電腦網路概論

考前準備書（全文字稿版）

第 1 章　計算機網路與網際網路

第 2 章　應用層

第 4 章　網路層：資料層

書末：問題查詢表、關鍵字索引、自行補充頁

課本：Kurose & Ross, Computer Networking: A Top-Down Approach, 8th ed.

授課：徐武孝 教授

整理自課程講義（中文 1 份、英文 3 份，共 493 張投影片）

整理日期：2026 年 11 月 2 日

目錄

第 1 章　計算機網路與網際網路 5
1.1　什麼是網際網路 5
1.2　網路邊際 5
1.3　網路核心 7
1.4　延遲、遺失與產出率 8
1.5　協定分層與服務模型 10
1.6　面臨攻擊的網路 11
1.7　網際網路歷史 11
第 2 章　應用層 13
2.1　網路應用程式原理 13
2.2　Web 與 HTTP 15
2.3　DNS 網域名稱系統 18
2.4　內容傳遞網路 CDN 20
第 4 章　網路層：資料層 22
4.1　網路層概觀 22
4.2　路由器與最長前綴比對 23
4.3　IP 資料包格式 23
4.4　IP 定址 25
4.5　特殊位址、路由聚合與私有位址 27
4.6　NAT 網路位址轉換 27
4.7　DHCP 動態主機設定協定 28
附錄 A　公式總表 29
附錄 B　中英術語對照 30
附錄 C　數字速查 32
附錄 D　模擬試題 33
附錄 E　講義疑點與不一致 36
附錄 F　考前檢查清單 38
問題查詢表 40
關鍵字索引：英文與縮寫（A–Z） 42

關鍵字索引：中文（依首字筆畫）..... 52
自行補充頁..... 59

如何查這本書

這是《考前準備書》的全文字稿版：內容相同，但表格與方框都改寫成連續文字，方便閱讀與用 Ctrl＋F 搜尋。頁碼以每頁下方的數字為準。

開書考試時，建議這樣查：

1. **知道題目在問什麼類型**（例如算分割、算 RTT）：先翻書末的「問題查詢表」。
2. **題目裡有特定名詞**：查「關鍵字索引」。英文與縮寫查 A–Z，中文名詞依首字筆畫查。
3. **粗體頁碼**是定義或主要說明所在的頁；其他頁碼是也有提到的地方。「等」表示還有更多頁提到，先看列出的即可。
4. **要公式或數字**：直接翻附錄 A（公式）與附錄 C（數字）。

文字標記：【考點】是重點定義或結論，【易混淆】是常被搞混的地方，【例題】是計算範例，【補充】是背景說明。每節開頭的「重要度」是依講義篇幅與例題量所做的推估，不是老師公布的考試重點。「來源」如「英 2 p.59–60」代表英文第 2 章第 59 到 60 張投影片（中 1＝中文第 1 章，英 1、英 2、英 4＝英文第 1、2、4 章）。

【請注意】講義中有幾處數字或說法前後不一致，已整理在附錄 E，也列出講義沒有涵蓋的範圍（例如沒有第 3 章）。

頁碼提醒：索引頁碼依這份檔案的版面算出。列印或開書時建議用同時附上的 PDF，頁碼不會跑掉；若修改了 Word 正文內容，索引頁碼可能需要重新對照。

第 1 章　計算機網路與網際網路

【本章速覽】本章要帶走的六件事：① 協定的定義；② 封包交換與電路交換的差異；③ 四種節點延遲與公式；④ 流量強度 La/R；⑤ 瓶頸連結與產出率 min{…}；⑥ 五層協定堆疊、各層封包名稱與封裝。

1.1　什麼是網際網路

重要度 ★★☆　｜　來源：中 1 p.6–19；英 1 p.4–17

網際網路可以從兩個角度描述：一是**組成它的軟硬體元件**，二是**它提供給應用程式的服務**。考題常直接問這兩種角度各看到什麼。

- **基本元素（nuts and bolts）**　看到的內容：主機／終端系統、通訊連結、封包交換器、ISP、協定、標準組織
- **服務（service）**　看到的內容：提供服務給**分散式應用程式**的基礎設施，並透過 **socket 介面（API）**讓應用程式取用，就像寄信要遵守郵政服務的規矩

