذا القدر من الحديث عن شركات الطيران لنعود إلى موضوعنا الأساسي المتعلق ببروتوكولات الشبكة. لتحقيق هيكلة تُتّبع في تصميم وظائف الشبكات، ينظم مصممو بروتوكولات الشبكة، وكذلك أجهزة وبرمجيات

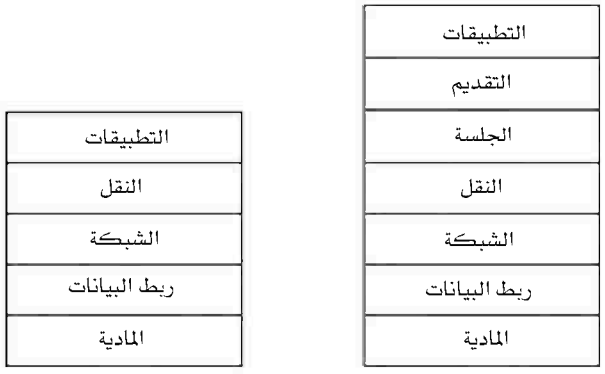
الشبكة التي تنفذ تلك البروتوكولات، على شكل طبقات. ينتمي كل بروتوكول لطبقة من الطبقات، تماماً كما كانت كل وظيفة ضمن بنية شركات الطيران في الشكل 1-18 تتبع طبقة من الطبقات. مرةً أخرى سنهتم بالخدمات التي توفرها طبقة ما للطبقات فوقها ـ وهو ما يسمى بنموذج الخدمة للطبقة. كما في مثال شركات الطيران، توفر كل طبقة الخدمة المطلوبة منها عن طريق: (1) تأدية بعض الأعمال ضمن تلك الطبقة، و(2) استعمال خدمات الطبقة التي تحتها مباشرةً. على سبيل المثال قد تتضمن الخدمات التي توفرها الطبقة n تسليماً موثوقاً للرسائل من إحدى حواف الشبكة إلى الحافة الأخرى. قد ينفّذ ذلك باستعمال خدمة للتسليم غير الموثوق للرسائل من حافة إلى حافة في الطبقة $n - 1$ وإضافة وظيفة في الطبقة n لاكتشاف الرسائل التي فُقدت وإعادة إرسالها.

يمكن تحقيق بروتوكول طبقةٍ ما باستخدام العتاد أو البرمجيات أو مزيج منهما. ينفّذ بروتوكول طبقة التطبيقات، مثل HTTP وSMTP غالباً على شكل برمجيات في الأنظمة الطرفية، وكذلك بروتوكول طبقة النقل (Transport Layer). لكن نظراً لأن الطبقة المادية (Physical Layer) وطبقة ربط البيانات (Data Link Layer) مسؤولتان عن معالجة الاتصال على وصلة معينة، فغالباً ما ينفّذان في كروت التوصيل بالشبكة الخاصة بالوصلة المستخدمة (على سبيل المثال كروت وصلة إيثرنت أو وصلة WiFi). أما طبقة الشبكة (Network Layer) فغالباً ما تتضمن خليطاً من العتاد والبرمجيات. لاحظ أيضاً أنه كما تم توزيع الوظائف في البنية الطبقية لشركات الطيران بين المطارات المختلفة ومراكز التحكم في الطيران التى يتكون منها النظام، تم أيضاً توزيع بروتوكول الطبقة n بين الأنظمة الطرفية ومحوّلات الرزم وغيرها من المكونات الأخرى التي تتألف منها الشبكة، بمعنى أنه يوجد في أغلب الأحيان جزء من بروتوكول الطبقة n في كل من مكونات الشبكة هذه.

لطبقات البروتوكول فوائد من حيث المفهوم والهيكل. فكما رأينا، يوفراستخدام الطبقات طريقة هيكلية منظمة لمناقشة مكونات النظام. كما تؤدي المعيارية والقطاعية الناتجة إلى تسهيل تحديث مكونات النظام. ومع ذلك

فإن بعض المهندسين والباحثين في مجال الشبكات يعارضون بشدة طريقة الطبقات [Wakeman 1992]. فمن العيوب المحتملة لنظام الطبقات الازدواجية وذلك بتكرار طبقة ما لوظيفة طبقة أخرى. فعلى سبيل المثال، توفر العديد من طبقات البروتوكولات المعيارية وظائف تصحيح الأخطاء الناجمة عن الإرسال على مستوى كل وصلة (في طبقة ربط البيانات) وأيضاً على المستوى من طرف إلى طرف (في طبقة النقل). ومن العيوب المحتملة أيضاً أنه للقيام بوظيفتها، قد تحتاج طبقة من الطبقات إلى معلومات لا تتوافر إلا في طبقة أخرى (على سبيل المثال خاتم بقيمة الوقت الحالي (time stamp))، مما يتنافى مع هدف الفصل بين الطبقات.

لاحظ أنه عند الحديث عن طبقات البروتوكولات مجتمعة، يطلق عليها رصة البروتوكولات (protocol stack). تتضمن رصة بروتوكولات الإنترنت خمس طبقات: المادية، وربط البيانات، والشبكة، والنقل، والتطبيقات، كما هو موضح في الشكل 1-19 (a). وإذا تفحصت فهرس محتويات هذا الكتاب، فسترى أننا رتبناه تقريباً على أساس طبقات رصة بروتوكولات الإنترنت متبعين أسلوب من أعلى إلى أسفل، حيث نتناول أولاً طبقة التطبيقات ومن ثم نتجه لأسفل لدراسة الطبقات الأخرى التي تقع تحتها.



(a) رصّة بروتوكولات الإنترنت بخمس طبقات

(b) نموذج OSI المرجعي بسبع طبقات

الشكل 1-19 (a) رصة بروتوكول الإنترنت، (b) نموذج OSI المرجعي.

طبقة التطبيقات

طبقة التطبيقات هي الطبقة التي تضم تطبيقات الشبكة وبروتوكولات طبقة التطبيقات. تتضمّن طبقة التطبيقات في شبكة الإنترنت العديد من البروتوكولات، كبروتوكول HTTP (الذي يوفر خدمات طلب ونقل وثيقة على الويب)، وبروتوكول SMTP (الذي يوفر خدمات نقل رسائل البريد الإلكتروني)، وبروتوكول FTP (الذي يوفر خدمات نقل الملفات بين نظامين طرفيين). سنرى أيضاً أن وظائف معينة لطبقة الشبكة يتم تشغيلها بمعاونة بروتوكولات فى طبقة التطبيقات مثل بروتوكول DNS (نظام أسماء النطاقات) والذى يحوّل ما بين اسم النطاق (تلك الصيغة المناسبة للتعامل البشري كـ www.ietf.org) وعنوان الـ IP الرقمي المناظر له على الشبكة بطول 32 بتاً (في حالة بروتوكول الإنترنت من الإصدار الرابع (IPv4)). سنرى في الفصل الثانى أنه من السهل جداً تطوير واستعمال بروتوكولات جديدة خاصة بنا لطبقة التطبيقات.

يوزّع بروتوكول طبقة التطبيقات على العديد من الأنظمة الطرفية، حيث يستخدمه التطبيق على نظام طرفي ما في تبادل رزم البيانات مع التطبيق الموجود على نظام طرفي آخر. سنطلق على رزمة المعلومات هذه في طبقة التطبيقات اسم رسالة (message).

طبقة النقل

تقوم طبقة النقل بالإنترنت بنقل رسائل طبقة التطبيقات بين الأنظمة الطرفية على الشبكة. ويستخدم على الإنترنت بروتوكولان لنقل البيانات هما بروتوكول التحكم في الإرسال (TCP) وبروتوكول وحدة بيانات المستخدِم (UDP)، حيث يمكن لأي منهما نقل رسائل طبقة التطبيقات. يوفر بروتوكول TCP خدمة توصيلية (connection-oriented service) للتطبيقات التي تستخدمه، وتتضمن هذه الخدمة تسليماً مضموناً لرسائل طبقة التطبيقات إلى وجهتها النهائية وضبطاً لمعدل تدفق البيانات (بمعنى تعديل سرعة المرسل لتلائم سرعة المستقبل). كما يقوم بروتوكول TCP أيضاً بتجزئة الرسائل الطويلة إلى قطع أقصر، وتوفير آلية للسيطرة على الازدحام (congestion control) تقوم بالحدّ من

معدل الإرسال عندما تكون الشبكة مزدحمة. أما بروتوكول UDP فيوفر خدمة لاتوصيلية (connectionless service) لتطبيقاته. هذه الخدمة بسيطة فهى لا توفر أي اعتمادية أو ضبط لمعدل التدفق أو سيطرة على الازدحام. في هذا الكتاب سنطلق على رزمة البيانات في طبقة النقل اسم قطعة (segment).

طبقة الشبكة

طبقة الشبكة في الإنترنت مسؤولة عن نقل حزم البيانات في طبقة الشبكة، والتي تُعرف بوحدة البيانات (datagram) أو رزمة (packet)، من مضيف إلى آخر. يقوم بروتوكول طبقة النقل في الإنترنت (TCP أو UDP) في مضيف بدفع قطعة بيانات طبقة النقل متضمنةً عنوان وجهتها النهائية إلى طبقة الشبكة، تماماً كما تقوم أنت بتسليم خطاب يحمل عنوان المرسل إليه إلى خدمة البريد. بعد ذلك تقوم طبقة الشبكة في مضيف الوجهة النهائية بتوفير خدمة تسليم القطعة إلى طبقة النقل عند وصولها.

تتضمن طبقة شبكة الإنترنت بروتوكول الإنترنت الشهير IP، والذي يعرّف الحقول المختلفة في وحدة البيانات كما يحدد كيفية تصرّف الأنظمة الطرفية والموجّهات إزاء تلك الحقول. ويوجد بروتوكول IP وحيد لطبقة شبكة الإنترنت، وعلى كل مكونات الإنترنت التي لها طبقة شبكة أن تنفذ هذا البروتوكول. كما تتضمن طبقة شبكة الإنترنت أيضاً بروتوكولات التوجيه التي تحدد المسارات التي تسلكها وحدات البيانات بين المصادر والوجهات النهائية. يتوافر العديد من بروتوكولات التوجيه على الإنترنت. كما رأينا في الجزء 1-3 فالإنترنت هي شبكة تتألف من شبكات، وبوسع المشرف على كل شبكة استخدام أي بروتوكول توجيه يرغب فيه. رغم أن طبقة الشبكة تحتوي على العديد من بروتوكولات التوجيه بجانب البروتوكول IP، فإن هذه الطبقة يطلق عليها غالباً ببساطة طبقة IP، مما يعكس حقيقة أن هذا البروتوكول يُعد بمثابة الصمغ الذي يربط الإنترنت ببعضها البعض.

طبقة ربط البيانات

تقوم طبقة شبكة الإنترنت بتوجيه وحدة البيانات (datagram) عبر سلسلة من الموجّهات بين المصدر والوجهة النهائية. ولنقل وحدة البيانات من عقدة على الشبكة (مضيف أو موجّه) إلى العقدة التالية على طول المسار، تعتمد طبقة الشبكة على خدمات طبقة ربط البيانات. وبالتحديد تقوم طبقة الشبكة في كل عقدة بدفع وحدة البيانات إلى طبقة ربط البيانات أسفلها، والتي تقوم بدورها بتسليم وحدة البيانات إلى العقدة التالية على المسار. في تلك العقدة التالية تقوم طبقة ربط البيانات برفع وحدة البيانات الواصلة إلى طبقة الشبكة أعلاها.

تعتمد الخدمات التي توفرها طبقة ربط البيانات على بروتوكول طبقة ربط البيانات المستخدم على الوصلة. على سبيل المثال توفر بعض بروتوكولات طبقة ربط البيانات تسليماً موثوقاً من عقدة الإرسال إلى عقدة الاستلام عبر وصلة واحدة. لاحظ أن خدمة التسليم الموثوق هذه تختلف عن خدمة التسليم الموثوق لبروتوكول التحكم في الإرسال TCP (والمستخدم فى طبقة النقل) والتي توفر تسليماً موثوقاً من نظام طرفي إلى نظام طرفي آخر. من أمثلة بروتوكولات طبقة ربط البيانات بروتوكول إيثرنت، وبروتوكول WiFi للاتصال اللاسلكى، وبروتوكول التوصيل من نقطة إلى نقطة PPP. ونظراً لأن وحدات البيانات (datagrams) تحتاج عادةً لعبور عدة وصلات للانتقال من المصدر إلى الوجهة النهائية، فقد تعالج تلك الوحدات ببروتوكولات مختلفة في طبقات ربط البيانات في العُقد التي تمر بها على طول مسارها. على سبيل المثال يمكن لوحدة بيانات أن تعالَج ببروتوكول الإيثرنت على وصلة وببروتوكول PPP على الوصلة التي تليها. ومن ثم فإن طبقة الشبكة في العقد المختلفة تتلقى خدمات مختلفة من كلٍّ من بروتوكولات طبقة ربط البيانات المختلفة. في هذا الكتاب سنطلق على رزمة البيانات في طبقة ربط البيانات اسم إطار (frame).

الطبقة المادية

بينما تتلخص وظيفة طبقة ربط البيانات في نقل إطارات كاملة من عقدة إلى العقدة المجاورة لها على الشبكة، فإن الشغل الشاغل للطبقة المادية ينحصر في نقل البتات المفردة التي تكوّن إطار طبقة ربط البيانات من عقدة لأخرى. ومرةً أخرى تختلف البروتوكولات المستخدمة في هذه الطبقة تبعاً لنوع الوصلة وتعتمد على وسط الإرسال المادي للوصلة (على سبيل المثال زوج أسلاك نحاسية مجدولة، أو ألياف ضوئية وحيدة النمط (single mode). فمثلاً للإيثرنت العديد من بروتوكولات الطبقة المادية: واحد لزوج الأسلاك النحاسية المجدول، وآخر للكبل المحوري، وآخر لليف الضوئي. وهكذا ففي كل حالة يتم نقل البتات عبر الوصلة على نحو مختلف.

نموذج OSI لبنية الشبكات

بعد أن استعرضنا رصة بروتوكولات الإنترنت بالتفصيل، يجدر بنا أن نذكر أن هذا النموذج ليس هو الوحيد من نوعه على الساحة. وبالتحديد، في أواخر السبعينيات من القرن الماضي اقترحت المنظمة الدولية للمعايير ISO تنظيماً لشبكات الحاسب مكوناً من سبع طبقات، وأطلقت عليه نموذج ترابط الأنظمة المفتوح ((Open Systems Interconnection (OSI) [ISO 2007]. تَشكّل هذا النموذج بينما كانت بروتوكولات الإنترنت في مهدها كمجرد مجموعة من عدة أطقم من البروتوكولات المختلفة تحت التطوير. وفي الواقع من المحتمل أن مخترعي نموذج ترابط الأنظمة المفتوح الأصلي لم يكن في بالهم الإنترنت عندما قاموا بتطوير ذلك النموذج. ومع ذلك فابتداءً من أواخر السبعينيات، اعتمد العديد من المقررات التى تدرس بالجامعات ومراكز التدريب نموذج OSI ذا الطبقات السبع كمحور لمقرراتهم الدراسية ودوراتهم التدريبية. وبسبب تأثيره المبكّر على التعليم في مجال الشبكات، لا يزال نموذج OSI يفرض وجوده في بعض الكتب والدورات التدريبية عن الشبكات.

