CHAPTER 3

WAN 與 IP 路由基礎

本章涵蓋下列考試主題：

1.0 網路基礎

- 1.1 解釋網路元件的角色與功能
  - 1.1.a 路由器
- 1.2 描述網路拓樸架構的特徵
  - 1.2.d WAN

本章要介紹 WAN 和 TCP/IP 網路層的各種功能。

首先就 WAN 來說，當前的 CCNA 考試並未加深 WAN 的難度。欲瞭解 IP 路由，便需要瞭解本章第一節介紹的兩種廣域網線路的基礎：序列線路和乙太廣域網線路。在最基本的形式當中，這些連接網路據點的路由器之 WAN 線路，可以是相距數英里至數百英里不等，從而支援遠端站台之間的通訊。

本章其餘部分將談到 TCP/IP 網路層，討論重點為 IP。第二節探討 IP 的主要功能：遞送、定址和路由協定。最後一節介紹 IP 以外的一些協定，這些協定也有助於 TCP/IP 網路層在終端之間建立允許終端對終端通訊的網路。

3.1 自我評量測驗

此節或是 PTP 軟體的評量測驗可協助讀者利用分數來評估讀完本章所花的時間。答案就在評量之後的某一頁之中。讀者可在附錄 C（位於本書的最後或是教學輔助網站）或是 PTP 測驗軟體中找到詳細的答案和說明。

表 3-1 基本主題與測驗題對照表

基本主題	測驗題
廣域網路	1、2
IP 路由	3-6
其他網路層功能	7

碁峰 www.gotop.com.tw

1. 除了 ISO 的標準 HDLC 之外，下列哪一個是 Cisco 路由器的 HDLC 標頭也會使用的欄位？
   a. 旗標（Flag）
   b. 類型（Type）
   c. 位址（Address）
   d. 訊框檢查碼（FCS）

2. 兩台路由器 R1 和 R2 在乙太網路上使用 MPLS 服務來互相連接。該服務只在這兩台路由器之間提供點對點的第二層乙太網路服務。關於該 WAN，下列何者最有可能是正確的？（請選出 2 個答案）
   a. R1 連接一條實體的乙太網線路，纜線的另一端連接到 R2
   b. R1 連接一條實體的乙太網線路，纜線的另一端連接到 WAN 服務供應商的一台設備
   c. R1 使用 HDLC 的標頭／標尾，將資料鏈結層訊框轉送到 R2
   d. R1 使用乙太網路的標頭／標尾，將資料鏈結層訊框轉送到 R2

3. 假設有個擁有兩台路由器的網路，路由器之間連接一條點對點的 HDLC 序列線路。每台路由器都有一個乙太網路，PC1 位於路由器 1 的乙太網路，而 PC2 位於路由器 2 的乙太網路。當 PC1 傳送資料到 PC2 時，下列何者正確？
   a. 路由器 1 卸除來自 PC1 的訊框的乙太網路標頭與標尾，且不再使用
   b. 路由器 1 將乙太網路的訊框封裝於 HDLC 標頭內，並傳送至路由器 2，然後路由器 2 取出乙太網路訊框後，將其轉送到 PC2
   c. 路由器 1 卸除來自 PC1 的訊框的乙太網路標頭與標尾，在資料被轉送至 PC2 以前，路由器 2 會重新建立完全相同的標頭及標尾
   d. 路由器 1 移除乙太網路、IP 及 TCP 的標頭，並在轉送封包到路由器 2 以前，重新建立適當的標頭

4. 路由器通常採用的是下列何者來決定遶送 TCP/IP 封包？
   a. 目的地 MAC 位址
   b. 來源 MAC 位址
   c. 目的地 IP 位址
   d. 來源 IP 位址
   e. 目的地 MAC 及 IP 位址

碁峰 www.gotop.com.tw

5. 下列關於連接到 LAN 的 TCP/IP 主機與 IP 路由（轉送）選擇之敘述何者正確？
   a. 主機必定傳送封包到它的預設閘道
   b. 主機絕不會將封包傳送至它的預設閘道
   c. 如果目的地 IP 位址不在主機的子網路內，主機就將封包傳送至它的預設閘道
   d. 如果目的地 IP 位址是在主機的子網路內，主機就將封包傳送至它的預設閘道
6. 下列何者是路由協定的功能？（請選出 2 個答案）
   a. 通告已知的路徑給相鄰的路由器
   b. 學習與路由器相連的子網路路徑
   c. 學習相鄰路由器所通告的路徑，並將路徑加入到路由表
   d. 根據封包的目的地 IP 位址來傳送 IP 封包
7. 有一家公司具有 TCP/IP 網路，PC1 位於其中的一個乙太網路 LAN 中。下列哪一種通訊協定與功能要求 PC1 去學習來自其他一些伺服器設備的資訊？
   a. ARP（位址解析協定）
   b. ping
   c. DNS（網域名稱系統）
   d. 以上皆非

基本主題

3.2 廣域網路

想像在某家企業的分公司渡過平凡的一天。使用者坐在某一台終端設備前：可能是 PC、平板電腦或手機等等。它們是透過乙太網路線或無線來連接到區域網路。使用者恰巧正在檢查網站上的資訊，且 Web 伺服器位於公司的主辦公室。資料必須經過一個以上的廣域網路（wide-area network，WAN）線路才能進行傳輸。

WAN 技術定義了用於長距離通訊的實體層（第 1 層）標準和資料鏈結層（第 2 層）協定。第一節探究兩種這樣的技術：廣域網路專線和乙太廣域網路。WAN 專線有長達半個世紀成為網路的選擇之一，如今它的普及率衰退，然而仍可能會在考試中看到一些租用型的廣域網線路。乙太廣域網線路確實採用與乙太區域網路相同的資料鏈結層協定，但是前者運用其他功能，使線路能夠在遠超 WAN 所需的距離上運作。接下來的幾頁將首先檢視 WAN 專線，接著是乙太廣域網路。

碁峰 www.gotop.com.tw

3.2.1 WAN 專線

為了要利用 WAN 來連接 LAN，互連網路（internetwork）使用路由器來連接每一個LAN，並在路由器之間使用廣域網線路。首先，企業的網路工程師要安排某種類型的廣域網線路，然後兩側的路由器分別將廣域網線路與 LAN 兩者連接起來，如圖 3-1 所示。注意，當省略顯示線路的任何實體細節時，路由器之間的彎曲線路是用來表示專線的常見方式。

圖 3-1　具有一條專線的小型企業網路

本節首先檢視專線的實體細節，然後討論專線預設的資料鏈結層協定（HDLC）。

專線的實體細節

專線服務使用全雙工邏輯，以預定的速度在傳送及接收兩個方向上傳遞位元。在概念上，它就好像是介於兩個路由器之間存在一個全雙工交叉的乙太網線路（Ethernet link），如圖 3-2 所示。該專線使用兩對纜線，兩個方向各使用一對來傳送資料，並以全雙工運作。

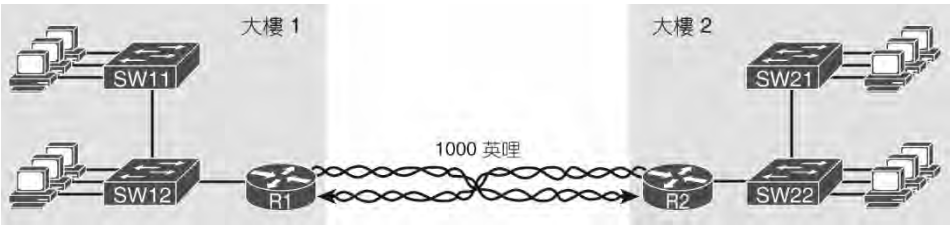

圖 3-2　專線服務示意圖

相較於乙太網路的跳線，專線有許多不同之處。為了創造長距離線路或電路的可能性，專線實際上並不是存在於兩個地點之間的一條長電纜。事實上是建置專線的電信公司鋪設廣大的電纜網路及使用專門的交換設備，為其建構了一個私有的電信網路，建立的服務在兩個地點之間就像是一條跳線，用戶並不知真實情況為何。