基本元素

- **主機（host）＝終端系統（end system）**：執行網路應用程式的裝置，位於網際網路的邊際；又分成用戶端（client）與伺服器（server）。
- **通訊連結（communication link）**：光纖、銅線、無線電、衛星；**傳輸速率**以 bits/sec 計。
- **封包（packet）**：傳送端把資料切成區段，加上標頭（header）後形成。
- **封包交換器（packet switch）**：從向內連結收封包、由向外連結轉送。兩大類：**路由器**（多用於網路核心）、**連結層交換器**（多用於連線網路）。
- **路由／路徑（route / path）**：封包從傳送端到接收端經過的一連串連結與交換器。
- **ISP**：終端系統透過它存取網際網路，本身也是由封包交換器與連結組成的網路，彼此必須互連，所以網際網路是「**網路的網路**」。
- **標準**：網際網路標準由 **IETF** 制定，文件稱 **RFC**（Request for Comments）；**IEEE 802** 委員會制定乙太網路與 WiFi 標準。
- **最重要的兩個協定**：TCP 與 IP，合稱 TCP/IP。

【考點】協定（protocol）定義了兩個以上通訊實體之間交換訊息的**格式**與**順序**，以及在傳送、接收訊息或發生其他事件時要採取的**動作**。背誦時抓三個關鍵字：格式、順序、動作。

1.2　網路邊際

重要度 ★★☆　｜　來源：中 1 p.20–47；英 1 p.19–54

連線網路（access network）是把終端系統連到路徑上第一具路由器（**邊際路由器**）的實體連結。

連線網路比較

- **DSL**　基礎設施／設備：既有電話線（雙絞線）；DSL 數據機、分離器（splitter）、**DSLAM**；運作重點：資料與電話以不同頻率共用線路，一條線看起來像三條；DSLAM 把資料送進網際網路、電話送進電話網；數字與特性：下行 24–52 Mbps、上行 3.5–16 Mbps；**專用**線路、**不對稱**
- **纜線 Cable**　基礎設施／設備：有線電視設施，**HFC**（光纖＋同軸）；纜線數據機、頭端 **CMTS**；運作重點：光纖到鄰里光纖節點，再以同軸到戶；以 **FDM** 分頻道；**共用廣播媒介**，多人同時下載時每人速率會明顯下降；數字與特性：每個光纖節點 500–5000 戶；DOCSIS 2.0 下行 42.8、上行 30.7 Mbps；不對稱
- **FTTH**　基礎設施／設備：光纖到戶（光世代）；**ONT**、光分離器、**OLT**；運作重點：兩種架構：**AON**（本質上是交換式乙太網路）與 **PON**。PON 由分離器把多戶（通常少於 100 戶）併到一條共用光纖；OLT 收發的封包在分離器複製；數字與特性：可達 Gbps 等級；PON 又分 GPON、EPON
- **FTTB＋VDSL**　基礎設施／設備：光纖到大樓；運作重點：機房到大樓用光纖，大樓機房到住家用乙太網路或 VDSL（銅線）；數字與特性：台灣常見的過渡方案
- **5G 固定無線**　基礎設施／設備：基地台到家；運作重點：不必從中央機房鋪線到住家；數字與特性：省去昂貴又易故障的佈線
- **乙太網路**　基礎設施／設備：乙太網路交換器；運作重點：企業、大學與家庭最普遍的 LAN 技術；數字與特性：10 Mbps–10 Gbps
- **WiFi**　基礎設施／設備：存取點（IEEE 802.11）；運作重點：使用者須在存取點數十公尺內；數字與特性：WiFi 6／7；共用無線媒介
- **廣域無線**　基礎設施／設備：電信業者基地台；運作重點：與蜂巢電話相同的基礎設施；數字與特性：涵蓋數十公里；4G、5G
- **資料中心**　基礎設施／設備：高速連結；運作重點：連接成百上千台伺服器並接上網際網路；數字與特性：每條 10–100 多 Gbps