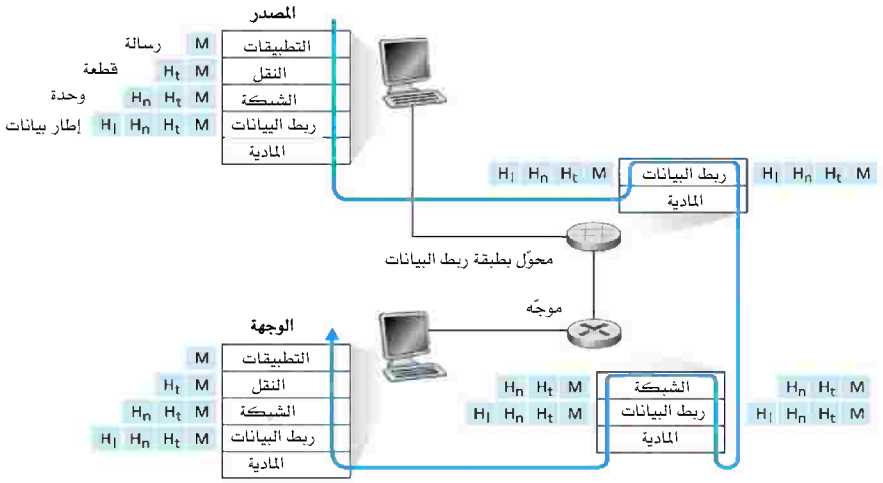
كما يوضح الشكل 1-19 (b) يضم نموذج OSI المرجعي الطبقات السبع التالية: طبقة التطبيقات، طبقة التقديم، طبقة الجلسة، طبقة النقل، طبقة الشبكة، طبقة ربط البيانات، والطبقة المادية. خمسٌ من تلك الطبقات لها تقريباً نفس وظائف الطبقات المناظرة في بروتوكولات الإنترنت. وعليه فسنتناول هنا الطبقتين الإضافيتين الموجودتين في نموذج OSI، ألا وهما طبقة التقديم وطبقة الجلسة. يتلخص دور طبقة التقديم في توفير الخدمات التي تمكّن التطبيقات المختلفة من استيعاب معنى البيانات التي يتم تبادلها عبر الاتصال. تتضمّن تلك الخدمات ضغط وتشفير البيانات، بالإضافة إلى وصف البيانات (والذي، كما سنرى في الفصل التاسع، يريح التطبيقات من عناء القلق حول الصيغة الداخلية المستخدمة لتمثيل البيانات وتخزينها، والتي قد تختلف من حاسب لآخر). أما طبقة الجلسة فتوفر وسائل لتحديد عملية تبادل البيانات وتحقيق تزامنها، بما في ذلك طرقاً لإدخال نقاط للفحص وأساليب لاستعادة البيانات عند حدوث أعطاب.

إن افتقار الإنترنت إلى طبقتين موجودتين في نموذج OSI المرجعي يطرح سؤالين مهمّين: هل الخدمات التي توفرها هاتان الطبقتان غير مهمة؟. ماذا لو احتاج أحد التطبيقات إلى تلك الخدمات؟ للإنترنت نفس الجواب عن كلا السؤالين ـ الأمر يعود لمطوّر التطبيقات، فعليه أن يقرر ما إذا كانت الخدمة مهمة، وعندئذ يُضمّنها في التطبيق.

2-5-1 الرسائل والقطع ووحدة البيانات والإطارات

يبين الشكل 1-20 الطريق المادي الذي تسلكه البيانات من أعلى إلى أسفل عبر رصة البروتوكولات في نظام طرفي مُرسِل، ثم من أسفل إلى أعلى والعكس عبر رصات البروتوكولات على الطريق في محوّلات طبقة ربط البيانات والموجّهات، ثم في النهاية من أسفل إلى أعلى خلال رصة البروتوكولات في النظام الطرفي المستقبِل. كما سنلاحظ لاحقاً في هذا الكتاب، تعتبر محوّلات طبقة ربط البيانات والموجّهات محوّلات رزم. كما هو الحال في الأنظمة الطرفية تنظّم تلك المحوّلات والموجّهات عتاد وبرمجيات الشبكة لديها على شكل طبقات، غير أنها

لا تستخدم كل الطبقات المعروفة في رصة البروتوكولات وتكتفي بالطبقات السفلى منها فقط. فمثلاً كما هو مبين في الشكل 1-20 تقتصر محوّلات طبقة ربط البيانات على الطبقات 1 و2 في حين يقتصر الموجّه على الطبقات من 1 إلى 3. هذا يعني على سبيل المثال أن موجّهات الإنترنت قادرة على تنفيذ بروتوكول الإنترنت (بروتوكول الطبقة 3)، بينما لا تستطيع ذلك محوّلات طبقة ربط البيانات. سنرى لاحقاً أنه بينما لا تستطيع محوّلات طبقة ربط البيانات التعرف على عناوين IP، فإنه بوسعها التعرف على عناوين الطبقة 2 (كعناوين الإيثرنت). لاحظ أن المضيفات تستخدم كل الطبقات الخمس، وهذا يتسق مع وجهة النظر القائلة بأن بنية الإنترنت تركز معظم التعقيد على حافة الشبكة.



الشكل 1-20 يتضمن كلٌّ من المضيفات والموجهات ومحوّلات طبقة ربط البيانات مجموعة مختلفة من الطبقات حسب الوظائف التي يؤديها كلٌّ منها.

يوضح الشكل 1-20 مفهوماً مهماً آخر ألا وهو مفهوم تغليف البيانات (encapsulation) في الطبقات المختلفة. في مضيف الإرسال تُدفع الرسالة (M في الشكل 1-20) من طبقة التطبيقات إلى طبقة النقل. في أبسط الحالات تأخذ طبقة النقل تلك الرسالة وتلحق بها بيانات إضافية تعرف بالترويسة (header) الخاصة بطبقة النقل (H_t في الشكل 1-20) والتي ستستعمل من قِبَل طبقة النقل على ناحية المستقبل. تشكّل رسالة طبقة التطبيقات وترويسة طبقة النقل معاً قطعة البيانات (segment) الخاصة بطبقة النقل، ومن ثم فإن قطعة طبقة النقل تغلّف رسالة طبقة التطبيقات. قد تتضمّن البيانات الإضافية التي يتم إلحاقها أثناء عملية التغليف معلومات تمكّن طبقة النقل لدى المستقبل من تسليم الرسالة إلى التطبيق المناسب، أو بتات إضافية خاصة باكتشاف الخطأ تسمح للمستلم بتحديد ما إذا كانت بتات الرسالة المستقبلة قد طرأ عليها تغيير أثناء انتقالها في الطريق. تقوم طبقة النقل بعد ذلك بدفع قطعة البيانات إلى طبقة الشبكة، والتي تقوم بدورها بإضافة بيانات ترويسة طبقة الشبكة (H_n في الشكل 1-20) كعناوين النظامين الطرفيين اللذين يمثلان المصدر والوجهة النهائية، ومن ثم تكوّن وحدة البيانات (datagram) الخاصة بطبقة الشبكة. تُدفع وحدة البيانات إلى طبقة ربط البيانات والتي (بالطبع!) ستضيف بيانات الترويسة الخاصة بها لتكوين إطار (frame) طبقة ربط البيانات. وهكذا نرى أن رزمة البيانات في كل طبقة تتألف من نوعين من الحقول: حقل الترويسة الخاصة بتلك الطبقة وحقل البيانات (الحمل الآجر (payload)) (والذى يمثّل رزمة البيانات الواصلة إليها من الطبقة الأعلى).

هناك تناظر مفيد هنا يتمثل في إرسال مذكرة داخلية من مكتب أحد فروع شركة إلى مكتب فرع آخر عن طريق خدمة البريد العمومي، فالمذكرة تناظر رسالة طبقة التطبيقات. افترض أن أليس التي تعمل في مكتب الفرع الأول تريد إرسال مذكرة إلى بوب في مكتب الفرع الآخر. تضع أليس المذكرة في المظروف الخاص بالبريد الداخلي وتضع اسم بوب ورقم القسم الذي يعمل به على المظروف. إن مظروف البريد الداخلي بمحتوياته يناظر قطعة بيانات طبقة النقل حيث يحتوي على معلومات الترويسة (اسم بوب ورقم القسم) كما أنه يغلّف رسالة طبقة التطبيقات (المذكرة). وعندما تتلقى غرفة بريد مكتب الفرع

المُرسِل مظروف البريد الداخلي، يتم وضع ذلك المظروف داخل مظروف آخر مناسب للإرسال عبر خدمة البريد العمومي. تكتب غرفة البريد العنوان البريدي لكلٍّ من مكتبي فرع الإرسال والاستلام على المظروف البريدي. لاحظ هنا أن هذا المظروف البريدي يناظر وحدة البيانات لطبقة الشبكة، حيث إنه يغلّف قطعة طبقة النقل (مظروف البريد الداخلي)، والذي يغلّف بدوره الرسالة الأصلية (المذكرة). تُسلّم الخدمة البريدية المظروف البريدي إلى غرفة بريد مكتب فرع الاستلام، وهناك تبدأ عملية استخراج الرسائل (عكس عملية التغليف)، وانتزاع مظروف البريد الداخلي وتوصيله إلى بوب. وأخيراً يفتح بوب المظروف ويطّلع على المذكرة.

يمكن أن تكون عملية التغليف أكثر تعقيداً من ذلك. فعلى سبيل المثال قد يتطلب الأمر لدى المرسل تجزئة رسالة كبيرة إلى عدد من قطع طبقة النقل (والتي قد تُقسِّم كل واحدة منها إلى عدد من وحدات بيانات طبقة الشبكة). في هذه الحالة يتعين على المستقبل إعادة بناء قطعة البيانات تلك من وحدات البيانات المكوّنة لها.

6-1 أمن الشبكات

أصبحت الإنترنت ذات أهمية كبيرة للعديد من المؤسسات اليوم، بما في ذلك الشركات الكبيرة والصغيرة، والجامعات، والمصالح الحكومية، حيث يعتمد الملايين من الأفراد على الإنترنت في العديد من نشاطاتهم الشخصية والاجتماعية والمهنية. لكن للأسف يكمن وراء كل هذه الفوائد الهامة جانب مظلم، حيث يحاول "أناس سيئون" إيقاع الخراب في حياتنا اليومية بإتلاف حاسباتنا المرتبطة بالإنترنت، وبانتهاك خصوصيتنا، وتعطيل خدمات الإنترنت التي نعتمد عليها في حياتنا [Skoudis 2006].

يتناول مجال أمن الشبكات الطرق التي يمكن أن يستخدمها هؤلاء المخربون في الهجوم على شبكات الحاسب، وكيف يمكننا نحن كخبراء المستقبل في شبكات الحاسب أن ندافع عن الشبكات ضدّ تلك الهجمات، أو

لعله يكون من الأفضل أن نصمم بنية معمارية جديدة للشبكة تكون لديها من البداية المناعة ضدّ مثل تلك الهجمات. بالنظر إلى تكرار وتنوع الهجمات حالياً، بالإضافة إلى التهديدات التدميرية المتوقعة في المستقبل، أصبح أمن الشبكات موضوعاً أساسياً في مجال شبكات الحاسب في السنوات الأخيرة. من مميزات هذه الطبعة الرابعة من هذا الكتاب إبرازها لقضايا أمن الشبكات ووضعها في المقدمة. سنبدأ حملتنا في أمن الشبكات في هذا الجزء، حيث سنستعرض باختصار بعض الهجمات السائدة والأكثر ضرراً على الإنترنت اليوم. بعد ذلك وأثناء تناولنا لتقنيات وبروتوكولات شبكات الحاسب المختلفة بتفصيل أكثر في الفصول اللاحقة، سنأخذ بعين الاعتبار القضايا المختلفة المتعلقة بالأمن والمرتبطة بتلك التقنيات والبروتوكولات. وأخيراً في الفصل الثامن وقد تسلحنا بالخبرة في شبكات الحاسب وبروتوكولات الإنترنت، سندرس بعمق كيف يمكن الدفاع عن شبكات الحاسب ضدّ الهجمات المختلفة، وكذلك تصميم تلك الشبكات وتشغيلها لجعل مثل تلك الهجمات مستحيلة الحدوث بالدرجة الأولى.

ولأن خبرتك ما زالت ضعيفة في شبكات الحاسب وبروتوكولات الإنترنت، فسنبدأ هنا فقط باستعراض بعض المشاكل المتعلقة بالأمن والمنتشرة بكثرة هذه الأيام. هذا سيحفزنا لمناقشات أوسع وأعمق في الفصول القادمة. لنبدأ هنا ببساطة بالتساؤلات التالية: ما مجالات الضرر الذي يمكن أن يحدث؟ ما مدى حساسية شبكات الحاسب للاختراق؟ ما هي بعض أنواع الهجوم على الشبكة المنتشرة اليوم؟ للإجابة على تلك التساؤلات، إليك بعض ما يمكن أن يفعله الأشرار:

وضع برمجيات خبيثة على مضيفك من خلال الإنترنت

نقوم بربط أجهزتنا بالإنترنت لأننا نريد استقبال وإرسال البيانات من الإنترنت وإليها. تتضمن تلك البيانات كل أنواع المواد الجيدة، بما في ذلك صفحات الويب ورسائل البريد الإلكتروني وملفات MP3 والمكالمات الهاتفية والفيديو الحي ونتائج محركات البحث وما إلى ذلك. لكن ولسوء الحظ مع

كل تلك المواد الجيدة تجيء أيضاً مواد خبيثة تعرف على العموم بالبرمجيات الخبيثة (malware) والتي يمكن أن تدخل أجهزتنا أيضاً وتصيبها. عندما تصيب البرامج الخبيثة أجهزتنا يمكن أن تقترف كل أنواع الأعمال المؤذية، بما في ذلك حذف ملفاتنا، وتركيب برامج تجسس تجمع معلوماتنا الخصوصية كأرقام الضمان الاجتماعي وكلمات السر وضرباتنا على لوحة المحوّلات، وترسلها (على الإنترنت طبعاً!) إلى الأشرار. بل ربّما يكون قد تم أيضاً تسجيل مضيفِنا المُخترَق ضمن شبكة من آلاف الأجهزة المُخترَقة بنفس الطريقة، تُعرف بشكلٍ جماعي بشبكة الروبوت (botnet)، والتي يسيطر عليها الأشرار ويستخدمونها لتوزيع رسائل بريد الدعاية الإلكتروني (spam) أو تنسيق هجمات موزعة لحجب الخدمة ((Distributed Denial-of-Service (DDoS) (والتي سنناقشها قريباً) ضدّ المضيفات المستهدفة.