專線也有自己的一套術語。首先，「**專線**」是使用專線的公司本身並未擁有這條線路，必須支付租金才能使用它。表 3-2 列出一些專線的相關名詞，主要目的是讓讀者在電腦網路的領域中，有機會將這些名詞以基本描述來為他人解釋其涵義。

碁峰 www.gotop.com.tw

表 3-2 不同於專線的名詞

名稱	涵義或參考
專線、電路 （Leased circuit, Circuit）	**line** 和 **circuit** 在電信術語裡經常被視為同義詞；**circuit** 是兩個終端之間的電氣電路。
序列鏈路、序列線路 （Serial link, Serial line）	**link** 和 **line** 經常被視為同義詞。**Serial** 在這裡是指位元連續地傳送，且路由器使用序列介面。
點對點鏈路、點對點線路 （Point-to-point link, Point-to-point line）	其拓樸在兩點之間伸展，且只在該兩點之間（一些較舊的專線允許兩個以上的連接設備）。
T1	專線的一種特殊類型，傳送速率為每秒 1.544 Mbps。
WAN 線路、鏈路 （WAN link, Link）	這兩個用詞相當普遍，沒有特指任何技術。
私有線路（Private line）	代表線路上傳送的資料無法被其他電信用戶所複製，資料是私有的。

要建構一條專線，線路端點的兩台路由器之間，必定存在某個實體路徑。實體佈線需要離開每台路由器所在的用戶建築物，然而，電信公司並不會真的就在兩棟建築物之間鋪設一條專用電纜，而是通常使用一個大型且複雜的網路，使兩台路由器之間得以建構出一條線路。

圖 3-3 針對電信公司內部短距離專線的佈線情形提供了一些內視效果。電信公司將他們的設備放置在稱為**局端**（central offices，CO）的建築物裡，並從 CO 到城市中的每棟建築物之內鋪設電纜，期望著有朝一日能提供服務給那些建築物裡的人們。接著，他們配置交換設備來使用每條纜線的部分頻寬，以便在收發雙向上都可以傳遞資料，創造出兩台路由器之間具有跳線的同等效果。

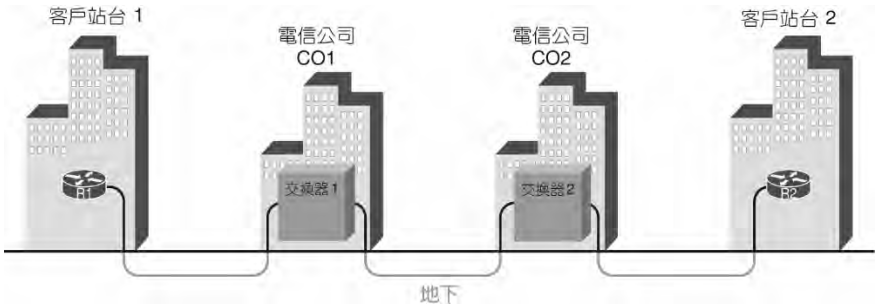

圖 3-3 就短距離專線而言，電信公司內部的佈線方式之一

自我評量測驗答案

1. B。2. BD。3. A。4. C。5. C。6. AC。7. C。

碁峰 www.gotop.com.tw

儘管客戶不必知道電信公司如何建立特定專線的所有細節，但網路工程師必須要瞭解在客戶端建築物內的這部分線路。不過，出於 CCNA 之目的，讀者可以將任何序列線路視為兩台路由器之間的點對點連接。

專線的 HDLC 資料鏈結層細節

專線提供第一層的服務，換句話說，它在使用專線的設備之間傳送位元。然而專線本身並沒有定義它所使用的資料鏈結層協定。

由於專線只有定義第一層的傳輸服務，因此許多公司及定義相關標準的組織創造了資料鏈結層協定，用來控制及使用專線。現今，路由器之間的專線使用兩種最常見的資料鏈結層協定，分別是**高階資料鏈結控制協定**（High-Level Data Link Control，HDLC）以及**點對點通訊協定**（Point-to-Point Protocol，PPP）。

所有的資料鏈結層協定都扮演類似的角色：將資料控制在一條特定類型的實體線路上，並確保正確傳送。例如，乙太網路的資料鏈結層協定使用目的地位址欄位來確認接收資料的是正確設備，並支援接收端設備使用**訊框檢查碼**（Frame Check Sequence，FCS）欄位來判定資料是否正確抵達。HDLC 能提供類似的功能。

因為點對點專線的拓樸很單純，所以 HDLC 處理的工作較乙太網路輕鬆。當一台路由器送出一個 HDLC 訊框，它只能去一個地方：到線路的另一端。儘管 HDLC 有位址欄位，但目的地被隱藏了起來，且實際的位址無關緊要。這個概念有幾分像是我與我的朋友 Gary 兩人共進午餐時，我並不需要在每句話開頭都說「嗨，Gary」，因為他知道我正在和他說話。

HDLC 也有類似於乙太網路的其他欄位與功能。表 3-3 列出了 HDLC 的欄位，其中包括有類似於乙太網路的標頭／標尾欄位。此表的目的是基於讀者已經學過的乙太網路知識，輔助讀者學習 HDLC。

表 3-3　比較 HDLC 與乙太網路的標頭欄位

HDLC 欄位	對等的乙太網路欄位	說明
Flag（旗標）	Preamble, SFD（同步訊號）	列出可識別的位元形式，使得接收節點知道一個新的訊框正在到達。
Address（位址）	Destination Address（目的地位址）	確認目的地設備。
Control（控制）	N/A	現今路由器之間的線路上已很少使用此功能。
Type（類型）	Type	確認封裝在訊框內第 3 層封包的類型。
FCS（訊框檢查碼）	FCS	一個被用來進行錯誤檢測程序的欄位；它是本表中唯一的標尾欄位。

碁峰 www.gotop.com.tw

HDLC 現已成為 ISO 的一個標準，與制定 OSI 模型隸屬同一個組織。然而，ISO 的 HDLC 並沒有類型（Type）這個欄位，但是路由器必須知道訊框內封包的類型。因此，Cisco 路由器就使用 Cisco 專屬的 HDLC，其中增加了一個類型欄位，如圖 3-4 所示。

圖 3-4 HDLC 訊框格式

路由器如何使用 WAN 資料線路

把專線連接到路由器，路由器就能把封包傳送到目的地主機。路由器實際上連接 LAN 與 WAN 兩者，兩者都將資料寫入資料鏈結層訊框之內。現在，讀者只要對 HDLC 有些許的瞭解，有助於思考路由器在傳送資料時如何使用 HDLC 通訊協定。

首先，TCP/IP 的網路層專注在將傳送端主機的 IP 封包轉送到目的地主機。底層的 LAN 和 WAN 只是作為一種通路，用來將封包移動到下一台路由器或終端設備。圖 3-5 顯示了網路層的觀點。