【考點】DSL 三個頻帶：0–4 kHz 雙向電話；4–50 kHz 中速上行；50 kHz–1 MHz 高速下行。

DSL 實際速率受限因素：業者的費率層級、住家到中央機房的距離、雙絞線線徑、電氣干擾。DSL 本來就是為短距離設計。

DSL 與纜線最關鍵的差別：DSL 是專用線路；纜線是共用廣播媒介。

【補充】家庭網路通常把寬頻數據機（纜線／DSL／FTTH）與路由器、WiFi 存取點結合。HiNet 光世代資費表（公告日期 2025/5/2）同時有對稱（如 1G/1G）與不對稱（如 100M/40M、16M/3M）方案，可當作「不對稱」的實例。

實體媒介

位元經由電磁波或光脈衝跨越實體媒介傳送。**導引式媒介**：訊號沿固體媒介前進（銅線、同軸、光纖）；**非導引式媒介**：訊號在大氣或外太空自由傳播（無線電、衛星）。

- **雙絞銅線**　類別：導引式；特性：最便宜、最常用；兩條絕緣銅線互絞以降低電磁干擾；LAN 常用 UTP；數字：Cat 5：100 Mbps／1 Gbps；Cat 6 以上：10 Gbps；第 6a 類 UTP：100 公尺內 10 Gbps

- **同軸電纜**　類別：導引式；特性：兩條銅導體**同軸**排列；雙向；可當共用媒介；寬頻（一條線多個頻道）；數字：每頻道數百 Mbps
- **光纖**　類別：導引式；特性：傳光脈衝，每個脈衝一個位元；錯誤率低、中繼器間距大、**不受電磁干擾**；用於骨幹與長途；數字：點對點 10–100 多 Gbps；OC-n＝n × 51.8 Mbps
- **地表無線電**　類別：非導引式；特性：不必鋪線、可穿牆、支援行動、距離長；廣播、半雙工；受路徑遺失、遮蔽衰減、多路徑衰減、干擾影響；數字：WiFi：10–數百 Mbps、數十公尺；4G：數十 Mbps、約 10 km；藍牙：短距低速；微波：45 Mbps
- **衛星**　類別：非導引式；特性：**同步衛星**固定於上空 36,000 公里；**LEO 低軌道衛星**離地近、會繞地球移動，可彼此及與地面站通訊；數字：每頻道可達 45 Mbps；端對端延遲約 270 ms

1.3　網路核心

重要度 ★★★　｜　來源：中 1 p.48–74；英 1 p.56–78

核心的兩大功能

- **範圍**　轉送（Forwarding）：**區域**動作，單一路由器內；繞送（Routing）：**全域**動作，整個網路
- **做什麼**　轉送（Forwarding）：把封包從輸入連結移到適當的輸出連結；繞送（Routing）：決定封包從來源到目的地的路徑
- **靠什麼**　轉送（Forwarding）：**轉送表**（目的位址對映向外連結）；繞送（Routing）：**繞送演算法／協定**，用來自動設定轉送表

封包交換

- **儲存轉送（store-and-forward）**：交換器必須**收完整個封包**才能開始傳到下一條連結。把 L 位元封包推進速率 R 的連結要 L/R 秒。
- **佇列延遲與封包遺失**：每條連結都有**輸出緩衝區**。抵達速率暫時超過連結傳輸速率時封包就排隊；緩衝區滿了，新到或已在佇列中的封包會被丟棄。
- **如何決定走哪條連結**：來源把目的 IP 位址寫進標頭，路由器以該位址查轉送表。