معظم البرامج الخبيثة الموجودة اليوم ذاتية التكاثر والانتشار، بمعنى أنه عندما يصاب مضيف ما، تسعى تلك البرامج للانتشار من ذلك المضيف والدخول إلى مضيفات أخرى على الإنترنت، ومن تلك المضيفات المصابة مؤخراً، تسعى للدخول إلى مضيفات أخرى، وهكذا. بهذا الأسلوب يمكن للبرامج الخبيثة ذاتية التكاثر أن تنتشر بمعدل أسي سريع. على سبيل المثال، تضاعف عدد الأجهزة المصابة بدودة Slammer (والمعروفة أيضاً بـ Saphire) عام 2003 بمعدل مرة كل 8.5 ثانية في الدقائق القليلة الأولى من تفشّيها، مما أدى إلى إصابة أكثر من 90 بالمائة من المضيفات الضعيفة أمام الهجوم خلال 10 دقائق [Moore 2003]. يمكن أن تنتشر البرامج الخبيثة على شكل فيروس، أو دودة، أو حصان طروادة [Skoudis 2004]. تتطلب الفيروسات نوعاً من التفاعل من جانب المستخدم لتحقيق الإصابة لجهاز المستخدم. ويعتبر المثال التقليدي لذلك الملف المرفق مع رسالة بريد إلكتروني والذي يحتوي على برنامج خبيث قابل للتنفيذ. فإذا استلم المستخدم الرسالة وفتح ذلك الملف، سيقوم المستخدم بدون قصد بتشغيل البرنامج الخبيث على الجهاز. عادةً ما تكون فيروسات البريد الإلكتروني من هذا النوع ذاتية الاستنساخ (أي بمجرد تشغيل البرنامج، يمكن على سبيل المثال

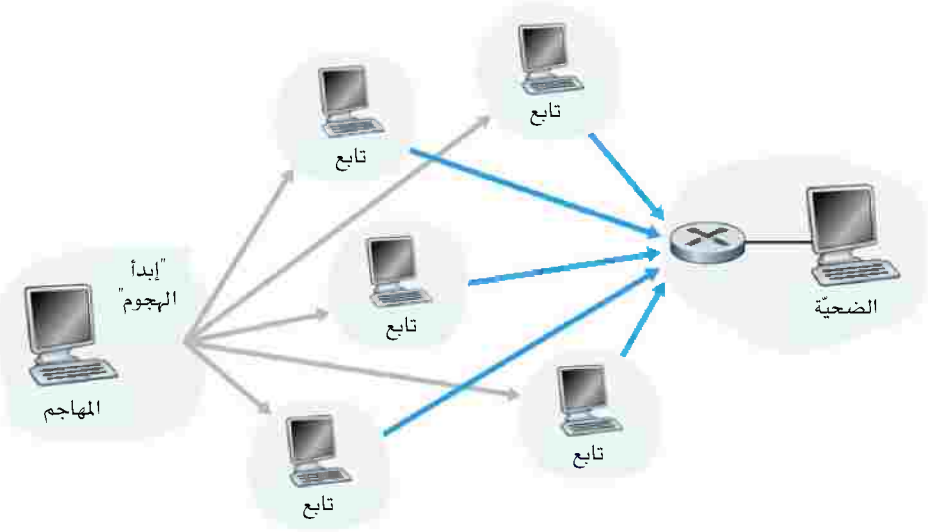
أن يرسل الفيروس رسالة مطابقة بمرفق خبيث مطابق إلى كل عنوان في دفتر عناوين المستخدم. أما الديدان (مثل دودة Slammer) فيمكنها دخول الجهاز بدون أي تفاعل معين من جانب المستخدم. على سبيل المثال، عندما يقوم المستخدم بتشغيل تطبيق ضعيف على الشبكة يكون بوسع المهاجم إرسال برامج خبيثة إليه. في بعض الحالات وبدون أي تدخل يمكن أن يقبل التطبيق البرنامج الخبيث من الإنترنت ويشغّله، ومن ثم تتكون دودة. تقوم الدودة في الجهاز المصاب مؤخراً بمسح الإنترنت بحثاً عن المضيفات الأخرى التى تشغّل نفس التطبيق الضعيف على الشبكة. وعندما تجد الدودة مضيفات ضعيفة أخرى فإنها ترسل نسخة من نفسها إلى تلك المضيفات. وأخيراً حصان طروادة هو برنامج خبيث يتمثل كجزء مستتر ضمن برامج مفيدة عادةً. اتسعت البرامج الخبيثة اليوم وانتشرت انتشار كبيراً أصبح يكلفنا الكثير. فعلى سبيل المثال، تم تقدير الضرر المالي للفيروسات وحدها بأكثر من 14 بليون دولار في عام 2005 [Malware 2006]. لذا بينما تمضي أيها القارئ قدماً في استيعاب هذا الكتاب، نحثك على التفكير في الإجابة على السؤال التالي: ماذا يمكن لمصممي شبكات الحاسب أن يفعلوه لحماية الأجهزة الموصلة بالإنترنت من هجمات البرامج الخبيثة؟

مهاجمة الخادمات والبنية التحتية للشبكة

هناك عدد كبير من تهديدات أمن الشبكات يمكن تصنيفها كهجمات لحجب الخدمة (DoS). كما يتضح من الاسم، يؤدي هذا النوع من الهجوم إلى جعل شبكة أو مضيف أو جزء آخر من البنية التحتية غير متاحٍ للاستعمال من قِبَل المستخدمين الشرعيين. فيمكن أن يكون كلٌّ من خادمات الويب وخادمات البريد الإلكتروني وخادمات أسماء النطاقات DNS (ستناقش في الفصل الثانى) وشبكات المؤسسات عرضةً لهجمات حجب الخدمة. وهذه الهجمات منتشرة جداً على الإنترنت، حيث تحدث آلاف الهجمات منها كل عام [Moore 2001; Mirkovic 2005]. تنضوي معظم هجمات حجب الخدمة في الإنترنت تحت واحد من الأصناف الثلاثة التالية:

- الهجوم باستهداف نقاط الضعف: يتضمن هذا الهجوم إرسال بضعة رسائل مصممة بشكلٍ جيد إلى تطبيق أو نظام تشغيل يعاني من نقاط ضعف يجري تشغيله على المضيف المستهدف. إذا تم إرسال التسلسل الصحيح من تلك الرزم إلى تطبيق أو نظام تشغيل ضعيف، فإنه يمكن إيقاف الخدمة، أو أسوأ من ذلك يمكن أن يتوقف المضيف عن العمل تماماً.
- هجوم فيضان الحيز الترددي: يرسل المهاجم فيضاناً من الرزم إلى المضيف المستهدف، بحيث يتم عرقلة وصلة الوصول الخاصة بالمضيف مما يمنع وصول الرزم الشرعية إليه.
- هجوم فيضان التوصيلات: ينشئ المهاجم عدداً كبيراً من توصيلات بروتوكول TCP مفتوحة بالكامل أو نصف مفتوحة لدى المضيف المستهدف (سنتناول توصيلات TCP في الفصل الثالث). يمكن أن يصبح المضيف محمّلاً جداً بهذه التوصيلات المزيفة بحيث يتوقف عن قبول توصيلات شرعية.

دعنا الآن نستكشف هجوم فيضان الحيز الترددي بشيء من التفصيل. من مناقشتنا لتحليل التأخير وفقد الرزم في الجزء 1-4-2، يتضح أنه إذا كان معدل وصول البيانات للخادم هو R بت/ثانية، فإن المهاجم سيحتاج لإرسال حركة مرور بمعدل R بت/ثانية تقريباً لكي يتمكن من إلحاق الضرر. فإذا كانت R كبيرة جداً، فإن مصدراً واحداً للهجوم لن يتمكن من توليد حركة مرور كافية لإيذاء الخادم. وعلاوة على ذلك إذا انبثقت حركة المرور من مصدر واحد، فإن موجّهاً في مدخل الشبكة قد يتمكن من اكتشاف الهجوم ومنع كل حركة المرور من ذلك المصدر قبل أن تقترب من الخادم. لهذا السبب يستخدم المهاجم أسلوب حجب الخدمة الموزّع (DDoS)، حيث يسيطر المهاجم على عدة مصادر (كما يتضح من الشكل 1-21) ويجعل كل مصدر يرسل سيلاً من حركة المرور إلى المضيف المستهدف. بهذه الطريقة يحتاج معدل حركة المرور الكلي عبر كل المصادر المشاركة في الهجوم أن يكون قريباً من R لشل الخدمة.



الشكل 1-21 هجوم موزّع لحجب الخدمة.

تعتبر هجمات DDoS التي تستخدم شبكات هجومية (botnets) تضم آلاف المضيفات المخترقة أمراً شائع الحدوث اليوم [Mirkovic 2005]. ويلاحظ أن هجمات حجب الخدمة الموزّعة تعتبر أصعب بكثير في اكتشافها والوقاية منها من هجوم مماثل من مضيف واحد.

ومرةً أخرى نشجعك على النظر في هذا السؤال بينما تشق طريقك عبر هذا الكتاب: ما الذي يمكن لمصممي شبكات الحاسب عمله للوقاية من هجمات حجب الخدمة؟ سنرى فيما بعد أن الأمر يحتاج إلى أساليب مختلفة من الدفاعات للتعامل مع الأنواع الثلاثة المذكورة من هجمات حجب الخدمة.

"التقاط" الرزم (Packet Sniffing)

يتواصل الكثير من مستخدمي الإنترنت اليوم مع الشبكة عن طريق أجهزة لاسلكية، كالحاسبات النقّالة الموصلة عن طريق شبكة WiFi أو الأدوات المحمولة باليد والمرتبطة عن طريق وصلات إنترنت خلوية (والتي سيتم تغطيتها في الفصل السادس). بينما يُعتبر الوصول للإنترنت من كل

مكان أمراً مريحاً وله العديد من التطبيقات الجديدة والرائعة للمستخدمين المتنقلين، إلا أنه للأسف يخلق أيضاً نقاط ضعف أمنية قد تشكل خطراً على الشبكة. بوضع مستقبِل سلبي على مقربة من مرسل لاسلكي، يمكن لذلك المستقبِل أن يحصل على نسخة من كل رزمة يتم إرسالها! ويمكن أن تتضمن تلك الرزم كل أنواع المعلومات الحسّاسة، بما في ذلك كلمات السر وأرقام الضمان الاجتماعي وأسراراً تجارية، ورسائل شخصية خاصّة. يُطلق علي أي مستقبِل سلبي يقوم بتسجيل نسخة من كل رزمة تمر من حوله "لاقط رزم".

كما تقدّم في الجزء 1-2، تقوم تقنيات الوصول السلكية أيضاً ببث الرزم، ومن ثم فهي عرضة للالتقاط أيضاً. لذا يمكن أن يعمل لاقط الرزم في البيئة السلكية أيضاً. ففي العديد من شبكات الإيثرنت المحلية بإمكان لاقط الرزم الحصول على نسخة من كل رزمة يتم إرسالها على الشبكة. علاوة على ذلك، بوسع شخص سيئ يتمكن من الوصول إلى موجّه أو وصلة الإنترنت الخاصة بمؤسسةٍ ما زرع برنامج لاقط رزم يقوم بعمل نسخة من كل رزمة بيانات تصل إلى المؤسسة أو تخرج منها. يتم بعد ذلك تحليل الرزم الملتقَطة بشكلٍ منفصل عن الإنترنت بحثاً عن المعلومات الحسّاسة.

تتوافر برامج التقاط الرزم مجاناً في مواقع الويب المختلفة وكمنتجات تجارية. بل لقد عُرف عن الأساتذة الذين يدرّسون مقررات عن الشبكات تخصيص تمارين مختبرات لكتابة برامج لالتقاط الرزم واستعادة البيانات في طبقة التطبيقات. في الواقع يستخدم مختبر Ethereal [Ethereal 2007] المصاحب لهذا الكتاب لاقط رزم من هذا النوع (انظر مختبر Ethereal التمهيدي في نهاية هذا الفصل).

ونظراً لأن برامج التقاط الرزم سلبية (أي أنها لا تحقن رزماً في قناة الاتصال) فإنه يصعب اكتشافها. لذلك فعندما نرسل الرزم على قناة لاسلكية، يجب أن نتقبل احتمال وجود شخص سيئ قد يسجّل نسخاً من رزمنا. ومن أفضل

طرق الحماية ضد التقاط الرزم (كما قد تكون توقعت) استخدام أسلوب التشفير، والذي سنتناوله مع علاقته بأمن الشبكات في الفصل الثامن.

انتحال شخصية آخرين ممن تأتمنهم

ستتكون لديك القناعة بعد قليل وأنت تشق طريقك عبر هذا الكتاب أنه من السهل جداً تكوين رزمة بقيم اختيارية لعنوان المصدر، ومحتوى الرزمة، وعنوان الوجهة، ثم إرسال تلك الرزمة المشكّلة يدوياً إلى الإنترنت، والتي ستقوم بواجبها خير قيام في توصيل الرزمة إلى وجهتها النهائية. تخيّل المستلم البريء (مثلاً موجّه على الإنترنت) الذي يتلقى مثل تلك الرزمة، ويأخذ عنوان المصدر الخطأ كما لو كان صحيحاً، وبعد ذلك ينفذ بعض الأوامر التي تضمّنتها محتويات الرزمة (كأن يعدّل في جداول التوجيه لديه). يطلق على القدرة على حقن الرزم إلى الإنترنت مع عنوان مصدر خاطئ تعبير تزييف العنوان IP) (spoofing، وهو مجرد واحد من عدة أساليب يمكن بواسطتها لمستخدم الإنترنت التنكر كمستخدمٍ آخر.

لحلّ هذه المشكلة سنحتاج لتطبيق أسلوب للتحقّق من هوية النقطة الطرفية، أي آلية تمكننا من التأكد بدقة مما إذا كانت الرسالة الواصلة لها نفس المنشأ الذي تدعيه. مرة أخرى نشجّعك على التفكير في كيفية تحقيق ذلك لتطبيقات وبروتوكولات الشبكة وأنت تتنقل بين فصول هذا الكتاب. سنستكشف الآليات المستخدمة للتحقّق من النقطة الطرفية في الفصل الثامن.