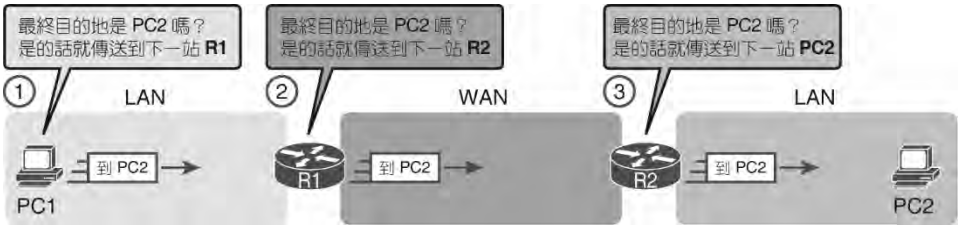

圖 3-5 LAN 和 WAN 上的 IP 路由邏輯

隨著圖中的步驟，將一個封包由 PC1 送到 PC2：

1. PC1 的網路層（IP）邏輯告訴它，要將封包傳送到鄰近的路由器（R1）。
2. R1 的網路層邏輯告訴它，封包要從專線出去並轉送（路由）到下一台緊鄰的路由器（R2）。
3. R2 的網路層邏輯告訴它，封包要從 LAN 線路出去並轉送（路由）到緊鄰的 PC2。

雖然圖 3-5 顯示的是網路層的邏輯，但圖中的 PC 和路由器都必須依靠 LAN 以及 WAN 來實際地移動封包中的位元。圖 3-6 使用同一張圖，都具有相同的封包，但這次顯示主機和路由器所使用的資料鏈結層邏輯。本圖有三個個別的資料鏈結層封裝步驟，各自將封包封裝到資料鏈結層訊框之內，在互連網路上通過三個**躍點**（hop）：分別是，從 PC1 到 R1、從 R1 到 R2，以及從 R2 到 PC2。

碁峰 www.gotop.com.tw

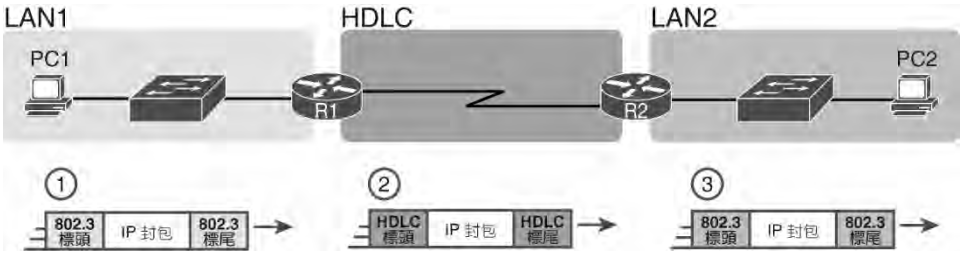

圖 3-6　路由器解封裝與再封裝 IP 封包的概念

隨著圖中的步驟，再一次將封包從 PC1 送到 PC2：

1. 為了將封包送到緊鄰的路由器 R1，PC1 將該 IP 封包封裝於乙太網路訊框之內，以 R1 的 MAC 位址為目的地位址。
2. 路由器 R1 從乙太網路訊框內**解封裝**（de-encapsulate）IP 封包（即移除乙太網路訊框），然後再將 IP 封包封裝到使用 HDLC 標頭和標尾的訊框內，並將其轉送到緊鄰的路由器 R2。
3. 路由器 R2 從 HDLC 訊框中解封裝 IP 封包，然後再將它封裝到以 PC2 的 MAC 位址為目的地位址的乙太網路訊框之內，並轉送到 PC2。

總結來說，HDLC 專線在兩台路由器之間建立一條 WAN 的線路，使路由器得以轉送封包到 LAN 上的設備。專線本身提供實體的方法在雙向上傳送位元。HDLC 的訊框提供正確封裝網路層封包的方法，因此得以跨越路由器之間的線路。

專線有很多優點，使其在 WAN 的市場上有相當長的壽命。這些專線完全是為客戶著想，它們被廣泛地運用，兼顧高品質及客戶的私有性。然而相較於較新穎的 WAN 技術，專線也有一些缺點，包括成本較高以及前置作業等待時間一般較長，才能享受到服務。此外按照當今的標準，WAN 專線的速度已不夠看，速率僅有數十 Mbps。取代專線新型更快速的 WAN 技術早已行之有年，包括本書討論的第二種 WAN 技術：乙太網路。

3.2.2 以乙太網路作為 WAN 技術

在乙太網路問世的前幾十年當中，它是唯一合適的區域網路。由於纜線長度和設備的限制，僅允許區域網路延伸到一、兩公里，以支援園區的區域網路，那已是極限了。

隨著時間日積月累，IEEE 改良了乙太網路的標準，使乙太網路成為適合廣域網路的一門技術。例如，1000BASE-LX 標準所使用的單模光纖纜線可以支援到 5 公里長的電纜長度；1000BASE-ZX 標準可支援甚至更長的 70 公里電纜長度。IEEE 改進了光纖乙太網線路，使得乙太網路搖身變成一個適用於 WAN 的技術。

碁峰 www.gotop.com.tw

現今許多 WAN 服務供應商（SP）都提供了乙太網路的 WAN 服務。SP 提供了種類繁多的乙太廣域網路服務，雖然有許多不同的稱呼，但它們全部都使用類似的模型，就是在客戶地點與 SP 網路之間使用乙太網路，如圖 3-7 所示。

Key Topic

圖 3-7 連接 CPE 路由器到 SP WAN 的光纖乙太網線路

圖 3-7 的模型概念與圖 3-3 電信公司所建立的專線有諸多相似之處，但此處被乙太網線路及設備取代，讓客戶使用路由器的介面可以連接乙太網線路。（光纖）乙太網線路離開客戶的建築物後，連接到附近一些被稱為**網路連接點**（point of presence，PoP）的 SP 所在地。SP 使用乙太網路交換器來取代圖 3-3 的電信公司交換器。在 SP 的網路之內，SP 可以採用任何的技術來建立它想要的特定乙太廣域網路服務。

建立第二層服務的乙太廣域網路

乙太廣域網路服務包含多樣的特殊服務，改變了路由器使用這些服務的方式。基於 CCNA 之目的，讀者僅需要瞭解最基本的乙太廣域網路服務即可（僅在 WAN 上），其運作方式非常類似於乙太網路的跳線。換句話說：

- 從邏輯上來看，其行為就像兩台路由器之間的點對點連接。
- 從實體上來看，其行為就像兩台路由器之間存在實體光纖乙太網線路一樣。

> **注意**：圖 3-7 是服務供應商的網路世界。欲知更多關於 Cisco 的 CCNA、CCNP 服務供應商及 CCIE 服務供應商認證，詳見 www.cisco.com/go/certifications。

本書介紹的幾個特定乙太廣域網路服務常見的名稱如下：

乙太廣域網路：有別於乙太區域網路的通用名稱。

乙太網線路服務（E-Line）：來自都會乙太網路論壇（MEF）的用詞，表示本書出現的點對點乙太廣域網路服務。

乙太網路仿真：強調線路並非真正終端對終端的乙太網線路術語。

MPLS 上的乙太網路（EoMPLS）：該術語指的是一種可用於為客戶建立乙太網路服務的多協定標籤交換（MPLS）技術。

碁峰 www.gotop.com.tw

我們以單一的乙太網線路連接兩台路由器為例，來瞭解這特殊的 EoMPLS 提供了什麼服務，如圖 3-8 所示。此例中，R1 與 R2 這兩台路由器以 EoMPLS 服務取代序列線路，它們利用乙太網路介面在雙向上同時傳送資料。實際上，每一台路由器均連接到某一家 SP 的 PoP，如前面圖 3-7 所示，但在邏輯上，兩台路由器可透過線路傳送乙太網路訊框給對方。