【例題】L＝10 Kbits，R＝100 Mbps。單一跳的傳輸延遲＝$10^4 \div 10^8$＝**0.1 ms**。

若路徑有 3 條相同的連結（2 具路由器），且忽略其他延遲，儲存轉送造成的端對端延遲＝3 × L/R＝**0.3 ms**。

電路交換

傳送前先建立端對端連線，路徑上的資源（緩衝區、傳輸速率）在整個通訊期間都被**預約保留**，傳送端能以受保障的固定速率傳輸。傳統電話網路是典型例子。連結中的迴路以兩種方式實作：

- **切什麼**　FDM 分頻多工：切**頻譜**，每筆連線一段專用頻帶（頻帶寬度即頻寬）；TDM 分時多工：切**時間**成時框，每個時框再切固定數目的時槽
- **每筆連線得到**　FDM 分頻多工：全程專用一段頻帶；TDM 分時多工：每個時框固定一個專用時槽

封包交換與電路交換比較

- **資源分配**　封包交換：**依需求**分配，逐封包共用；電路交換：**預先**分配，不管是否需要
- **閒置時**　封包交換：別人可使用連結容量；電路交換：沉靜期迴路閒置，形成浪費
- **建立連線**　封包交換：不需要；電路交換：需要，且須複雜的訊號軟體協調路徑上的交換器
- **延遲**　封包交換：不固定、不可預測（主因是佇列延遲）；電路交換：固定速率，有保障
- **優點**　封包交換：頻寬分享較好、較簡單、較有效率、實作成本低；電路交換：適合需要穩定品質的即時服務
- **缺點**　封包交換：不提供保障，可能壅塞與遺失；電路交換：資源利用率低

網路的網路：ISP 結構如何一步步形成

1. **全部兩兩互連？** 數量級 $O(N^2)$，無法擴展。
2. **全部接到一家全球轉運 ISP**：連線 ISP 是**顧客**，全球 ISP 是**供應者**，依流量付費。
3. **有利可圖就會有競爭者**：出現多家全球 ISP，它們彼此也必須互連。
4. **區域 ISP 出現**：連線 ISP 接區域 ISP，區域 ISP 接第一層 ISP。
5. **IXP 與對等**：第三方建立網際網路互換點，讓多家 ISP 在此對等互連。
6. **內容供應者網路**：Google 等自建私有 TCP/IP 網路連接資料中心，盡量直接連低層 ISP，略過上層。

- **第一層 ISP（tier-1）**　意義：類似全球轉運 ISP，但不必遍布每座城市；全球約十幾家（如 Level 3、AT&T、Sprint、NTT、Verizon）；**位於頂端，不付費給任何人**
- **PoP（存取點）**　意義：供應者網路中一組路由器，顧客 ISP 可在此接入，通常租用高速連結連到 PoP 的路由器
- **多點上層連接（multi-home）**　意義：連到**兩個或以上**的供應者 ISP（第一層以外的 ISP 都可這麼做）
- **對等（peer）**　意義：**同層**鄰近 ISP 直接互連，流量不必經過上游
- **IXP**　意義：多家 ISP 可在此對等的會合點，通常由第三方公司建立
- **內容供應者網路**　意義：如 Google、Microsoft、Akamai；把內容與服務帶到使用者附近，常略過第一層與區域 ISP