تعديل وحذف الرسائل

ننهي هذا الاستعراض القصير لهجمات الشبكة بوصف هجوم "رَجُل في الوسط" (man-in-the-middle attack). في هذا الصنف من الهجمات، يحشر الشخص السيئ نفسه على طريق الاتصال بين كيانين. دعنا نرمز لكياني الاتصال بأليس وبوب، والذي يمكن أن يكونا شخصين أو كيانين من كيانات الشبكة – كموجّهين أو خادمي بريد إلكتروني. يمكن أن يكون الشخص السيئ على سبيل المثال موجّهاً في طريق الاتصال، أو برنامجاً يستقر

على إحدى النهايتين الطرفيتين في طبقة منخفضة من رصة البروتوكولات. في هجوم "رجل في الوسط" يكون للشخص السيئ القدرة ليس فقط على التقاط كل الرزم التي تعبر بين بوب وأليس، ولكن أيضاً حقن وتعديل وحذف الرزم. في مفردات أمن الشبكات يمكن لهجوم الرجل في الوسط أن يؤثر على سلامة البيانات المرسلة بين أليس وبوب. كما سنرى في الفصل الثامن، فإن الآليات التي توفر السرية (الحماية ضد التقاط الرزم) وتوثيق النقطة الطرفية (التي تسمح للمستلم بالتحقق دون أدنى شك من هوية مرسل الرسالة) لا توفر بالضرورة سلامة البيانات. لذا فنحن بحاجة إلى مجموعة أخرى من التقنيات لتوفير سلامة البيانات.

في نهاية هذا الجزء، يجدر بنا أن نتأمل كيف أصبحت الإنترنت مكاناً غير آمن في المقام الأول. يكمن الجواب جوهرياً في أن الإنترنت صُمّمت أساساً لتكون كذلك، استناداً إلى نموذج "ربط مجموعة من المستخدمين تتوافر بينهم الثقة المتبادلة" [Blumenthal 2001]، وهو نموذج لا توجد فيه (من حيث التعريف) حاجة للأمن. إن العديد من سمات البنية الأصلية للإنترنت تعكس بجلاء هذا المفهوم للثقة المتبادلة. على سبيل المثال، فإن قدرة أي مستخدم على إرسال رزمة إلى أي مستخدم آخر هي القاعدة وليست الاستثناء الذي يُطلَب ويُمنَح. كما أن هوية المستخدم تُؤخذ على ظاهرها المُعلن، وليس على أساس أن القاعدة هي أن يتم التحقق منها.

غير أن إنترنت اليوم لا تقتصر بالتأكيد على "مستخدمين تتوافر بينهم الثقة المتبادلة". ومع ذلك فمستخدمو اليوم لايزالون بحاجة للاتصال رغم أنهم لا يأمن بعضهم بعضاً بالضرورة، وقد يرغبون في الاتصال بدون كشف هويتهم، وقد يتصلون بشكلٍ غير مباشر عبر طرف ثالث (مثلاً عن طريق ذاكرات الويب المخبأة (Web caches) والتي سندرسها في الفصل الثاني، أو وكلاء المساعدة لقابلية الحركة (Mobility-assisting agents) والتي سندرسها في الفصل السادس)، وقد يشكّون في العتاد أو البرمجيات أو حتى الهواء الذي يتصلون من خلاله. سنواجه العديد من التحديات المتعلقة بأمن

الشبكات كلما تقدمنا في هذا الكتاب، حيث يجب توفير دفاعات ضد التقاط الرزم، وضد انتحال شخصية نقطة طرفية، وضد هجوم رجل في الوسط، وضد هجوم حجب الخدمة الموزّع، وضد البرامج الخبيثة، وغيرها. وعلينا أن نتذكر أن الاتصال بين المستخدمين المؤتمنين بشكلٍ متبادل أصبح الآن الاستثناء وليس القاعدة، فمرحباً بك في عالم شبكات الحاسب العصرية!

7-1 تاريخ شبكات الحاسب والإنترنت

قدّمنا في الأجزاء من 1-1 إلى 1-6 استعراضاً لتقنية شبكات الحاسب والإنترنت. ويفترض أنك أصبحت الآن على إلمام كافٍ بالموضوع بشكلٍ عام. ومع ذلك، ولكي يكتمل لديك البعد التاريخي للصورة فإننا نستعرض هنا مقتطفات من التاريخ المثير لتطور الإنترنت [Segaller 1998].

1-7-1 تطور تحويل الرزم (الفترة 1961- 1972)

تعود بدايات تاريخ شبكات الحاسب وإنترنت اليوم إلى أوائل الستينيات من القرن الماضي، عندما كانت شبكة الهاتف هي شبكة الاتصالات العالمية المهيمنة. تذكّر أننا وضّحنا في الجزء 1-3 أن شبكة الهاتف تستخدم أسلوب تحويل الدوائر لنقل المعلومات من مرسل إلى مستقبل- وهو اختيار ملائم نظراً لأن الصوت يتم إرساله بمعدل ثابت بين المرسل والمستقبل. ونظراً للأهمية المتزايدة (والكلفة الباهظة) للحاسبات في أوائل الستينيات وظهور تقنية استخدامها بالمشاركة في الوقت، فقد كان من الطبيعي (على الأقل باستدراك متأخر مثالي!) التفكير في طريقة لتوصيل الحاسبات ببعضها لكي يتسنى الاشتراك في استعمالها بين عدة مستخدمين موزّعين جغرافياً. إن حركة المرور المتولدة من قِبَل مثل هؤلاء المستخدمين يغلب عليها أن تكون على فترات متقطعة من النشاط، مثلاً إرسال أمر إلى حاسب بعيد، تتبعه فترات خمول بينما ينتظر المستخدم إجابة أو يتأمّل الردّ الذي تسلّمه من الحاسب.

شرَعت ثلاث مجموعات بحث مستقلة في أنحاء مختلفة حول العالم، كل منها بمعزل عن الآخرين [Leiner 1998]، في تطوير تقنية تحويل رزم البيانات كبديل كفء وقوي لتحويل الدوائر. نُشِر أول بحث عن تقنيات تحويل رزم البيانات ليونارد كلينروك [Kleinrock 1961; Kleinrock 1964]، عندما كان طالب دراسات عليا في MIT. باستخدام نظرية طوابير الانتظار، أثبتت أبحاث كلينروك بشكلٍ رائع فعالية أسلوب تحويل رزم البيانات في حالة مصادر حركة المرور المتقطعة. في عام 1964 بدأ بول باران [Baran 1964] في معهد راند دراسة استعمال تحويل رزم البيانات للنقل الآمن للصوت على الشبكات العسكرية، وفي مختبر الفيزياء الوطني (NPL) في إنجلترا كان دونالد ديفيز وروجر سكانتلبري يطوّران أفكارهم أيضاً بخصوص تحويل رزم البيانات.

لقد وضعت تلك الأبحاث الثلاثة في MIT وRand وNPL حجر الأساس لإنترنت اليوم، ولكن للإنترنت أيضاً تاريخ طويل مع أسلوب "دعنا نبنيها ونثبت أنها تعمل" والذي يعود إلى الستينيات أيضاً. اضطلع جوزيف لكلايدر [DEC 1990] ولورانس روبرتس، وكلاهما زملاء لكلينروك في MIT، بقيادة برنامج لعلوم الحاسبات في وكالة مشاريع البحوث المتقدمة (ARPA) في الولايات المتحدة، كما نشر روبرتس خطة شاملة لشبكة أربانت (ARPAnet) [Roberts 1967]، وهي أول شبكة حاسب بتحويل الرزم وتعتبر سلفاً مباشراً لإنترنت اليوم. كانت محوّلات الرزم المبكرة تعرف بمعالجات رسائل الواجهات (IMPs)، وقد مُنح عقد تصنيعها لشركة BBN يوم عيد العمال في 1969. تم تركيب أول محوّل في جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس (UCLA) تحت إشراف كلينروك، وبعد ذلك بقليل تم تركيب ثلاثة محوّلات إضافية في معهد ستانفورد للأبحاث، وجامعة كاليفورنيا في سانتا باربرة، وجامعة يوتا (الشكل 1-22). تضمنت الشبكة الجديدة التي شكّلت بداية الإنترنت أربع عقد بنهاية عام 1969. يتذكّر كلينروك أول استعمال للشبكة لتحقيق اتصال عن بعد من UCLA إلى معهد ستانفورد للأبحاث، حين أدى ذلك إلى تعطل النظام [Kleinrock 2004].

الشكل 1-22 باحث الشبكات ليونارد كلينروك يقف أمام نموذج مبكر من معالجات رسائل الواجهات (IMPs) [Mark J. Terril, AP/Wide World Photos].

بحلول عام 1972 نمت شبكة أربانت لتضم حوالى 15 عقدة، وتم إجراء أول استعراض عملي عليها للجمهور بواسطة روبرت كاهن في مؤتمر 1972 الدولي عن اتصالات الحاسب. تم إنجاز أول بروتوكول مضيف إلى مضيف (طرف إلى طرف) للاستخدام بين أنظمة أربانت الطرفية، والذي عرف باسم بروتوكول التحكم في الشبكة (NCP) [RFC 001]. وبوجود بروتوكول طرف إلى طرف، أصبح من الممكن كتابة برامج التطبيقات. قام راي توملينسون في شركة BBN بكتابة أول برنامج للبريد الإلكتروني في عام 1972.

1-7-2 الشبكات ذات الملكية الخاصة، والتوصيل ما بين الشبكات (الفترة 1972 – 1980)

كانت شبكة أربانت شبكة واحدة ومغلقة. ولكي تستطيع الاتصال بأحد مضيفات الشبكة كان لزاماً عليك أن تكون موصلاً بالفعل بإحدى معالجات رسائل الواجهة (IMP) على الشبكة. في أوائل السبعينيات وحتى

منتصفها بدأت شبكات جديدة ومستقلة لتحويل الرزم تظهر إلى حيز الوجود جنباً إلى جنب مع شبكة أربانت:

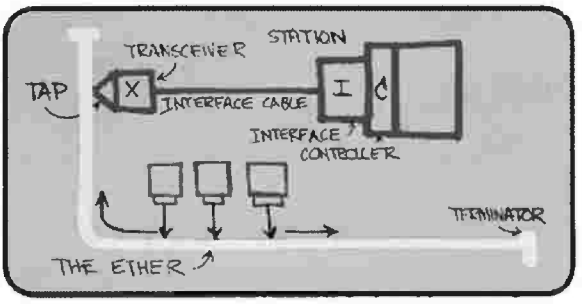
- شبكة ألوهانت ALOHAnet: شبكة مايكروويف تربط الجامعات على جزر ولاية هاواي [Abramson 1970]، بالإضافة إلى شبكات الرزم للأقمار الصناعية (packet satellite) [RFC 829] وشبكات رزم الراديو (packet radio networks) التابعة لوكالة مشاريع البحوث المتطورة للدفاع (DARPA) [Kahn 1978].
- شبكة تيلنت Telenet: شبكة BBN تجارية لتحويل الرزم مبنية على أساس تقنية أربانت.
- شبكة سيكليدز Cyclades: شبكة فرنسية لتحويل الرزم من تطوير لويس بوزين [Think 2007].
- شبكات المشاركة في الوقت: مثل Tymnet وشبكة GE لخدمات المعلومات وغيرها في أواخر الستينيات وأوائل السبعينيات [Schwartz 1977].
- شبكة SNA من IBM (1969-1974): وقد تزامنت بالتوازي مع أعمال تطوير شبكة أربانت [Schwartz 1977].

ومع تزايد عدد الشبكات يمكن أن ندرك بأن الوقت كان قد حان لتطوير بنية عامة لتوصيل الشبكات ببعضها. قام كل من فينتون سيرف وروبرت كاهن [Cerf 1974] بالعمل الرائد لربط الشبكات (بدعم مالي من وكالة DARPA، والذي كان يهدف أساساً لتكوين شبكة من الشبكات، وتم صياغة المصطلح الجديد internetting لوصف هذا العمل.

لقد تم تجسيد تلك المبادئ المعمارية الجديدة في بروتوكول التحكم في الإرسال (TCP). ومع ذلك فقد كانت الإصدارات المبكّرة من بروتوكول TCP مختلفة كثيراً عن TCP الذي نعرفه اليوم. جمعت تلك الإصدارات الأولى بين نظام موثوق لنقل البيانات بالترتيب عن طريق إعادة الإرسال بين الأنظمة

الطرفية (والذي لا يزال يمثل جزءاً من TCP اليوم) ووظائف التوجيه (والتي تؤدى اليوم من خلال بروتوكول IP). أدت التجارب الأولى على بروتوكول TCP والقناعة بأهمية وجود خدمة نقل من طرف إلى طرف غير موثوقة وبدون تحكم في التدفق لاستخدامه في التطبيقات من نوع إرسال الصوت على شكل رزم، إلى فصل بروتوكول IP عن بروتوكول TCP وتطوير بروتوكول جديد هو UDP. وبذلك كانت بروتوكولات الإنترنت الرئيسية الثلاثة التي نعرفها اليوم (TCP وUDP وIP) في مكانها من حيث المفهوم بحلول نهاية السبعينيات.

بالإضافة إلى أبحاث DARPA المتعلقة بالإنترنت، شهدت تلك الفترة العديد من النشاطات المهمة الأخرى لربط الشبكات. ففي ولاية هاواي كان نورمان أبرامسون يطوّر شبكة الراديو ALOHAnet المعتمدة على نقل الرزم للسماح لعدة مواقع متباعدة على جزر هاواي من الاتصال مع بعضها البعض. كان بروتوكول ALOHA [Abramson 1970] أول بروتوكول للوصول المتعدّد يسمح للمستخدمين الموزّعين جغرافياً بالاشتراك في وسط اتصالات إذاعي واحد (عبر ترددات الراديو). بعد ذلك اعتمد ميتكالف وبوجز على بروتوكول أبرامسون للوصول المتعدد في تطوير نظام الإيثرنت [Metcalfe 1976] لشبكات إذاعة مشتركة أساسها السلك (انظر الشكل 1-23). من المثير للانتباه أن الدافع لتطوير بروتوكول الإيثرنت بواسطة ميتكالف وبوجز كان الحاجة لتوصيل عدة حاسبات شخصية وطابعات وأقراص تخزين مشتركة [Perkins 1994]. أي أنه منذ ثلاثين سنة مضت ـ أي قبل ثورة الحاسب الشخصي وانفجار الشبكات ـ كان ميتكالف وبوجز يضعان الأساس لشبكات الحاسب الشخصي المحلية المعروفة اليوم. لعبت تقنية الإيثرنت دوراً مهماً كذلك في تربيط الشبكات (Internetworking). وبزيادة عدد تلك الشبكات المحلية وانتشارها أصبحت الحاجة ملحّة لتربيط تلك الشبكات مع بعضها البعض بصورة متزايدة. سنتناول الإيثرنت وALOHA وغيرها من تقنيات الشبكات المحلية الأخرى بالتفصيل في الفصل الخامس.



الشكل 1-23 تصوّر "ميتكالف" المبدئي للإيثرنت.