Key Topic

圖 3-8　EoMPLS 在兩台路由器間充當一條簡易的乙太網線路

路由器如何使用乙太網路仿真服務遞送 IP 封包？

WAN 利用其本身的特性提供一種機制，將某處 LAN 的 IP 封包透過廣域網路傳送到另一個地點的 LAN 之中。EoMPLS 的遞送功能仍利用類似 WAN 的廣域域網線路，將封包從一個地點傳送到另一個地點，而且使用的乙太網路通訊協定就是各處乙太區域網線路上所使用的協定。

EoMPLS 線路使用乙太網路第 1、2 層功能，意味著它也使用這相同且常見的乙太網路標頭與標尾，如圖 3-9 中間部分所示。當心圖中顯示乙太網線路之上有一朵雲，以此來告訴我們該線路是乙太廣域網線路，而不是乙太區域網線路。

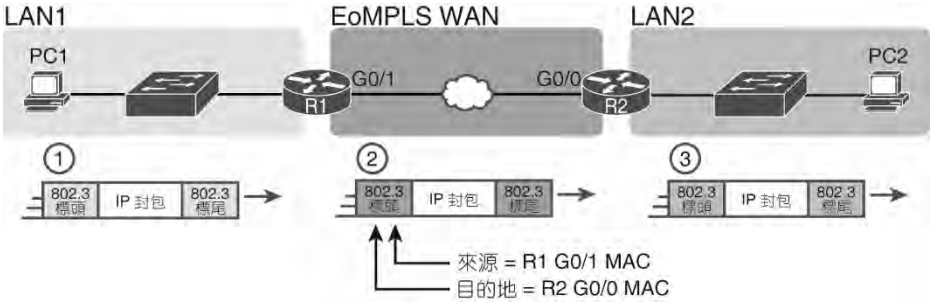

圖 3-9　EoMPLS 線路上的遞送

> **注意**：圖中 802.3 標頭/標尾在每個階段都不同！請留意接下來的步驟中將說明這些原因。

該圖與圖 3-6 的序列線路顯示的是相同的三個遞送步驟，且使用同樣的乙太網路通訊協定（802.3）。注意每一段資料鏈結層上的訊框標頭及標尾是不同的，因為每一台路由器會先丟棄舊的資料鏈結層標頭及標尾，並增加一組新的標頭和標尾，如圖中步驟之描述。

碁峰 www.gotop.com.tw

焦點放在步驟 2，相較於圖 3-6 相似的範例，步驟 1 及 3 並無改變：

1. PC1 為了傳送封包到下一站路由器 R1，將 IP 封包封裝在一個以 R1 MAC 位址為目的地位址的乙太網路訊框之內。
2. 路由器 R1 從該訊框內解封裝（取出）封包，並再將此封包重新封裝進一個新的乙太網路訊框裡，使用新的標頭與標尾。來源 MAC 位址是 R1 介面 G0/1 的 MAC 位址，目的地 MAC 位址是 R2 介面 G0/0 的 MAC 位址。於是 R1 透過 EoMPLS 服務將訊框轉送到下一站路由器 R2。
3. 路由器 R2 從這乙太網路訊框之內解封裝（取出）封包，再將封包重新封裝進一個以 PC2 MAC 位址為目的地位址的乙太網路訊框之內，並將其轉送到下一站 PC2。

在本書中，路由器以廣域網線路（序列和乙太網路）相連，如本章所見，重點是 LAN 和 IP 路由。本章的其餘部分將注意力轉向深入研究 IP 路由。

3.3 IP 路由

許多通訊協定的模型已存在多年，但現今由 TCP/IP 模型佔主導地位。在 TCP/IP 網路層裡，該層的所有功能均圍繞在兩種選擇上，分別是 IP 第 4 版（IPv4）以及 IP 第 6 版（IPv6）。IPv4 及 IPv6 均定義了相同種類的網路層功能，但卻有不同的細節。本章將介紹這些 IPv4 的網路層功能。

> **注意**：本章所有關於 IP 的參考文件均指行之有年的 IPv4。

網際網路協定（IP）專門負責遞送資料，將資料以 IP 封包的形式從來源主機遞送到目的地主機。IP 並不涉及資料的實體傳輸，而是靠 TCP/IP 的底層來傳輸資料；亦即它只涉及資料傳送的邏輯細節，而非實體細節。特別的是，即使封包要穿越許多不同類型的 LAN 及 WAN 線路，網路層都能具體指定該封包如何在 TCP/IP 網路中做到端點到端點的移動。

本章的下一節將進一步深入探究 IP 路由。首先 IP 定義 IP 封包從傳送端主機遞送到目標主機的意義，途中經過一連串的資料鏈結層協定。接著本節將檢視 IP 定址規則如何劃分位址為子網，來幫助提高 IP 路由的效率。最後一節以 IP 路由協定的作用收場；IP 路由協定為路由器提供了一種方式，使它們可以學習到互聯網路中所有 IP 子網的路徑。

3.3.1 網路層路由（轉送）邏輯

路由器與終端使用者電腦（在 TCP/IP 網路中稱為**主機**）的互動實現了 IP 的路由。主機的作業系統（OS）含有 TCP/IP 軟體，包括執行網路層的軟體。主機

碁峰 www.gotop.com.tw

使用該軟體來決定向何處傳送 IP 封包，常常就是附近的路由器。路由器要對何處是 IP 封包的下一站做出選擇。主機與路由器共同將封包傳送到正確的目的地，如圖 3-10 所示。

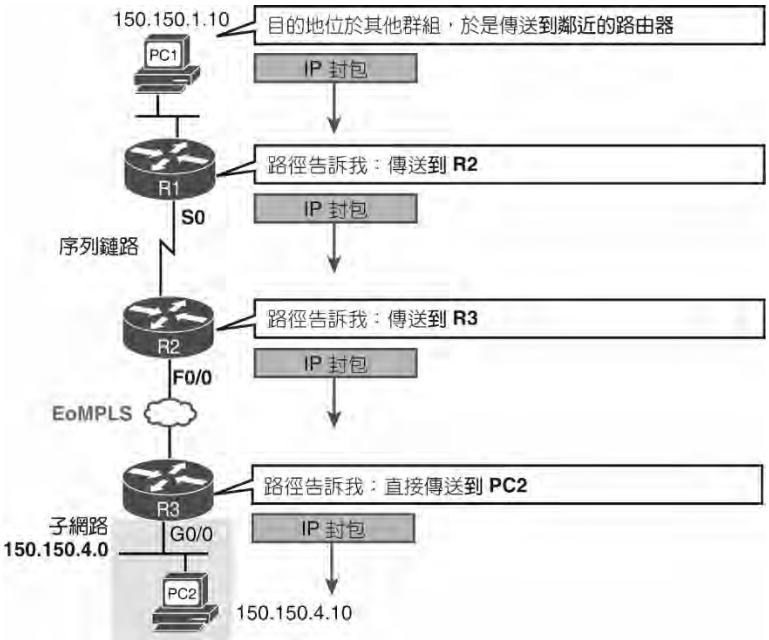

圖 3-10　路由邏輯：PC1 傳送 IP 封包到 PC2

由 PC1 所建立的 IP 封包自圖中頂端一路移動到圖中的底部。接下來討論沿著該路徑的每個裝置所使用的網路層路由邏輯。

> **注意：路徑選擇**（path selection）一詞有時是指像是圖 3-10 中的路由程序。而其他時候就像是路由協定，能具體地指出如何在多條可到達同一個目的地的路徑之中挑選出最佳路徑。