【考點】付費方向：連線 ISP → 區域 ISP → 第一層 ISP。第一層不付費給任何人。Google 仍會連到第一層 ISP，並就交換的流量付費。

1.4　延遲、遺失與產出率

重要度 ★★★　｜　來源：中 1 p.75–96；英 1 p.80–103

四種節點延遲

總節點延遲：$\mathbf{d_{nodal} = d_{proc} + d_{queue} + d_{trans} + d_{prop}}$

- **處理延遲 d_{proc}**　內容：檢查封包標頭、檢查位元錯誤、決定輸出連結；大小與取決因素：高速路由器約微秒級以下；通常可忽略，但會影響路由器最大產出率
- **佇列延遲 d_{queue}**　內容：在輸出佇列等待被傳出；公式：統計量；大小與取決因素：微秒到毫秒；取決於壅塞程度，每個封包都可能不同
- **傳輸延遲 d_{trans}**　內容：把**整個封包的所有位元推進連結**的時間；公式：**L / R**；大小與取決因素：L：封包長度（bits）；R：連結速率（bps）；**與距離無關**
- **傳播延遲 d_{prop}**　內容：**一個位元**從連結一端傳到另一端的時間；公式：**d / s**；大小與取決因素：d：連結長度；s：傳播速率（約 2–3 × 10^8 m/s）；**與封包長度和速率無關**

【易混淆】傳輸 vs 傳播是本章最常考的觀念。傳輸延遲看「封包多長、連結多快」，傳播延遲看「距離多遠、媒介是什麼」。

何者主導要看情境：同校園內 d_{prop} 可忽略，同步衛星連結則達數百毫秒並成為主導項；d_{trans} 在 10 Mbps 以上通常可忽略，低速撥接傳大封包卻可達數百毫秒。

佇列延遲與流量強度

令 a＝封包平均抵達速率（封包/秒），L＝封包長度（bits），R＝傳輸速率（bps）。**流量強度（traffic intensity）＝ La / R**。

- **接近 0**　結果：平均佇列延遲很小
- **接近 1**　結果：平均佇列延遲**急遽增加**，強度增加一點，延遲增加很多
- **大於 1**　結果：到達的工作量超過能服務的量，平均延遲趨於無限大（理論上）
- **黃金守則**：設計系統時，流量強度不可大於 1。
- 佇列延遲還取決於**流量的抵達型態**（週期性或突發）。實際抵達過程是隨機的，只看 La/R 不足以完整描述，因此常用平均值、變異數、超過某值的機率等統計量。
- 例子：10 個封包同時抵達空佇列，第一個沒有佇列延遲，最後一個延遲相對大。
- **封包遺失**：佇列容量有限，所以延遲不會真的到無限大；佇列滿時路由器丟棄封包。流量強度愈高，遺失比例愈高。遺失的封包可能由前一節點或來源重傳，也可能不重傳。

端對端延遲與 Traceroute

來源到目的地之間有 N−1 台路由器（N 條連結），網路暢通時（佇列可忽略）：**$d_{end\text{-}end} = N\,(d_{proc} + d_{trans} + d_{prop})$**。

- **Traceroute** 對路徑上每個路由器 i 送 **3 個探測封包**（TTL＝i）；路由器 i 回傳封包，來源量測往返時間。
- 輸出中的 * 代表沒有回應（探測遺失或路由器不回覆）。
- **後面一跳的延遲可能比前一跳小**，因為佇列延遲隨時間變動。
- 延遲突然大幅增加（如從 22 ms 跳到 104 ms）通常代表經過**跨洋連結**。
- 其他延遲：共用媒介的終端系統可能蓄意延後傳輸；VoIP 有**媒介封包化延遲**。

產出率（Throughput）

- **瞬間產出率**：某一時刻接收位元的速率。**平均產出率**：一段較長時間的速率。
- **瓶頸連結（bottleneck link）**：路徑上限制端對端產出率的連結。
- 兩段連結：產出率＝min{R_s, R_c}。N 段連結：產出率＝**min{R_1, R_2, …, R_N}**。
- 今日網際網路的限制因素通常是**連線網路**；但共用核心連結不夠大時，瓶頸會移到核心。

【例題】10 組下載共用核心連結 R，R_s＝2 Mbps，R_c＝1 Mbps，R＝5 Mbps。

每組分到 R/10＝0.5 Mbps，所以產出率＝min{2, 1, 0.5}＝**500 kbps**。瓶頸不在連線網路，而在核心的共用連結。

若 R 遠大於 R_s 與 R_c，每組產出率就是 min{R_s, R_c}。

1.5　協定分層與服務模型

重要度 ★★★　｜　來源：中 1 p.97–118；英 1 p.105–124

每一層透過兩件事提供服務：**(1) 在該層內執行某些動作；(2) 使用下一層提供的服務**。各層協定合稱**協定堆疊（protocol stack）**。協定層可由軟體、硬體或兩者實作，並分散在終端系統、交換器等元件中。