3-7-1 انتشار الشبكات (الفترة 1980-1990)

بحلول نهاية السبعينيات كان هناك حوالي مائتي مضيف موصلين بشبكة ARPAnet. وفي نهاية الثمانينيات قفز عدد المضيفات الموصلة بالإنترنت العامة (وهي اتحاد من الشبكات يشبه إلى حدٍّ كبير إنترنت اليوم) ليصل إلى مائة ألف. ومن ثم شهدت فترة الثمانينيات نمواً هائلاً.

نتج الجزء الأكبر من ذلك النمو من عدة جهود محددة لإنشاء شبكات للحاسب تربط الجامعات مع بعضها. كما وفرت شبكة BITNET خدمات البريد الإلكتروني ونقل الملفات بين عدة جامعات في شمال شرق الولايات المتحدة، كما تم إنشاء شبكة CSNET (شبكة علوم الحاسبات) لربط باحثي الجامعات الذين ليس لديهم طريقة للوصول لشبكة أربانت. وفي عام 1986 تأسست شبكة مؤسسة العلوم القومية NSFNET لتوفير وصول إلى مراكز الحاسبات الكبرى المدعومة من قبل المؤسسة. بدأت الشبكة بسرعة عمود فقري مقدارها 56 كيلوبت/ثانية وارتفعت لتبلغ 1.5 ميجابت/ثانية في نهاية العقد حيث أصبحت الشبكة بمثابة عمود فقري أساسي لربط الشبكات الإقليمية.

في مجموعة أربانت كانت العديد من القطع النهائية تأخذ مكانها لتشكل بنية الإنترنت كما نعرفها اليوم. شهد الأول من يناير(كانون الثّاني) عام 1983 التدشين الرسمي لطقم البروتوكول TCP/IP كبروتوكول المضيف المعياري الجديد لشبكة ARPAnet (ليحل محل بروتوكول NCP). كان يوم الانتقال [RFC 801] من NCP إلى TCP/IP حدثاً هاماً، حيث تعين على المضيفات على الشبكة التحول إلى TCP/IP ابتداء من ذلك اليوم. في أواخر الثمانينيات، تم إدخال إضافات مهمة على TCP لتوفير تحكم في الازدحام أساسه المضيف [Jacobson 1988]، كما تم أيضاً تطوير بروتوكول DNS [RFC 1034] للتحويل مابين أسماء مواقع الإنترنت (بصيغتها السهلة للتعامل البشري مثل gaia.cs.urnass.edu) والعنوان الرقمي المناظر بطول 32 بت على الشبكة.

بالتوازي مع أعمال تطوير أربانت (والتي كانت في الغالب جهوداً أمريكيةً)، أطلق الفرنسيون في أوائل الثمانينيات مشروع Minitel، والذي كان بمثابة خطة طموحة لجلب شبكة البيانات إلى كل منزل. شمل نظام Minitel المدعوم من قِبَل الحكومة الفرنسية شبكة عامة لتحويل الرزم (مستندة على طقم البروتوكولات X.25)، وخادمات Minitel، ومحطات طرفية رخيصة بمودمات مدمجة ذات سرعة منخفضة. حقق مشروع Minitel نجاحاً عظيماً في عام 1984 عندما منحت الحكومة الفرنسية محطة طرفية Minitel مجاناً لكل عائلة فرنسية ترغب في ذلك. تضمنت شبكة Minitel مواقع مجانية كموقع دليل الهاتف، بالإضافة إلى مواقع خاصة توفر خدماتها نظير رسوم تعتمد على حجم التعامل. وفي أوج انتشاره في منتصف التسعينيات كان النظام يوفر أكثر من 20 ألف خدمة تتراوح من التعاملات البنكية من المنازل إلى قواعد بيانات بحث متخصصة، وكان النظام يُستخدم من قِبَل 20٪ من سكان فرنسا، حيث ولّد دخلاً تجاوز بليون دولار أمريكي كل سنة، ووفر 10 آلاف وظيفة. وجد نظام Minitel طريقه إلى نسبة كبيرة من المنازل الفرنسية لفترة عشرة سنوات قبل أن يسمع أكثر الأمريكان عن الإنترنت.

4-7-1 انفجار الإنترنت (فترة التسعينيات)

شهدت التسعينيات من القرن الماضي عدة أحداث جسدت التطور المستمر للإنترنت وبشرت بقرب الاستخدام التجاري لها. لقد اختفت شبكة ARPAnet (سلف الإنترنت) من الوجود، ونمت الشبكة العسكرية MILNET وشبكة البيانات الدفاعية في الثمانينيات لتحمل أغلب حركة مرور وزارة الدفاع الأمريكية، وبدأت شبكة المؤسسة القومية للعلوم NSFNET في العمل كعمود فقري يوصل شبكات إقليمية في الولايات المتحدة وشبكات وطنية في الخارج. في عام 1991 رفعت شبكة NSFNET قيودها على استخدام الشبكة للأغراض التجارية. وفي عام 1995 تم إحالة شبكة NSFNET نفسها إلى التقاعد حيث تولى موفرو خدمة الإنترنت التجاريين نقل حركة المرور على العمود الفقري للإنترنت.

ومع ذلك فقد كان الحدث الرئيسي في التسعينيات ظهور تطبيق شبكة الويب العالمية ((World Wide Web (WWW) الذي جلب الإنترنت إلى المنازل والأعمال التجارية للملايين من البشر في مختلف أنحاء العالم. عمل الويب كمنصة لتمكين ونشر المئات من التطبيقات الجديدة التي نعتبرها الآن شيئاً مفروغاً منه. للاطلاع على تاريخ مختصر للأيام الأولى للويب راجع [W3C 1995].

تم اختراع الويب في معامل المنظمة الأوربية للبحوث النووية (CERN) بسويسرا من قِبَل تيم بيرنرز - لي [Berners-Lee 1989] في الفترة ما بين 1989 و1991، مستنداً على أفكار فانيفار بوش عن النص التشعبي (hypertext) في الأربعينيات [Bush 1945] وتيد نيلسن في الستينيات [Xanadu 2007]. طوّر تيم بيرنرز- لي وشركاه الإصدارات الأولية من لغة HTML وبروتوكول HTTP وخادم ويب وبرنامج تصفّح ـ أي المكونات الأربعة الرئيسية للويب. باقتراب نهاية 1992 كان هناك حوالي مائتي خادم ويب موصل بالإنترنت، ومع ذلك فإن هذه المجموعة من الخادمات لم تكن سوى بشائر لما كانت تحمله الأيام

القادمة. في غضون ذلك الوقت كان هناك عدد من الباحثين يطوّرون متصفحات ويب بواجهات مستخدم رسومية (GUI)، من بينهم مارك أندرسين الذي قاد عملية تطوير المتصفح الشهير موزايك (Mosaic). وفي 1994 أسس مارك أندرسين وجيم كلارك شركة Mosaic Communications والتي أصبحت فيما بعد Netscape Communications Coportation [Cusumano 1998; Quittner 1998]. بحلول عام 1995 كان طلاب الجامعات يستخدمون متصفّحات نيتسكيب وموزايك لتصفّح الويب بشكلٍ يومي. وقريباً من ذلك الوقت كانت الشركات الصغيرة والكبيرة قد بدأت في تشغيل خادمات الويب والقيام بأعمال تجارية على الويب. ففي عام 1996، بدأت شركة مايكروسوفت في إنتاج المتصفّحات، مما أشعل حرب المتصفّحات بين نيتسكيب ومايكروسوفت، والتي ربحتها مايكروسوفت بعد سنوات قليلة [Cusumano 1998].

كان النصف الثاني من التسعينيات فترة نمو وإبداع هائلين للإنترنت، حيث قامت الشركات الكبيرة وآلاف من الشركات البادئة بتطوير العديد من منتجات وخدمات الإنترنت. تواصل تطور تطبيقات بريد الإنترنت الإلكتروني، حيث ظهرت برامج لقراءة البريد غنية بالمزايا كدفاتر العناوين والتعامل مع الملحقات والروابط التشعبية ونقل مواد الوسائط المتعددة. وبحلول نهاية الألفية الثانية كانت الإنترنت تدعم المئات من التطبيقات المشهورة، بما في ذلك التطبيقات الأربعة التالية التي اكتسحت الساحة:

- البريد الإلكتروني، بما في ذلك الملحقات وبريد الويب الإلكتروني لتسهيل الوصول.
- الويب، بما في ذلك تصفّح الويب وتجارة الإنترنت.
- الرسائل الفورية بقوائم الاتصال من ابتكار شركة ICQ
- مشاركة النظائر لملفات MP3 من ابتكار شركة Napster.

ومما يثير الانتباه أن التطبيقين الأولين جاءا من العاملين في مجال الأبحاث، بينما قام بتطوير الأخيرين بضعة رجال أعمال شباب.

كانت الفترة من عام 1995 إلى عام 2001 فترة تقلبات سريعة للإنترنت في الأسواق المالية. حتى قبل أن تحقق أرباحاً، طرحت مئات شركات الإنترنت البادئة أسهمها لأول مرة للجمهور وبدأ تداولها بسوق الأسهم المالية. قُيّمت العديد من الشركات ببلايين الدولارات بدون امتلاك أي موارد ذات قيمة للعائدات. انهارت أسهم الإنترنت المالية في العامين 2000 و2001 وأُغلقت العديد من الشركات البادئة. وعلى الرغم من ذلك فقد خرج عدد من الشركات كفائزين كبار في مجال الإنترنت، من بينها مايكروسوفت وسيسكو وياهوو وإي- باي، وجوجل، وأمازون.

5-7-1 التطورات الحديثة

يتواصل الإبداع في شبكات الحاسب بخطى سريعة. حيث تشهد الفترة الأخيرة تقدماً على كل الجبهات، بما في ذلك انتشار التطبيقات الجديدة وتوزيع المحتوى وهاتف الإنترنت والإرسال بسرعات أعلى في الشبكات المحلية وتطوير موجّهات أسرع. لكن هناك ثلاثة مجالات للتطور تستحق انتباها خاصاً: انتشار شبكات الوصول السريع (بما في ذلك الوصول اللاسلكي) وأمن الشبكات وشبكات النظائر.

كما ذكرنا في الجزء 1-2 مهّد الطلب المتزايد للوصول السكني بحيز ترددي عريض بالإنترنت عن طريق مودم الكبل وDSL لمجموعة ثرية من التطبيقات الجديدة للوسائط المتعددة، بما في ذلك: الصوت والفيديو على IP [Skype 2007] والاشتراك في أفلام الفيديو [YouTube 2007] والتلفزيون على IP [PPLive 2007]. إن الانتشار المتزايد لشبكات WiFi العامة السريعة (11 ميجابت/ثانية أو أعلى) والوصول للإنترنت عن طريق شبكات الهاتف الخلوي بسرعة متوسطة (مئات الكيلوبتات/ثانية) لا يسهّل فقط بقاء المستخدم موصلاً بالإنترنت بشكلٍ دائم، ولكن أيضاً يمكّن لمجموعة جديدة ومثيرة من الخدمات المتعلقة بمواقع معينة. سنغطي الشبكات اللاسلكية وقابلية الحركة في الفصل السادس.

في أعقاب سلسلة من هجمات حجب الخدمة على خادمات الويب البارزة في أواخر التسعينيات وانتشار هجمات الدودة (كدودة Blaster)، أصبح أمن الشبكات موضوعاً في غاية الأهمية. أدّت تلك الهجمات إلى تطوير أنظمة لاكتشاف محاولات الاختراق، وتوفير إنذار مبكّر قبل الهجوم وبرامج حماية (firewalls) تقوم بترشيح حركة المرور واستبعاد غير المرغوب منها قبل أن يدخل الشبكة. سنغطّي عدداً من المواضيع الهامة المتعلقة بأمن الشبكات في الفصل الثامن.

أما الإبداع الأخير الذي نوليه عناية خاصة هنا فهو شبكات النظائر (P2P). تستغل شبكات النظائر الموارد المتوفرة في حاسبات المستخدمين كوحدات التخزين، والمحتوى، وخطوات التنفيذ بوحدات المعالجة المركزية، والحضور البشري، لتحقيق استقلال ذاتي مهم عن الخادمات المركزية على الشبكة. عادةً ما يكون توصيل المستخدمين (وبمعنى آخر النظائر) بشكلٍ متقطّع. كان هناك العديد من قصص نجاح شبكات النظائر في السنوات القليلة الماضية، بما في ذلك مشاركة الملفات (Napster وKazaa وGnutella وeDonkey وLimeWire، إلخ)، وتوزيع الملفات (BitTorrent)، وهاتف الإنترنت (Skype)، وتلفزيون الإنترنت (PPLive وppStream). سنتناول العديد من تطبيقات شبكات النظائر هذه في الفصل الثاني.

8-1 الخلاصة

تناولنا في هذا الفصل كمية هائلة من المادّة العلمية! استعرضنا المكونات المختلفة من العتاد والبرامج التي تكوّن الإنترنت بشكلٍ خاص وشبكات الحاسب عموماً. بدأنا على حافة الشبكة، حيث ألقينا نظرةً على الأنظمة والتطبيقات الطرفية وعلى خدمات نقل البيانات التي توفّرها الشبكة للتطبيقات التي تشغّلها تلك الأنظمة الطرفية. تناولنا أيضاً تقنيات طبقة ربط البيانات وأوساط التوصيل المادية التي تستخدم عادةً في شبكة الوصول. بعد ذلك دلفنا بعمق أكثر داخل الشبكة باتجاه القلب، حيث تعرفنا على تحويل رزم البيانات وتحويل الدوائر كأسلوبين أساسيين لنقل البيانات خلال شبكة اتصال،

واستعرضنا نقاط القوة والضعف لكلٍّ منهما. تناولنا بعد ذلك تركيب الإنترنت العالمية حيث عرفنا أن الإنترنت هي شبكة من الشبكات، ورأينا أن هيكل الإنترنت الهرمي الذي يضم موفري خدمة الإنترنت من الطبقات العليا والدنيا قد مكّنها من التوسع لتضم آلاف الشبكات.

في الجزء الثاني من هذا الفصل التمهيدي، تناولنا عدة مواضيع أساسية في مجال شبكات الحاسب. استعرضنا أولاً أسباب التأخير، ثم فقد الرزم، والطاقة الإنتاجية في شبكة تحويل الرزم. طوّرنا بعد ذلك نماذج كمية بسيطة للتأخير المتعلق بالإرسال، والانتقال، وصفوف الانتظار، وكذلك الطاقة الإنتاجية، وسنستخدم نماذج التأخير في صفوف الانتظار بشكلٍ مكثف في تمارين الواجب المنزلي في كافة أجزاء هذا الكتاب. بعد ذلك درسنا طبقات البروتوكولات ونماذج الخدمة المرتبطة بها، وشرحنا المبادئ الأساسية للبنية المعمارية للشبكات، والتي سنشير إليها بعد ذلك في مختلف أنحاء الكتاب. استعرضنا أيضاً بعض أنواع الهجمات الأمنية الأكثر انتشاراً في إنترنت اليوم. وأخيراً ختمنا مقدمتنا عن الشبكات بتاريخ مختصر لشبكات الحاسب.