主機的轉送邏輯：將封包傳送到預設閘道

在此例中，PC1 做了些基本的分析，然後選擇將 IP 封包傳送到路由器，使路由器得以轉送該封包。PC1 分析封包的目的地位址，發現 PC2 的位址（150.150.4.10）與自己不在同一個 LAN 上，它的邏輯告訴它要把封包傳送到某個知道如何轉送該封包的設備，即位在相同 LAN 上的一台鄰近路由器，也就是 PC1 的預設閘道。

傳送端為了將 IP 封包送抵預設閘道，於是傳送出資料鏈結層訊框，跨越傳輸媒介後抵達鄰近的路由器；訊框的資料部分包含了封包，並在標頭內使用資料鏈結層（第 2 層）定址，以確保鄰近的路由器可以收到訊框。

碁峰 www.gotop.com.tw

> **注意**：「**預設路由器**」亦指「**預設閘道（default gateway）**」。

R1 與 R2 的邏輯：遞送資料跨越網路

所有的路由器都使用相同的程序來遞送封包。每一台路由器都會有自己的 **IP 路由表**。列出的 IP 位址編組稱為 **IP 網路**（IP network）及 **IP 子網**（IP subnet）。每當路由器接收到封包時，會逐一比對封包的目的地 IP 位址與路由表的路徑項目，符合的路徑會列出路由器轉送封包到下一站的方向。

在圖 3-10 中，R1 路由表擁有符合目的地位址（150.150.4.10）的一條路徑項目，該路徑告訴 R1 要將封包傳送給下一站的 R2。同樣地，R2 路由表內也會有一條符合的路徑項目，告訴 R2 傳送封包越過一條乙太廣域網線路後，可到達下一站的 R3。

路由的概念有點像是在高速公路上開車行經一個大型匝道時，抬頭會看見通往附近城鎮的許多路標，告訴我們哪一個出口通往哪一個城鎮。同樣地，路由器檢視 IP 路由表（相當於路標）並指示每一個封包傳送到正確的下一個 LAN 或 WAN 線路（相當於道路）。

R3 的邏輯：傳送資料到終端目的地

R3 是路徑上的末端路由器，使用的邏輯除了微小的差別外，幾乎與 R1 和 R2 相同。差別在於 R3 將封包直接轉送到 PC2，不再是其他的路由器。從表面上看來，此種差別顯得微不足道，但在下一節中介紹網路層如何使用 LAN 及 WAN 時，該差別的重要性將變得顯而易見。

3.3.2 網路層路由如何使用 LAN 及 WAN

雖然網路層的路由邏輯與實體傳輸的細節無關，但還是必須要傳送位元。為了完成這項工作，主機或路由器的網路層邏輯必須把封包交給資料鏈結層協定接手，然後該協定要求實體層接手並實際地傳送資料。在實體網路傳送訊框之前，資料鏈結層要先為封包添加適當的標頭及標尾而形成訊框。

路由程序使網路層的封包在網路上進行端對端的轉送，每個資料鏈結層訊框只走其中一小段的路程，將訊框內的封包搬移到由網路層邏輯所決定的下一台設備。簡而言之，網路層思考的角度是宏觀層面，像是「把封包傳送到下一個指定的路由器或主機」，但資料鏈結層是從微觀來思考，諸如「把封包封裝在訊框內並傳送它」。以下列表針對每個封包整理出路由器內部網路層路由的主要步驟，從訊框到達路由器介面開始看：

Key Topic

步驟 1. 使用資料鏈結層訊框的 FCS 欄位，來確保該訊框沒有錯誤，如果發生錯誤，則丟棄該訊框。

步驟 2. 假設該訊框在步驟 1 沒有被丟棄，就要摒棄舊的資料鏈結層標頭和標尾，並留下內部的 IP 封包。

碁峰 www.gotop.com.tw

步驟 3. 將 IP 封包的目的地位址與路由表進行比對，並找到符合目的地位址的最佳路徑。這條路徑能確定該路由器的出境介面，以及可能是下一站路由器的 IP 位址。

步驟 4. 將該 IP 封包封裝到新的資料鏈結層標頭及標尾之間，並轉送該訊框到相符的出境介面。

圖 3-11 重複了 PC1 傳送到 PC2 的封包例子，接著詳細分析每個設備的遞送邏輯。有關 PC1 和三台路由器中的每一台如何建立適當的新資料鏈結層標頭，每個步驟都有鉅細靡遺的解釋。

Key Topic

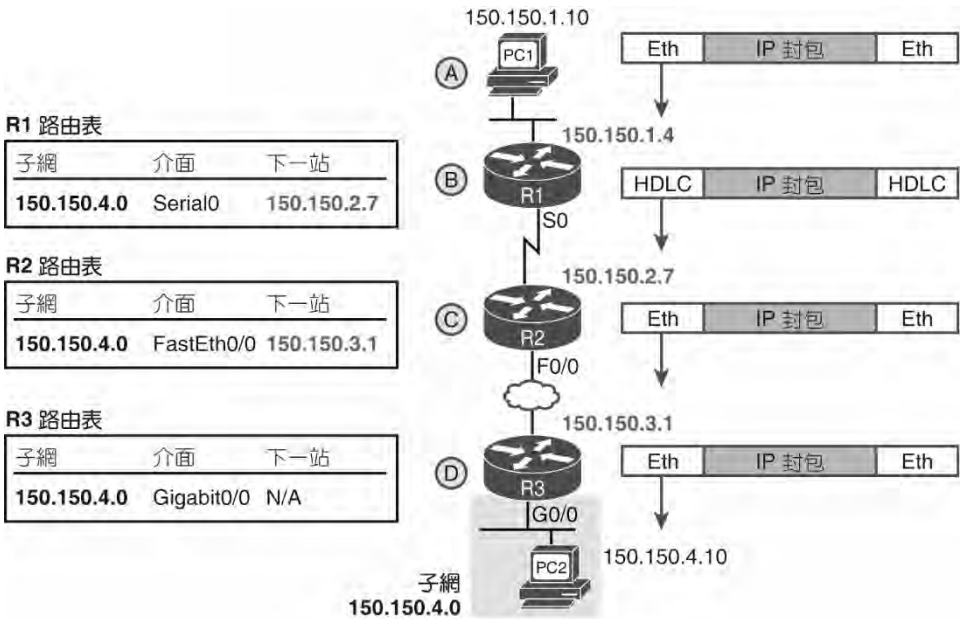

圖 3-11　網路層及資料鏈結層的封裝

下列解釋每一台路由器的轉送邏輯，著重在路由與資料線路的整合：

步驟 A. **PC1 傳送封包到它的預設閘道。**PC1 的網路層邏輯以 PC2 的 IP 位址（150.150.4.10）作為目的地位址來建構 IP 封包。網路層執行分析，認為 150.150.4.10 不在本地的 IP 子網內，所以 PC1 將封包傳送到 R1（PC1 的預設閘道）。PC1 會將該 IP 封包放到乙太網路資料鏈結層訊框之內，並以 R1 的乙太網路位址作為目的地位址，然後傳送此訊框到乙太網路上。