يعتبر الفصل الأول في حدِّ ذاته مقرراً مصغراً في شبكات الحاسب، فقد غطينا كماً كبيراً من المواضيع الأساسية في هذا الفصل! وإذا كنت تشعر بشيء من الارتباك إزاء هذا الكم الهائل من المعلومات فلا تقلق!، ففي الفصول التالية سنزور كل هذه الأفكار من جديد لنغطيها بتفصيل أكثر. الآن نتمنى فقط أن تغادر هذا الفصل بحسٍ متنامٍ للأجزاء التي تكوّن شبكة، وبرغبة مستمرة في تحسين استيعابك لمفردات الشبكات، وبهمة متزايدة دوماً للتعلم أكثر عن الشبكات. تلك هي المهمة الملقاة على عاتقنا في الجزء الباقي من هذا الكتاب، ولكن لا تتردد في الرجوع إلى هذا الفصل في أي وقت.

خارطة محتويات هذا الكتاب

قبل بدء أي رحلة عليك دائماً أن تلقي نظرة على الخارطة لكي تتعرف على الطرق والتقاطعات الرئيسة التي ستتعامل معها خلال الرحلة. في رحلتنا التي نحن

بصدد بدئها مع هذا الكتاب، وجهتنا النهائية هي فهم عميق لـ: ماذا وكيف ولماذا شبكات الحاسب. خارطتنا في هذه الرحلة هي سلسلة فصول هذا الكتاب:

1- شبكات الحاسب والإنترنت
2- طبقة التطبيقات
3- طبقة النقل
4- طبقة الشبكة
5- طبقة ربط البيانات والشبكات المحلية
6- الاتصال اللاسلكي وقابلية الحركة
7- شبكات الوسائط المتعددة
8- أمن شبكات الحاسب
9- إدارة الشبكة

تعتبر الفصول من الثانى إلى الخامس الفصول الأربعة الرئيسة في هذا الكتاب. ستلاحظ أن هذه الفصول مهيكلة حول الطبقات الأربعة العليا من رصة بروتوكولات الإنترنت ذي الطبقات الخمس، أي بمعدل فصل واحد عن كل طبقة. لاحظ أيضاً أن رحلتنا ستبدأ في قمة رصة بروتوكولات الإنترنت أي طبقة التطبيقات، ثم نتجه لأسفل خلال رصة البروتوكولات. السبب الجوهري وراء قطع الرحلة من أعلى إلى أسفل وليس العكس هو أنه عندما نفهم التطبيقات سيكون بوسعنا فهم خدمات الشبكة اللازمة لدعم تلك التطبيقات. بعد ذلك سيمكننا بالتالي فحص الطرق المختلفة التي يمكن بها إنجاز مثل تلك الخدمات من قِبَل البنية المعمارية للشبكة، وبهذا تكون تغطية التطبيقات في البداية حافزاً لمتابعة بقية فصول الكتاب.

يركّز النصف الثاني من فصول الكتاب، أي من الفصل السادس إلى الفصل التاسع على أربعة مواضيع مهمة جداً (ومستقلة إلى حدٍّ ما) في شبكات الحاسب الحديثة. ففي الفصل السادس نتناول الشبكات اللاسلكية وقابلية

الحركة، بما ذلك الشبكات المحلية اللاسلكية (ومنها WiFi، وWiMAX، وBluetooth)، وشبكات الهاتف الخلوي (ومنها GSM)، وقابلية الحركة في كلٍّ من شبكات IP وشبكات GSM. وفي الفصل السابع (شبكات الوسائط المتعددة) نتناول تطبيقات الصوت والفيديو، كهاتف الإنترنت، ومؤتمرات الفيديو، وتشغيل مواد الوسائط المتعددة المخزّنة. سندرس أيضاً كيف يمكن تصميم شبكة لتحويل الرزم لتقديم مستوى متسق من جودة الخدمة لتطبيقات الصوت والفيديو. وفي الفصل الثامن (أمن الشبكات) نتناول أساسيات التشفير وأمن الشبكات لكي نرى كيف تُطبّق النظرية الأساسية في تشكيلة واسعة من سياقات الإنترنت. أما الفصل الأخير (إدارة الشبكات) فيتناول القضايا الرئيسية في إدارة الشبكات بالإضافة إلى بروتوكولات الإنترنت الأساسية المستخدمة لذلك.

أسئلة وتمارين وتدريبات الفصل الأول

❖ أسـئلة مراجعة

• الجزء 1-1

1. ما الفرق بين المضيف والنظام الطرفي؟ اذكر الأنواع المختلفة من الأنظمة الطرفية. هل خادم الويب نظام طرفي؟
2. تُستخدم كلمة "بروتوكول" كثيراً لوصف العلاقات الدبلوماسية. اعط مثالاً لبروتوكول دبلوماسي.

• الجزء 1-2

3. ما هو برنامج الزبون؟ ما هو برنامج الخادم؟ هل يقوم برنامج الخادم بطلب الخدمات من برنامج الزبون وإرسالها إليه؟
4. اذكر ستة أنواع من تقنيات الوصول. صنِّف كل نوعٍ منها كوصول سكني، وصول من الشركات/المؤسسات، أو وصول نقّال.
5. هل معدل الإرسال في شبكات الوصول الهجينة HFC مخصص لكل مستخدم على حدة، أم مشترك بين المستخدمين جميعاً؟ هل من الممكن حدوث الاصطدامات على وصلة HFC النازلة من الإنترنت؟ علل إجابتك.
6. اذكر تقنيات الوصول المتاحة في مدينتك. لكل نوع من تقنيات الوصول، اذكر المعدلات المعلنة في الاتجاه النازل من الإنترنت والصاعد إليها، وكذلك الرسوم الشهرية للخدمة.
7. ما هو معدل الإرسال على شبكة الإيثرنت المحلية؟ لمعدل إرسال معيّن، هل بوسع كل مستخدم على الشبكة الإرسال بشكلٍ مستمر بهذا المعدل؟
8. اذكر بعض الوسائط المادية التي يمكن أن تستخدمها الإيثرنت.
9. تستخدم شبكات الوصول السكني المودمات الهاتفية، وشبكات HFC الهجينة، وخطوط DSL. لكل واحدة من تقنيات الوصول تلك، اذكر المدى المتاح لمعدلات التردد، ووضح ما إذا كان معدل الإرسال مشترك بين المستخدمين أم مخصص لكل مستخدم على حدة.
10. صف أكثر تقنيات الوصول للإنترنت شيوعاً هذه الأيام، ثم قارن بين تلك التقنيات.

- **الجزء 1-4**

11. ما الميزة التي تتمتع بها شبكة تحويل الدوائر مقارنةً بشبكة تحويل الرزم؟ في شبكة بتحويل الدوائر، ما ميزة الإرسال المتعدد بتقسيم الوقت (TDM) على الإرسال المتعدد بتقسيم التردد (FDM)؟
12. لماذا يُقال: إنّ تحويل الرزم يتضمن إرسالاً متعدداً إحصائياً؟ قارن بين الإرسال المتعدد الإحصائي والإرسال المتعدد بتقسيم التردد (FDM).
13. افترض أن هناك محوّل رزم واحد بين مضيف مرسل ومضيف مستقبل. معدل الإرسال بين المضيف المرسل والمحوّل هو R_1 وبين المحوّل والمضيف المستقبل هو R_2 افترض أن المحوّل يستخدم تحويل الرزم بأسلوب "تخزين ثم إرسال"، ما هو التأخير الكلي من طرف إلى طرف لإرسال رزمة طولها L بتاً (اهمل تأخير الانتظار في الصف، وتأخير الانتقال، وتأخير المعالجة).
14. ما الفرق الأساسي الذي يميِّز بين موفر خدمة إنترنت من الطبقة-1 وآخر من الطبقة-2؟
15. افترض أن عدة مستخدمين يشتركون في وصلة لها معدل إرسال قدره 2 ميجابت/ثانية. افترض أيضاً أن كل مستخدم يرسل فقط أثناء 20٪ من الوقت. (انظر المناقشة حول الإرسال المتعدد الإحصائي في الجزء 1-3).
    a. كم عدد المستخدمين الذين يمكن استيعابهم باستخدام تحويل الدوائر؟
    b. لبقية السؤال، افترض استخدام تحويل الرزم. لماذا لن يكون هناك تأخير انتظار في الصف قبل الوصلة إذا قام اثنان أو أقل من المستخدمين بالإرسال في نفس الوقت؟ لماذا سيكون هناك تأخير انتظار في الصف إذا قام ثلاثة مستخدمين بالإرسال في نفس الوقت؟
    c. احسب احتمال قيام مستخدم بعينه بالإرسال.
    d. افترض الآن أن هناك ثلاثة مستخدمين. احسب احتمال قيام المستخدمين الثلاثة في وقت معين بالإرسال معاً. احسب الجزء من الوقت الذي تأخذ فيه أطوال صفوف الانتظار في الازدياد.

- **الجزء 1-3**

16. خذ في الاعتبار رزمة تنتقل من مصدر مضيف إلى مصدر وجهة عبر مسار ثابت. اذكر مكوّنات التأخير من طرف إلى طرف. أي تلك المكونات ثابت وأيها متغير؟

17. قم بتجريب برنامج جافا التفاعلي الخاص بالمقارنة بين تأخير الإرسال وتأخير الانتقال (Transmission Versus Propagation Delay) على موقع الويب المصاحب لهذا الكتاب. من بين معدلات الإرسال، وتأخير الانتقال، وأطوال الرموز، أوجد التبديلة التي تضمن أن ينتهي المرسِل من الإرسال قبل أن يصل أول بت من الرزمة إلى المستقبل. أوجد تبديلة أخرى تصل فيها أول بت من الرزمة إلى المستقبل قبل أن ينتهي المرسل من الإرسال.

18. كم يستغرق انتقال رزمة طولها 1000 بايت عبر وصلة طولها 2500 كم، بمعدل إرسال 2 ميجابت/ثانية، وسرعة انتقال 2.5×10^8 متر/ثانية؟ بشكلٍ أكثر عموماً، كم يستغرق انتقال رزمة طولها L عبر وصلة طولها d، بمعدل إرسال R، وسرعة انتقال s متر/ثانية؟ هل يعتمد هذا التأخير على طول الرزمة؟ هل يعتمد هذا التأخير على معدل الإرسال؟

19. افترض أن مضيف A يريد إرسال ملف كبير إلى مضيف B. يتكون المسار من A إلى B من ثلاث وصلات لها معدلات الإرسال: R_1 = 500 كيلوبت/ثانية، R_2 = 2 ميجابت/ثانية، R_3 = 1 ميجابت/ثانية.

a. بافترض عدم وجود أي حركة مرور بيانات أخرى في الشبكة، ما هي الطاقة الانتاجية لنقل الملف؟

b. افترض أن الملف يتكون من 4 مليون بايت. كم من الوقت سيستغرق إرسال الملف إلى مضيف B؟

c. كرر (a) و (b) أعلاه، ولكن مع تقليل R_2 إلى 100 كيلوبت/ثانية.

20. افترض أن نظاماً طرفياً A يريد إرسال ملف كبير إلى نظام طرفي B. على مستوى عالٍ جداً اشرح كيف يقوم النظام A بتكوين رزم من الملف. عندما تصل رزمة من الملف إلى محوّل رزم، أي المعلومات الموجودة في الرزمة سيستخدمها المحوّل لتحديد الوصلة الخارجة التي سيمرر الرزمة إليها؟ لماذا يشبه تحويل الرزم في الإنترنت قيادة سيارة من مدينة إلى أخرى مع الاسترشاد بالاتجاهات على الطريق؟

21. قم بتجريب برنامج جافا الخاص بالانتظار في الصفوف والفقد (Queuing and Loss) على موقع الويب المصاحب لهذا الكتاب. ما هو أقصى معدل للبث (emission rate) وأقل معدل للإرسال (transmission rate)؟ عند هذين المعدلين، ماهي كثافة حركة مرور البيانات؟ قم بتشغيل البرنامج بتلك المعدلات وحدد الوقت اللازم لكي يبدأ الفقد في الرزم. كرر التجربة مرة أخرى وحدّد من جديد الوقت اللازم لكي يبدأ الفقد في الرزم. هل النتائج مختلفة؟ علل إجابتك.

- **الجزء 1-5**

22. اذكر خمس مهام يمكن أن تقوم بها طبقة من طبقات البروتوكول. هل يمكن أن تقوم طبقتان (أو أكثر) بتنفيذ مهمة (أو أكثر) من تلك المهام؟
23. ما هي الطبقات الخمس في رصة بروتوكول الإنترنت؟ ماهي المسئوليات الرئيسة التي تضطلع بها كل طبقة؟
24. ما هي: رسالة طبقة التطبيقات؟ قطعة طبقة النقل؟ وحدة بيانات طبقة الشبكة؟ إطار طبقة ربط البيانات؟
25. أي طبقة من طبقات رصة بروتوكول الإنترنت تتم معالجتها في الموجّه؟ أي طبقة يعالجها محول طبقة الوصلة؟ أي طبقة يعالجها المضيف؟

- **الجزء 1-6**

26. ما الفرق بين الفيروس، والدودة، وحصان طروادة؟
27. صف كيف يمكن إنشاء شبكة روبوت (botnet)، وكيف يمكن استخدامها لعمل هجوم موزّع لحجب الخدمة.
28. افترض أن أليس وبوب يتبادلان الرزم عبر شبكة حاسب. افترض أن ترودي تحشر نفسها في الشبكة في موضع بحيث تستطيع التقاط كل الرزم التي ترسلها أليس وترسل ما تشاء إرساله إلى بوب؛ كما يمكنها أيضاً التقاط كل الرزم التي يرسلها بوب وترسل ما تشاء إرساله إلى أليس. اذكر بعض الأشياء الخبيثة التي يمكن لترودي القيام بها من ذلك الموقع.

❖ تدريبات

1. قم بتصميم ووصف بروتوكول على مستوى التطبيقات يمكن استخدامه بين ماكينة صراف آلي والحاسب المركزي لبنك. يجب أن يسمح بروتوكولك بالتحقق من الرقم السري لبطاقة المستخدم، وبعملية الاستفسار عن الرصيد في الحساب (والذي يحتفظ به الحاسب المركزي)، وكذلك بعملية سحب نقدي (أي صرف النقود للمستخدم). يجب أن تتعامل أجزاء البروتوكول مع الحالة المشهورة عندما لا يتوافر بالماكينة أموال كافية لتغطية السحب المطلوب. حدد البروتوكول بسرد الرسائل التي يتم تبادلها والإجراءات التي يقوم بها كلٌ من الحاسب المركزي وماكينة الصرف الآلي عند تلقّي تلك الرسائل. وضّح طريقة عمل البروتوكول في حالة عدم وجود أخطاء مستعيناً برسم

يشبه الشكل 1-2. اذكر بالتحديد الافتراض الذي يفترضه البروتوكول بخصوص خدمة النقل التحتية من طرف إلى طرف.

2. خذ في الاعتبار تطبيقاً يرسل البيانات بمعدل ثابت (مثلاً يولد المرسل وحدة بيانات تتألف من N بت كل k وحدة زمن، حيث k رقم صغير وثابت). أيضاً عندما يبدأ مثل ذلك التطبيق فإنه يستمر في العمل لمدة طويلة نسبياً من الوقت. أجب على الأسئلة التالية مع تعليل إجابتك باختصار:
   a. ما الذي يناسب هذا التطبيق أكثر، دائرة بتحويل الدوائر أم دائرة بتحويل الرزم؟ لماذا؟
   b. افترض أننا استخدمنا شبكة بتحويل الرزم وأن البيانات في تلك الشبكة تأتي فقط من التطبيق المذكور أعلاه. افترض أيضاً أن مجموع معدلات الإرسال الخاصة بالتطبيق أقل من سعات الإرسال لكل وصلة في الشبكة، هل نحن بحاجة إلى تحكم للحد من الازدحام بشكلٍ من الأشكال. لماذا؟
3. خذ في شبكة تحويل الدوائر المبينة في الشكل 1-8. تذكّر أن هناك n دائرة على كل وصلة.
   a. ما هو أقصى عدد ممكن من التوصيلات التي يمكن أن تكون شغّالة في نفس الوقت في هذه الشبكة.
   c. افترض أن كل التوصيلات هي بين المحوّل في الركن على أقصى اليسار العلوي والمحوّل على الركن في أقصى اليمين السفلي. ما هو الحد الأقصى لعدد التوصيلات التي يمكن أن تكون شغالة في نفس الوقت؟
4. راجع مثال قافلة السيارات في جزء 1-4. مرة أخرى افترض سرعة انتقال مقدارها 100 كم/ساعة.
   a. افترض أن القافلة تسير مسافة 200 كم، بدءاً من كشك لتحصيل الرسوم، مروراً بالكشك التالي، وانتهاءاً قبل الكشك الثالث مباشرةً. احسب التأخير من طرف إلى طرف.
   b. كرر (a) أعلاه بافتراض أن القافلة تضم 7 سيارات فقط بدلاً من 10 سيارات.
5. نبدأ في هذا التمرين المبسط باستكشاف تأخير الانتقال وتأخير الإرسال، وهما مفهومان أساسيان في مجال الشبكات. خذ في الاعتبار مضيفين A وB موصّلين عبر وصلة واحدة بمعدل إرسال R بت/ثانية. افترض أن المسافة بين المضيفين تبلغ m متر وأن سرعة الانتقال على الوصلة هي s متر/ثانية. يقوم مضيف A بإرسال رزمة طولها L بت إلى مضيف B.
   a. عبّر عن تأخير الانتقال d_{prop} بدلالة كلٍّ من m و s.
   b. عبّر عن زمن الإرسال d_{trans} بدلالة كلٍّ من L و s.

c. بإهمال تأخير المعالجة وتأخير الانتظار في الصفوف، أوجد تعبيراً رياضياً للتأخير من طرف إلى طرف.

d. افترض أن مضيف A بدأ في إرسال رزمة عند الوقت $t = 0$، أين يكون البت الأخير من الرزمة عند الوقت $t = d_{trans}$؟

e. إذا كان d_{prop} أكبر من d_{trans}، فأين يكون البت الأول من الرزمة عند $t = d_{trans}$؟

f. إذا كان d_{prop} أصغر من d_{trans}، فأين يكون البت الأول من الرزمة عند $t = d_{trans}$؟

g. افترض أن $s = 2.5 \times 10^8$ متر/ثانية، $L = 100$ بت، $R = 28$ كيلوبت/ثانية، احسب المسافة m التي تكون عندها $d_{prop} = d_{trans}$.

6. في هذا التمرين سنأخذ في الاعتبار إرسال صوت في الوقت الحقيقي من مضيف A إلى مضيف B عبر شبكة بتحويل الرزم (VoIP). يقوم مضيف A بتحويل إشارة الصوت التناظرية مباشرةً إلى سلسلة بتات رقمية بمعدل إرسال 64 كيلوبت/ثانية. يقوم مضيف A بعد ذلك بتجميع تلك البتات على شكل رزم طول كلٍّ منها 48 بايت. يوجد وصلة واحدة بين المضيفين A وB لها معدل إرسال قدره 1 ميجابت/ثانية وتأخير انتقال قدره 2 ميللي ثانية. بمجرد تجميع مضيف A لرزمة كاملة، فإنه يقوم بإرسالها إلى مضيف B. بمجرد استلام مضيف B لرزمة كاملة، يقوم بتحويل بتات الرزمة إلى إشارة تناظرية. كم من الزمن ينقضي بين توليد بت (من الإشارة التناظرية الأصلية عند مضيف A) إلى أن يُفك تكويد تلك البت (كجزء من الإشارة التناظرية التي يتم استعادتها عند مضيف B)؟

7. افترض أن عدة مستخدمين يشتركون فيما بينهم في وصلة معدل إرسالها 1 ميجابت/ثانية. افترض أيضاً أن كل مستخدم يحتاج إلى 100 كيلوبت/ثانية عندما يرسل، غير أن كل مستخدم يرسل فقط أثناء 10٪ من الوقت (انظر المناقشة حول الإرسال المتعدد الإحصائي في الجزء 1-3).

a. عند استخدام تحويل الدوائر، كم عدد المستخدمين الذين سيكون من الممكن استيعابهم؟

b. في الجزء المتبقي من هذا التمرين، افترض أننا نستخدم تحويل الرزم. أوجد احتمال أن يقوم مستخدم بعينه بالإرسال.

c. افترض أن هناك 40 مستخدماً. أوجد احتمال أن يقوم n مستخدماً بالضبط بالإرسال معاً في نفس الوقت. (ملاحظة: استخدم التوزيع الإحصائي ذي الحدين (binomial distribution).

d. احسب احتمال أن يوجد 11 مستخدماً أو أكثر يقومون بالإرسال معاً.

8. خذ في الاعتبار المناقشة في جزء 1-3 حول الإرسال المتعدد الإحصائي، حيث أوردنا مثالاً لوصلة سعة إرسالها 1 ميجابت/ثانية. يقوم كلٌ من المستخدمين بتوليد البيانات بمعدل 100 كيلوبت/ثانية في حالة نشاطه ولكنه ينشط باحتمال قدره $p = 0.1$. افترض أن الوصلة بسعة 1 ميجابت/ثانية تم استبدالها بوصلة سعتها 1 جيجابت/ثانية.
   a. احسب أقصى عدد يمكن استيعابه من المستخدمين في نفس الوقت باستخدام تحويل الدوائر (N).
   b. الآن خذ في الاعتبار تحويل الرزم وعدد M مستخدم. أوجد معادلة (في p وM وN) لاحتمال أن يكون هناك أكثر من N مستخدماً يقومون بالإرسال في نفس الوقت.
9. خذ في الاعتبار رزمة طولها L بتاً تبدأ على نظام طريق، وتنتقل على وصلة واحدة إلى محوّل رزم، ثم تنتقل من محوّل الرزم على وصلة ثانية إلى وجهتها النهائية. افترض أن d_i وs_i و R_i تمثل (من اليمين إلى اليسار) الطول، وسرعة الانتقال، ومعدل الإرسال للوصلة i، حيث $i = 1, 2$. يتسبب محوّل الرزم في تأخير قدره d_{proc} لكل رزمة. بإهمال تأخير الانتظار في الصفوف، أوجد التأخير الكلي للرزمة من طرف إلى طرف بدلالة L وd_i وs_i وR_i ($i = 1, 2$). افترض الآن أن الرزمة طولها 1000 بايت، وسرعة الانتقال على كلا الوصلتين 2.5×10^8 متر/ثانية، ومعدل الإرسال على كلا الوصلتين 1 ميجابت/ثانية، وتأخير المعالجة في محوّل الرزم هو 1 ميللي ثانية، وطول الوصلة الأولى 4000 كم، وطول الوصلة الثانية 1000 كم. احسب التأخير من طرف إلى طرف في هذه الحالة.
10. في التمرين أعلاه، افترض أن $R_1 = R_2 = R$ و$d_{\text{proc}} = 0$. افترض أيضاً أن محوّل الرزم لا يتبع أسلوب التخزين ثم الإرسال للرزم، ولكن بدلاً من ذلك يقوم في الحال بإرسال كل بت يستلمه دون الانتظار حتى يستلم بقية الرزمة بأكملها. احسب التأخير من طرف إلى طرف في هذه الحالة.
11. يقوم محوّل الرزم باستلام رزمة وتحديد أي الوصلات الخارجة منه ينبغي تمرير الرزمة إليها. عند وصول الرزمة كانت هناك رزمة أخرى تم إرسال نصفها بالفعل على الوصلة الخارجة المطلوبة، بالإضافة إلى 3 رزم أخرى تنتظر دورها في الإرسال. يتم إرسال الرزم بترتيب وصولها. افترض أن الرزم كلها لها نفس الطول وقدره 1000 بايت وأن معدل الإرسال على الوصلة هو 1 ميجابت/ثانية. احسب تأخير الانتظار في الصف للرزمة الواصلة. بشكلٍ أكثر عموماً، ما هو تأخير الانتظار في الصف عندما تكون كل الرزم بطول L، ومعدل الإرسال R، وتم إرسال x بت من الرزمة الجاري إرسالها حالياً، وهناك n رزمة تنتظر في الصف دورها في الإرسال؟

12. افترض أن N رزمة تصل معاً إلى وصلة لا يوجد عليها رزم أخرى يجري إرسالها أو تنتظر دورها في الإرسال. كل رزمة طولها L ومعدل الإرسال على الوصلة هو R . ما هو متوسط تأخير الانتظار في الصف لـ N رزمة؟

13. خذ في الاعتبار تأخير الانتظار في الصف في المخزن المؤقت على موجّه (قبل الوصلة الخارجة). افترض أن كل رزمة طولها L ومعدل الإرسال على الوصلة هو R وأن N رزمة تصل معاً إلى المخزن المؤقت كل LN/R ثانية. أوجد متوسط تأخير الانتظار في الصف لرزمة. (ملاحظة: تأخير الانتظار في الصف للرزمة الأولى هو صفر، وللثانية L/R، وللثالثة $2L/R$. تكون الرزمة رقم N قد أُرسلت بالفعل عند وصول الدفعة الثانية من الرزم.

14. خذ في الاعتبار تأخير الانتظار في الصف في المخزن المؤقت على موجّه. افترض أن I تمثل كثافة حركة مرور البيانات، أي $I = La/R$. افترض أن تأخير الانتظار في الصف يُعبّر عنه بالمعادلة $IL/R(1-I)$ حيث $I < 1$.

a. أوجد معادلة للتأخير الكلي، أي تأخير الانتظار في الصف بالإضافة إلى تأخير الإرسال.

b. ارسم التأخير الكلي كدالة في L/R.

15. a. قم بتعميم معادلة التأخير من طرف إلى طرف في الجزء 1-4-3 لحالة التأخيرات غير المتجانسة للمعالجة، والإرسال، والانتقال.

b. كرر (a)، ولكن مع افتراض وجود تأخير انتظار متوسط عند كل عقدة قدره d_{queue}.

16. استخدم برنامج تتبع المسار (Traceroute) بين مصدر ووجهة على نفس القارة عند 3 ساعات مختلفة من اليوم.

a. احسب المتوسط والانحراف المعياري للوقت الذي تستغرقه رحلة الذهاب والعودة في كلٍّ من الساعات الثلاث.

b. أوجد عدد الموجّهات على المسار في كلٍّ من الساعات الثلاث. هل يختلف المسار من ساعة إلى أخرى؟

c. حاول التعرف على شبكات موفري خدمة الإنترنت (ISP) التي تعبرها الرزم من المصدر إلى الوجهة. الموجهات التي تحمل أسماء أو عناوين IP متشابهة يمكن اعتبارها تابعة لنفس موفر خدمة الإنترنت. في تجاربك هذه، هل تحدث أكبر التأخيرات عند الواجهات النظيرة التي تصل مابين موفري خدمة انترنت متجاورين؟

d. كرر التجربة أعلاه لمصدر ووجهة على قارتين مختلفتين. قارن بين النتائج على نفس القارة والنتائج عبر قارتين.

17. خذ في الاعتبار مثال الطاقة الانتاجية المناظر للشكل 1-16 (b). افترض الآن أن هناك M زوج من الزبائن/الخادمات بدلاً من 10 أزواج. افترض أن R_s و R_c وR تمثل (من اليمين إلى اليسار) معدلات الإرسال على وصلات الخادمات، وصلات الزبائن، ووصلة الشبكة، على الترتيب. افترض أن كل الوصلات الأخرى لها سعات إرسال كافية وأنه لا توجد حركة مرور بيانات داخل الشبكة غير حركة المرور التي تولدها أزواج الزبائن والخادمات أعلاه. قم باشتقاق تعبير رياضي للطاقة الإنتاجية بدلالة R_s و R_c و R و M.
18. افترض مضيفين A وB تفصلهما مسافة 10000 كم ويتصلان عبر وصلة مباشرة معدل الإرسال عليها 1 ميجابت/ثانية. افترض أن سرعة الانتقال على تلك الوصلة هي 2.5×10^8 متر/ثانية.
    a. احسب حاصل ضرب سعة الإرسال (الحيز الترـدي) × التأخير، أي $R\times d_{prop}$.
    b. خذ في الاعتبار إرسال ملف حجمه 400000 بت من مضيف A إلى مضيف B. وافترض أن الملف أُرسل دفعة واحدة كرسالة واحدة كبيرة. ما هو العدد الأقصى من البتات التي تكون موجودة على الوصلة في أي وقت؟
    c. اذكر تفسيراً لمفهوم حاصل الضرب سعة الإرسال × التأخير.
    d. ما هو عرض البت (بالمتر) على الوصلة؟ هل هي أطول من ملعب كرة قدم؟
    e. قم باشتقاق تعبير رياضي عام لعرض البت بدلالة سرعة الانتقال s، ومعدل الإرسال R، وطول الوصلة m.
19. بالرجوع إلى التمرين 18، افترض أننا يمكننا تعديل R. ما هي قيمة R التي تجعل عرض البت على الوصلة مساوياً لطول الوصلة نفسها؟
20. خذ في الاعتبار التمرين 18 ولكن بوصلة لها معدل إرسال R قيمته 1 جيجابت/ثانية
    a. احسب حاصل ضرب سعة الإرسال (الحيز الترـدي) × التأخير، أي $R\times d_{prop}$.
    b. خذ في الاعتبار إرسال ملف حجمه 400000 بت من مضيف A إلى مضيف B. افترض أن الملف أُرسل دفعة واحدة كرسالة واحدة كبيرة. ما هو العدد الأقصى من البتات التي تكون موجودة على الوصلة في أي وقت؟
    c. ما هو عرض البت (بالمتر) على الوصلة؟
21. بالرجوع إلى التمرين 18 مرة أخرى.
    a. كم يستغرق إرسال الملف، بافترض أنه يُرسَل دفعة واحدة؟
    b. افترض الآن أن الملف يتم تجزيئه إلى 10 رزم يضم كلٌّ منها 40000 بت. افترض أن المستقبل يرسل إشعاراً باستلام كل رزمة وأن فترة إرسال رزمة إشعار الاستلام يمكن إهمالها. أخيراً افترض أن المرسل لايمكنه إرسال الرزمة التالية قبل أن يتلقى إشعاراً باستلام الرزمة التي أرسلها. كم يستغرق إرسال الملف في هذه الحالة؟

c. قارن بين النتائج في كلٍّ من الحالتين (a) و(b).