步驟 B. **R1 處理入境的訊框並轉送封包到 R2。**因為入境訊框之目的地 MAC 位址是 R1 的乙太網路位址，R1 決定處理訊框。R1 檢查訊框的 FCS 是否正確，若無錯誤，就移除乙太網路標頭與標尾。接著，R1 比對封包的目的地位址（150.150.4.10）與其路由表，發現有個子網路項目是 150.150.4.0。由於目的地位址 150.150.4.10 是在該子網範圍內，R1 必

www.gotop.com.tw

須先將 IP 封包封裝在 HDLC 訊框內，再將封包從符合路徑所列的介面面 Serial0 轉送出去，傳到下一站路由器 R2（150.150.2.7）。

步驟 C. R2 處理入境訊框並轉送封包到 R3。當 R2 接收到 HDLC 訊框後，重複著與 R1 相同的過程，檢查 FCS 欄位且無錯誤發生，然後丟棄 HDLC 標頭與標尾。接下來，R2 將封包的目標位址（150.150.4.10）與它的路由表進行比較，找到子網 150.150.4.0 的項目，R2 依該路徑的指示，將封包從 Fast Ethernet 0/0 介面轉送到下一站路由器 150.150.3.1（R3）。但首先，R2 必須將封包封裝在乙太網路標頭之內。在乙太廣域網線路上，該標頭分別使用 R2 的 MAC 位址和 R3 的 MAC 位址作為來源 MAC 位址和目標 MAC 位址。

步驟 D. R3 處理入境訊框並轉送封包到 PC2。就像 R1 和 R2 一樣，R3 檢查 FCS 後，丟棄舊的乙太網路標頭與標尾，並在路由表中找到符合子網路 150.150.4.0 的路徑，且顯示出境介面是它的乙太網路介面，而非下一站的路由器，原因是 R3 直接連接子網路 150.150.4.0。R3 所要做的就是將封包封裝在新的乙太網路標頭與標尾之內，但目的地乙太網路位址為 PC2 的 MAC 位址。

因為路由器建立新的標頭與標尾，並且新的標頭內要含有資料鏈結層的位址，所以 PC 及路由器必須以某種方式來決定標頭內所使用的位址，決定方式是採用**位址解析協定**（Address Resolution Protocol，ARP）。ARP 會動態地學習 LAN 中 IP 主機的資料鏈結層位址。例如，圖 3-11 底部的最後一步中，路由器 R3 在傳送資料給 PC2 之前，先使用一次 ARP 來獲得 PC2 的 MAC 位址。

3.3.3 IP 定址如何協助 IP 遞送

IP 定義網路層的位址，用來辨識 TCP/IP 網路中任何主機或與連接的路由器介面。任何期待接收 IP 封包的介面都需要有一個 IP 位址，這個觀念就像傳統上的郵件一樣，必須要有個收件者位址才能收到郵局遞送過來的郵件。下一個簡短主題介紹 IP 網路和子網的概念，它們是 IP 定義的位址群組。

> **注意**：IP 定義「**網路（network）**」一詞是個具有針對性的概念。本書（及其他書）提到有關 IP 位址時，常常會提到「**網路**」。為了避免混淆，遇到廣泛表示一個由路由器、交換器、電纜，及其他設備組成的「網路」時，本書改用術語「**互連網路（internetwork）**」。

碁峰 www.gotop.com.tw

IP 位址分類的規則（網路與子網）

TCP/IP 對 IP 位址進行分類，同一個實體網路上的 IP 位址屬於相同的群組。IP 稱這些位址群組為 **IP 網路**（IP network）或 **IP 子網**（IP subnet）。以郵政系統做比喻，每個 IP 網路和 IP 子網路就像是郵遞區號（在美國稱之為 ZIP code），所有鄰近的郵件位址都屬於同一個郵遞區號（ZIP code），通常所有鄰近的 IP 位址屬於同一個 IP 網路或 IP 子網。

對於哪些 IP 位址應屬於相同的 IP 網路或 IP 子網，IP 制定了特定的規則。就數值上來說，相同群組的位址在第一個部分都具有相同的數值。例如，圖 3-10 和 3-11 都使用以下的規則：

- 頂部乙太網路的主機：位址以 150.150.1 開始
- 在 R1-R2 序列線路上的主機：位址以 150.150.2 開始
- 在 R2-R3 EoMPLS 線路上的主機：位址以 150.150.3 開始
- 底部乙太網路的主機：位址以 150.150.4 開始

從 IP 路由的角度來看，IP 位址的分組意味著路由表可以變得更小巧。路由器會替每個 IP 網路或子網列載一個路由表項目，省去為每個 IP 位址一一列載項目。

雖然該列表僅顯示如何對 IP 位址進行分組的一個例子，但有關利用子網分組的規則，卻需要費些功夫來精通概念和數學計算。本書第三節詳細介紹 IP 定址和子網切割，讀者可以找到本書簡介中列出的其他子網劃分的影片和練習軟體。子網切割的兩個基本規則簡要整理如下：

Key Topic

- 兩個 IP 位址必須位於同一組（子網）中，且彼此不被路由器隔開。
- 兩個 IP 位址（彼此至少由一台路由器隔開）必須位於不同群組（子網）中。

它類似於郵政的郵遞區號系統，需要地方政府分配地址給新建的建築物。若是相鄰的兩棟房子擁有不同的郵遞區號，顯然錯得離譜。若同一個國家，不同行政地區的居民擁有相同的郵遞區號，同樣也很荒謬。

IP 標頭

路由的過程還使用了 IPv4 的標頭，如圖 3-12。IPv4 標頭擁有 32 位元的來源 IP 位址及 32 位元的目的地 IP 位址。該標頭還有其他欄位，其中一些欄位在本書中另有討論。本書將根據需要參考此圖，但除此之外，要注意這個 20 位元的 IP 標頭，以及來源與目的地 IP 位址的存在。請注意，在本章到目前為止的範例中，路由器在每次遞送封包時都會刪除並加上資料鏈結層標頭，而 IP 標頭保留下來，且 IP 位址在 IP 路由過程中保持不變。

碁峰 www.gotop.com.tw

圖 3-12 IPv4 標頭由 4 位元組寬共計 20 位元組的欄位所構成

3.3.4 IP 路由協定如何協助 IP 遞送

就運行在主機和路由器的路由邏輯而言，每個主機和路由器皆必須瞭解相關的 TCP/IP 互連網路。主機需要知道預設閘道的 IP 位址，以便將封包傳送到遠端目的地。然而，路由器卻要知道路徑，以便能將封包轉送到每一台路由器及任何一個有效的 IP 網路與 IP 子網。

路由器瞭解所有有效路徑的最佳方法，是將路由器配置為使用相同的 IP 路由協定。或者，網路工程師在每個路由器上都設定（手動輸入）所需的全部路徑。如果在 TCP/IP 互連網路中的所有路由器都啟用相同的路由協定並予以正確的設定，這些路由器將會彼此互相傳送路由協定的訊息。結果是所有路由器都能得知該 TCP/IP 互連網路中所有 IP 網路及子網路。

IP 支援若干不同的 IP 路由協定。所有協定都使用一些相似的觀念和過程來學習 IP 路徑，但是不同的路由協定內部確實存在一些差異。否則就不需要一種以上的路由協定了。然而許多路由協定一般採用相同的步驟來學習路徑，詳述如下：

Key Topic

步驟 1. 不論路由協定為何，每台路由器都會將每個直連子網路添加到路由表中而成為一條路徑。

步驟 2. 每台路由器的路由協定都告訴它的鄰居關於自己路由表中的路徑，包括直連路徑，以及從其他路由器學到的路徑。

步驟 3. 從鄰居學到新的路徑後，路由器的路由協定就把該路徑添加到它的路由表中，該路徑的下一站路由器通常是本身獲知路徑的鄰居。

另外注意在最後一步當中，路由器可能必須在多個路徑之間進行選擇才能到達一個子網。發生這種情況時，路由器會根據稱為權值的度量值，將目前到達子網有效的最佳路徑放到路由表之中。

圖 3-13 使用與圖 3-10 和 3-11 相同的圖，顯示路由協定如何運作的例子。在本例中，IP 子網 150.150.4.0（由所有以 150.150.4.0 開頭的位址所組成）位於圖底部的乙太網路上。該圖顯示從下到上通告子網 150.150.4.0 的路徑，如下圖所示。

碁峰 www.gotop.com.tw

Key Topic

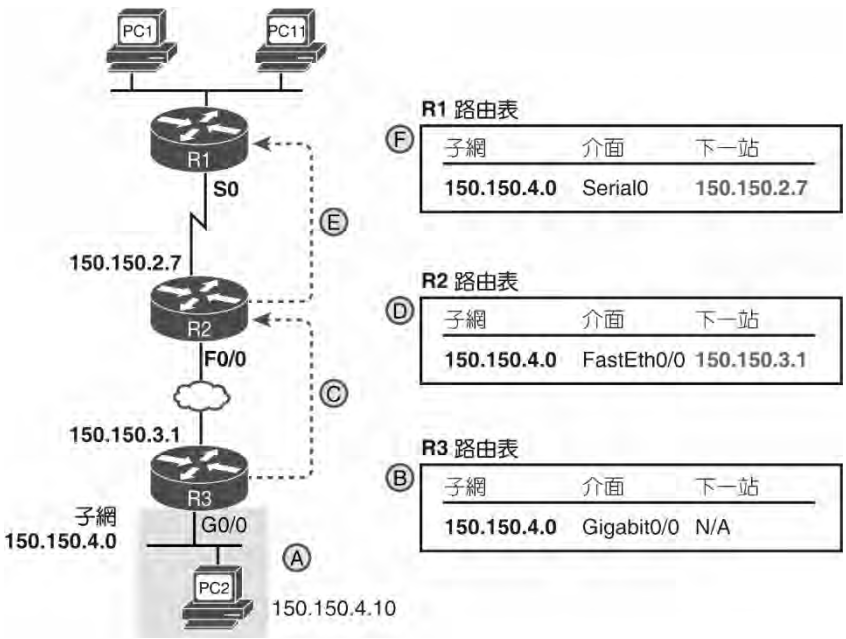

圖 3-13　路由協定如何通告有關網路和子網的例子

請依照圖中的步驟 A 到 F 來理解每台路由器如何學到路徑 150.150.4.0。

步驟 A. 子網 150.150.4.0 位於圖中的底部，並連接到路由器 R3 。

步驟 B. R3 添加了一條直連路徑 150.150.4.0 到自己的 IP 路由表中，無須路由通訊協定的幫助。

步驟 C. R3 發送一個路由協定的訊息到 R2，該訊息稱為**路徑更新**（routing update），引起 R2 去學習子網路 150.150.4.0。

步驟 D. R2 添加一條子網 150.150.4.0 的路徑到它的路由表之中。

步驟 E. R2 發送一個類似的路徑更新到 R1，引起 R1 去學習子網路 150.150.4.0。

步驟 F. R1 添加一條子網路 150.150.4.0 的路徑到它的路由表中。該路徑列出 R1 本身的 Serial0 為出境介面，及 R2 是下一站路由器的 IP 位址（150.150.2.7）。

3.4 其他網路層功能

除了 IP 之外，TCP/IP 網路層也定義了許多功能。IP 在當今的網路扮演著重要的角色，它定義了 IP 定址及 IP 路由。然而，由其他 RFC 所定義的其他通訊協定及標準，也在網路層發揮重要的功能。例如，路由協定就存在著不同的通訊協定，如 OSPF，由個別的 RFC 所定義。

碁峰 www.gotop.com.tw

本章最後這一節介紹其他三個網路層的功能，相信對讀者研讀本書其餘部分有所幫助。最後這三個主題只是有助於彌補一些不足的部分，提供一些觀點並幫助讀者理解後面的討論。這三個主題分別是：

- 網域名稱系統（DNS）
- 位址解析協定（ARP）
- Ping

3.4.1 使用名稱及網域名稱系統

讀者能想像每次當你使用應用程式時，必須根據 IP 位址來連線到它嗎？若不使用像是 google.com 或 facebook.com 簡單的名稱，人們就必須記住和輸入 IP 位址，例如 64.233.177.100（截至發稿時，64.233.177.100 是 Google 使用的位址，你可以在瀏覽器中鍵入該位址來造訪 Google 網站）。當然，要求使用者記住 IP 位址想必不會受到使用者的青睞，甚至迫使一些人不想再使用電腦。

值得慶幸的是，TCP/IP 定義了方法來使用主機名稱，以便能識別其他的電腦。使用者不必知道其他電腦的 IP，就能透過名稱來造訪它們。通訊協定可動態地發現所有必要的資訊，提供以名稱為基礎的通訊。

例如，當打開 Web 瀏覽器並輸入主機名稱 **www.google.com** 時，電腦不會發送以 www.google.com 為目的地 IP 位址的 IP 封包，而是發送 IP 封包到一個被 Google Web 伺服器所使用的 IP 位址。TCP/IP 需要一種方式讓電腦去發現被列在名單上之主機名稱所使用的 IP 位址，這個方法就是使用**網域名稱系統**（Domain Name System，**DNS**）。

企業使用 DNS 程序將名稱解析至對應的 IP 位址，如圖 3-14 所示。在此例中，左側的 PC11 需要連接到一台名為 Server1 的伺服器，使用者可能鍵入 Server1 這個名稱，或是 PC11 上的一些應用程式藉由名稱來查詢該伺服器。在步驟 1 裡，PC11 發送一個 DNS 訊息（DNS 查詢）到 DNS 伺服器。步驟 2，DNS 伺服器發送一個 DNS 回應，其中含有 Server1 的 IP 位址。步驟 3，PC11 現在可以發送 IP 封包到目的地位址 10.1.2.3，即 Server1 的位址。

Key Topic

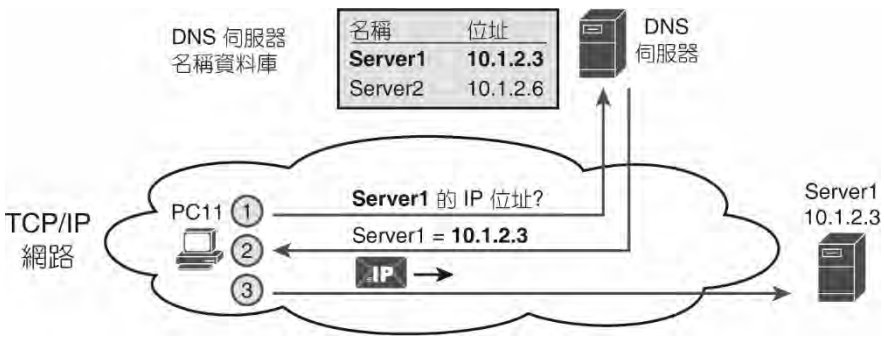

圖 3-14 基本的 DNS 名稱解析請求

碁峰 www.gotop.com.tw

請注意，圖 3-14 的 TCP/IP 網路以雲朵來表示，因為網路中的細節，包括路由器等，都和名稱解析的過程無關。路由器對待 DNS 訊息就像對待任何其他的 IP 封包一樣，基於目的地 IP 位址來遞送它們。例如在步驟 1 中，DNS 查詢以 DNS 伺服器的 IP 位址當作目的地位址，供路由器轉送封包之用。