22. خذ في الاعتبار وصلة ميكروويف بمعدل إرسال 10 ميجابت/ثانية بين قمر صناعي ثابت بالنسبة للكرة الأرضية ومحطة القاعدة له على الأرض. في كل دقيقة يأخذ القمر صورة رقمية ويرسلها إلى محطة القاعدة. افترض أن سرعة الانتقال هي 2.4×10^8 متر/ثانية.

a. ما هو تأخير الانتقال على الوصلة؟

b. احسب حاصل ضرب سعة الإرسال (الحيز الترددي) x التأخير، أي $R \times d_{prop}$.

c. افترض أن x تمثل حجم الصورة بالبتات. ما هو الحد الأدنى لقيمة x بحيث تبقى وصلة الميكروويف تعمل باستمرار؟

23. خذ في الاعتبار مثال السفر على شركات الطيران الوارد ضمن مناقشتنا لطبقية البروتوكولات في الجزء 1-5، وكذلك إضافة الترويسات إلى وحدات بيانات البروتوكولات أثناء نزولها من أعلى رصة البروتوكول إلى أسفلها لدى المرسل. هل هناك ما يناظر ذلك من أشياء تضاف إلى الركاب وأمتعتهم عند انتقالهم من أعلى رصة بروتوكول شركة الطيران إلى أسفلها؟

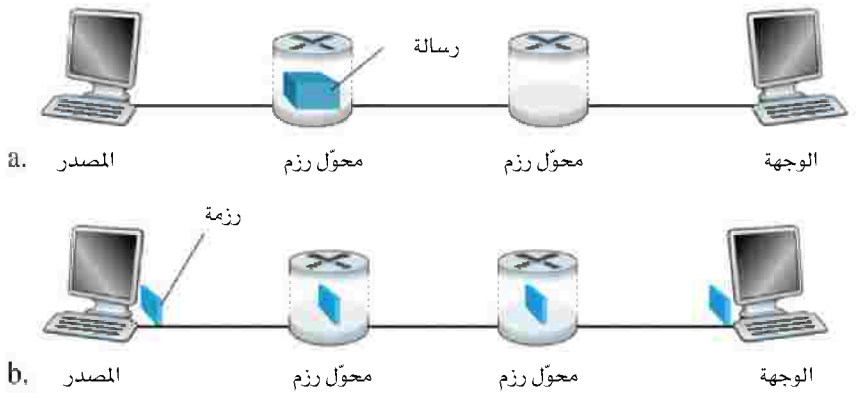
24. في الشبكات الحديثة لتحويل الرزم يقوم المضيف بتجزئة الرسائل الكبيرة من طبقة التطبيقات (مثلاً صورة أو ملف صوتي) إلى رزم صغيرة يرسلها عبر الشبكة. يقوم المستقبل بعد ذلك بتجميع الرزم الواصلة للحصول على الرسالة الأصلية. نطلق على هذه العملية تجزئة الرسائل. يوضح الشكل 1-24 إرسال رسالة من طرف إلى طرف بدون تجزئة الرسائل وبتجزئة الرسائل. افترض أننا نود إرسال رسالة طولها 7.5×10^6 بت من المصدر إلى الوجهة في الشكل 1-24. افترض أن معدل الإرسال هو 1.5 ميجابت/ ثانية على كل الوصلات، واهمل تأخيرات الانتقال والانتظار في الصف والمعالجة.

a. خذ في الاعتبار إرسال الرسالة من المصدر إلى الوجهة **بدون** تجزئة. كم يستغرق من الوقت نقل الرسالة من مضيف المصدر إلى محوّل الرزم الأول؟ مع مراعاة أن كل محوّل يستخدم أسلوب التخزين ثم الإرسال بتحويل الرزم، ما هو الوقت الكلي اللازم لنقل الرسالة من مضيف المصدر إلى مضيف الوجهة؟

b. افترض الآن أن الرسالة يتم تجزئتها إلى 5000 رزمة طول كلٍّ منها 1500 بت. كم يستغرق من الوقت نقل الرزمة الأولى من مضيف المصدر إلى محوّل الرزم الأول؟ بينما يتم نقل الرزمة الأولى من محوّل الرزم الأول إلى محوّل الرزم الثاني، يتم نقل الرزمة الثانية من مضيف المصدر إلى محوّل الرزم الأول. في أي وقت سيتم استلام الرزمة الثانية بكاملها عند محوّل الرزم الأول؟

c. كم يستغرق من الوقت نقل الملف من مضيف المصدر إلى مضيف الوجهة مع تجزئة الرسالة؟ قارن هذه الإجابة مع إجابتك في الجزء (a) وعلق على النتيجة.

d. اذكر عيوب تجزئة الرسالة.



الشكل 1-24 نقل الرسائل من طرف إلى طرف: (a) بدون تجزئة الرسائل؛ (b) بتجزئة الرسائل.

25. قم بتجريب برنامج جافا الخاص بتجزئة الرسالة (Message Segmentation Applet) على موقع الويب المصاحب لهذا الكتاب. هل تتوافق التأخيرات التي يحسبها البرنامج مع نتائج التأخيرات في المسألة السابقة؟ كيف تؤثر تأخيرات الانتقال عبر الوصلات على التأخير من طرف إلى طرف باستخدام تحويل الرزم (أي مع تجزئة الرسالة) وباستخدام تحويل الرسائل (أي بدون تجزئة الرسالة).

26. خذ في الاعتبار عملية إرسال ملف يتألف من F بت من مضيف A إلى مضيف B. يوجد وصلتان (ومحوّل واحد) بين A وB، والوصلتان غير مزحومتين (أي لا توجد تأخيرات انتظار). يقوم مضيف A بتجزئة الملف إلى قطع طول كلٍّ منها S بت ويضيف ترويسة طولها 40 بتاً لكل قطعة، ومن ثم يكوّن رزماً طول كلٍّ منها $L = S + 40$ بت. معدل الإرسال على كل وصلة هو R بت/ثانية. أوجد قيمة S التي تعطي الحد الأدنى للتأخير في نقل الملف من مضيف A إلى مضيف B. اهمل تأخير الانتقال.

❖ أسئلة مناقشة

1. أي أنواع خدمات الوصول اللاسلكي تتوافر في منطقتك؟
2. باستخدام تقنية 802.11 للشبكات المحلية اللاسلكية، قم بتصميم شبكة منزلية لمنزلك أو منزل عائلتك. قم بإعداد قائمة بموديلات الأجزاء المطلوبة بالتحديد مع كلفة كلٍ منها.
3. صف خدمة سكايب من حاسب شخصي إلى حاسب شخصي (PC-to-PC). قم بتجريب خدمة سكايب للفيديو بين حاسبين شخصيين واكتب تقريراً مختصراً عن تجربتك.
4. توفر سكايب خدمة تتيح لك عمل مكالمة هاتفية من حاسب شخصي إلى هاتف عادي. هذا يعني أن المكالمة تمر عبر كلٍ من الإنترنت وشبكة الهاتف. اشرح كيف يمكن تنفيذ ذلك.
5. ما هي خدمة الرسائل القصيرة (SMS)؟ في أي البلدان/القارات تنتشر تلك الخدمة؟ هل يمكن إرسال رسالة SMS من موقع على الويب إلى هاتف نقال؟
6. ما هو تشغيل الفيديو المخزّن؟ اذكر بعض المواقع الشهيرة على الويب التي توفر تلك الخدمة حالياً.
7. ما هو تشغيل الفيديو الحي عن طريق مشاركة النظائر للملفات (P2P). اذكر بعض المواقع التي توفر تلك الخدمة حالياً.
8. قم بتحديد 5 شركات توفر خدمات مشاركة النظائر للملفات (P2P). لكل شركة من الشركات اذكر نوع محتويات الملفات التي يمكنها التعامل معها.
9. من اخترع خدمة ICQ (أول خدمة للرسائل الفورية)؟ متى كان ذلك؟ وكم كان عمر المخترع وقتها؟ أيضاً من اخترع Napster؟ متى كان ذلك؟ وكم كان عمر المخترع وقتها؟
10. قارن بين وصول WiFi اللاسلكي للإنترنت ووصول 3G اللاسلكي للإنترنت. ماهي معدلات الإرسال لكلٍ من الخدمتين؟ ماهي الكلفة؟ قم بمناقشة موضوع التجوال وتوافر الخدمة في كل وقت وفي كل مكان.
11. لماذا لم تعد خدمة Napster الأصلية لمشاركة النظائر للملفات موجودة الآن؟ ماهي منظمة RIAA وماهي الإجراءات التي تتخذها للحد من مشاركة النظائر للملفات التي تخضع محتوياتها لحقوق ملكية؟ مالفرق بين خرق حقوق الملكية بشكلٍ مباشر وبشكلٍ غير مباشر؟
12. ما هو نظام BitTorrent لتوزيع الملفات؟ وكيف يختلف بصورة جوهرية عن خدمات مشاركة النظائر للملفات (P2P) مثل eDonkey و LimeWire و Kazaa؟

13. هل تتوقع أنه بعد 10 سنوات من الآن ستكون المشاركة في ملفات لها حقوق ملكية منتشرةً على نطاق واسع على شبكات الحاسب؟ علل إجابتك.

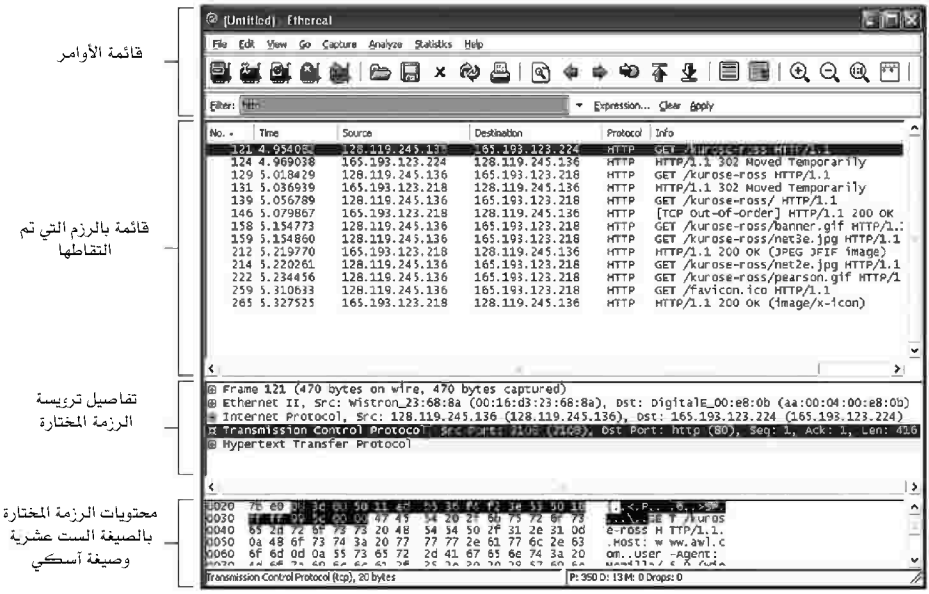
❖ مختبر إيثيريل

"قل لي وسأنسى، أرني وسأتذكر، أشركني وسأفهم" – مَثَلٌ صيني

يمكن تعميق فهم بروتوكولات الشبكات في أحيان كثيرة عن طريق مشاهدة تلك البروتوكولات وهي تعمل والتجريب معها – بملاحظة الرسائل التي يتبادلها بروتوكولان، والدخول في تفاصيل عمل البروتوكولات، وجعلها تقوم بإجراءات معينة ثم ملاحظة تلك الإجراءات والنتائج المترتبة عليها. يمكن القيام بذلك من خلال سيناريوهات يتم محاكاتها أو في بيئة شبكة حقيقية كالإنترنت. تستخدم برامج جافا التفاعلية الموجودة في موقع الويب المصاحب لهذا الكتاب الطريقة الأولى. في مختبر إيثيريل سنتبع الطريقة الثانية. ستقوم أنت بتشغيل تطبيقات شبكات في سيناريوهات مختلفة باستخدام حاسب على مكتبك أو في المنزل أو في مختبر. سترَقب بروتوكولات الشبكة على حاسبك وهي تتفاعل وتتبادل الرسائل مع كيانات بروتوكولات أخرى تعمل في أماكن أخرى على الإنترنت. ستكون أنت وحاسبك جزءاً من تلك الاختبارات الحية. ستلاحظ – وستتعلم – عن طريق عمل الأشياء بنفسك.

يطلق على الأداة الأساسية لمراقبة الرسائل التي يتم تبادلها بين كيانات البروتوكول اسم لاقط الرزم (Packet Sniffer). كما يوحي الاسم، يقوم لاقط الرزم بشكلٍ سلبي بنسخ (التقاط) الرزم التي يرسلها أو يستقبلها حاسبك، كما يعرض محتويات مختلف حقول البروتوكول لتلك الرزم. يوضح الشكل 1-25 لقطة شاشة من برنامج إيثيريل لالتقاط الرزم. هذا البرنامج مجاني ويعمل على الحاسبات بنظم التشغيل ويندوز، ولينكس/يونيكس، وماكنتوش. خلال هذا الكتاب ستجد تمرينات مختبر إيثيريل تمكّنك من استكشاف عدد من البروتوكولات التي تناولناها. في أول مختبر إيثيريل ستحصل على نسخة من البرنامج وتقوم بتثبيته على حاسبك، ثم تتصل بموقع ويب وتلتقط وتفحص رسائل بروتوكولات يتم تبادلها بين متصفح الويب على حاسبك وخادم الويب لذلك الموقع.

يمكنك الحصول على كافة التفاصيل عن مختبر إيثيريل الأول (بما في ذلك تعليمات عن كيفية الحصول على برنامج إيثيريل وتثبيته) من موقع الويب المصاحب للكتاب http://www.aw1.com/kurose-ross.



الشكل 1-25 لقطة شاشة من برنامج إيثيرل