最後，DNS 所定義的不僅僅是幾個訊息而已，它還定義通訊協定、世界通用的文字名稱標準，以及世界各地的分散式 DNS 伺服器。人們每天瀏覽網頁所使用的網域名稱，諸如 www.example.com，都遵循著 DNS 的命名標準。此外，沒有任何一台 DNS 伺服器能知道全世界所有的名稱及對應的 IP 位址，因為資訊被分散在許多的 DNS 伺服器中。為此，全世界的 DNS 伺服器一起協同合作，彼此互相轉送查詢，直到知道答案的伺服器提供所需的 IP 位址資訊為止。

3.4.2 位址解析協定

如本章深入探討的那樣，IP 路由邏輯需要主機與路由器將 IP 封包封裝到資料鏈結層訊框之內。對於乙太網介面而言，路由器如何知道用於目的地的 MAC 位址呢？ 答案是使用 ARP。

在乙太網路的 LAN 中，只要主機或路由器需要封裝 IP 封包到新的乙太網路訊框，就能知道所有建構標頭的重要資訊，除了目的地 MAC 位址之外。主機知道下一站設備的 IP 位址，無論它是另一個主機或是預設閘道的 IP 位址。路由器知道轉送 IP 封包的 IP 路徑，包括下一站路由器的 IP 位址。然而，主機和路由器原先都不知道那些相鄰設備的 MAC 位址。

TCP/IP 定義**位址解析協定**（Address Resolution Protocol，ARP），藉由 ARP 這個方法，任何在 LAN 中的主機或路由器都能動態地學習同一個 LAN 中的另一台 IP 主機或路由器的 MAC 位址。ARP 定義了一個通訊協定，其中包括 **ARP 請求**（ARP Request），這是用來提出簡單的要求「如果這是你的 IP 位址，請回覆你的 MAC 位址。」的一種訊息。ARP 還定義了 **ARP 回應**（ARP Reply），負責回覆原本的 IP 位址及對應的 MAC 位址。

圖 3-15 中的例子使用圖 3-13 底部相同的路由器及主機。圖左顯示路由器 R3 傳送的 ARP 請求是個 LAN 廣播，隨後 LAN 上的所有設備會處理收到的訊框。圖右的步驟 2 中，主機 PC2 送出一個確認 PC2 的 MAC 位址之 ARP 回應。每則訊息旁邊的文字顯示該訊息本身內部的內容，它能讓 PC2 學習 R3 的 IP 位址及對應的 MAC 位址，也能讓 R3 學習 PC2 的 IP 位址及對應的 MAC 位址。

主機和路由器記住了 ARP 的結果，將其保存到自己的 **ARP 快取**或 **ARP 資料表**中。主機或路由器只需偶爾使用 ARP，第一次就能建立 ARP 快取。每當主機或路由器需要發送被封裝在乙太網路訊框內的封包時，首先會檢查自己的 ARP 快取，以獲得正確的 IP 位址及對應的 MAC 位址。主機和路由器讓 ARP 表以時間逾期的方式來清除該表的內容，因此偶爾會看到 ARP 請求的出現。

碁峰 www.gotop.com.tw

Key Topic

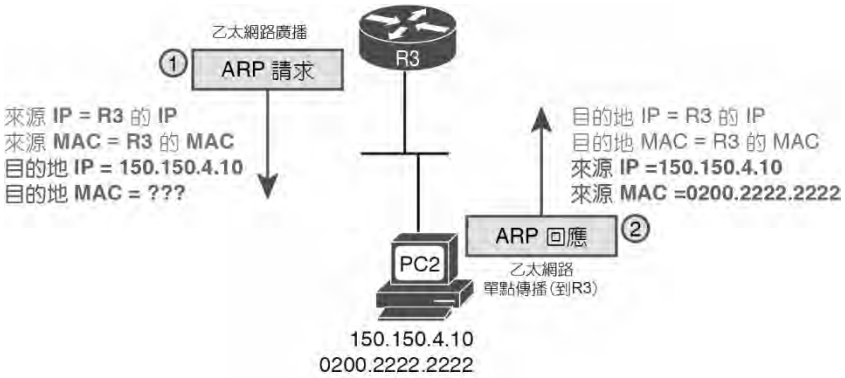

圖 3-15 ARP 的程序範例

> **注意**：欲在大多數 PC 作業系統上觀察 ARP 快取的內容，可以在命令列下達 **arp -a** 命令。

3.4.3 ICMP echo 及 ping 命令

在實作一個 TCP/IP 互連網路後，需要某種方法來測試基本的 IP 連線，而不依賴任何的應用程式。測試基本網路連線的主要工具是 **ping** 指令。

Ping（Packet Internet Groper）使用**網際網路控制訊息協定**（Internet Control Message Protocol，ICMP）發送一個稱為 **ICMP echo 請求**（ICMP echo request）的訊息到另一個 IP 位址。具有該 IP 位址的電腦應該會答覆一個 **ICMP echo 回應**（ICMP echo reply）。如果收到回應，表示已經成功地測試了該 IP 網路，換句話說，該網路可以自一台主機傳送封包到其他的主機，並且封包可以返回至來源。ICMP 不依賴任何的應用程式，僅是用來測試基本的 IP 連線，測試過程涵蓋了 OSI 模型的第 1、第 2 及第 3 層。圖 3-16 概述這基本過程。

圖 3-16 網路與 ping 命令的例子

雖然 **ping** 命令使用 ICMP，但 ICMP 具有更多功能，它定義了許多訊息，令設備可以用來幫助管理及控制 IP 網路。

碁峰 www.gotop.com.tw

章節複習

在讀者準備進入到下一章以前，第一章之前的「讀書計劃」單元探討了讀者應該學習和練習每一章的內容與技能，當時所介紹的工具都會在每一章的最後派上用場。若是讀者尚未準備就緒，建議花個幾分鐘的時間去閱讀它，接著回到這裡複習本章以加深閱讀的印象。

請利用本書中的工具或是教學輔助網站上找到相同教材的互動式工具來複習本章。表 3-4 列出主要的複習單元與尋找的地方。為了詳細記錄讀者的學習進度，請將完成活動的時間記錄在第 2 欄。

表 3-4　章節複習記錄

複習單元	複習日期	使用的資源
複習關鍵主題		書本、網站
複習關鍵詞彙		書本、網站
自我評量測驗作答		書本、PTP
複習記憶表		書本、網站

3.5　複習所有的關鍵主題

Key Topic

表 3-5　第 3 章的關鍵主題

關鍵主題單元	說明	頁次
圖 3-7	EoMPLS 的實體連接	66
清單	有關路由器如何遞送（轉送）封包的四步驟程序	70
圖 3-11	IP 路由與封裝	71
清單	關於 IP 如何將 IP 位址分組為網路或子網的兩行敘述	73
清單	有關路由協定學習路徑的三步驟程序	74
圖 3-13	IP 路由協定的基本程序	75
圖 3-14	顯示 DNS 名稱解析之目的與程序的例子	76
圖 3-15	ARP 之目的與程序的例子	78

3.6　關鍵詞彙

leased line, wide-area network (WAN), telco, serial interface, HDLC, Ethernet over MPLS, Ethernet Line Service (E-Line), default router (default gateway), routing table, IP network, IP subnet, IP packet, routing protocol, dotted-decimal notation (DDN), IPv4 address, unicast IP address, subnetting, hostname, DNS, ARP, ping

碁峰 www.gotop.com.tw