- **結構明確，方便討論系統各部分的關係**　分層的缺點：某一層可能重複下層功能（例如逐連結與端對端都做錯誤復原）
- 為什麼要分層（優點）：模組化，容易維護與更新；改某層實作不影響其他部分；分層的缺點：某層功能可能需要只有另一層才有的資訊，破壞分層原則

網際網路五層協定堆疊

- **應用層**　封包名稱：**訊息** message；工作：網路應用程式與應用層協定的所在；協定例子：HTTP(S)、DNS、SMTP；實作位置：軟體（終端系統）
- **傳輸層**　封包名稱：**區段** segment；工作：在應用程式端點之間傳送應用層訊息；協定例子：TCP、UDP；實作位置：軟體（終端系統）
- **網路層**　封包名稱：**資料包** datagram；工作：把資料包從一台主機移到另一台；協定例子：IP（唯一）、繞送協定；實作位置：軟硬體混合
- **連結層**　封包名稱：**訊框** frame；工作：把封包從一個節點移到下一個節點；協定例子：乙太網路、WiFi、PPPoE；實作位置：網路介面卡
- **實體層**　封包名稱：位元 bit；工作：把訊框中的個別位元移到下一個節點，依實際媒介而定；協定例子：依雙絞線、光纖等；實作位置：網路介面卡
- **TCP**　服務：連線導向；保證送達；流量控制；切割長訊息；壅塞控制
- **UDP**　服務：無連線；最低限度服務：不提供可靠性、流量控制、壅塞控制

【考點】ISO/OSI 七層多了**表現層**（讓應用程式解讀資料意義，如加密、壓縮）與**會議層**（同步、檢查點、復原）。網際網路堆疊沒有這兩層，若需要就由應用程式自行實作。

裝置實作哪幾層：連結層交換器＝第 1–2 層（認得乙太網路位址）；路由器＝第 1–3 層（能執行 IP）；**主機＝全部五層**。這反映「把複雜度放在網路邊際」的架構觀點。

封裝（Encapsulation）

- **應用層**　內容：M；名稱：訊息
- **傳輸層**　內容：H_t ＋ M；名稱：區段；標頭用途：H_t：實作傳輸服務
- **網路層**　內容：H_n ＋ H_t ＋ M；名稱：資料包；標頭用途：H_n：含來源與目的位址
- **連結層**　內容：H_l ＋ H_n ＋ H_t ＋ M；名稱：訊框；標頭用途：H_l：實作連結層服務
- 每層封包都有**標頭欄位**與**內容欄位（payload）**；內容通常是上一層的封包。
- 資料走下傳送端堆疊，經交換器（到第 2 層）、路由器（到第 3 層），再走上接收端堆疊。
- 實際更複雜：大訊息可能切成多個區段，區段也可能再切成多個資料包，接收端要重建。

1.6　面臨攻擊的網路

重要度 ★★☆　｜　來源：中 1 p.119–129（英文講義只在目錄列出）

- **惡意軟體**　作法：感染裝置後刪檔、裝間諜軟體竊取資料；大多能**自我複製**；重點：受害主機可能被納入**殭屍網路（botnet）**，用來發垃圾信或 DDoS
- **DoS：弱點攻擊**　作法：送妥善編造的訊息給有弱點的應用程式或作業系統；重點：利用程式缺陷
- **DoS：頻寬滿載**　作法：送洪水般的封包塞滿目標的連線連結；重點：合法封包到不了伺服器
- **DoS：連線滿載**　作法：建立大量半開或全開的 TCP 連線；重點：耗盡連線資源
- **DDoS**　作法：控制多個來源同時攻擊，常透過數千台殭屍主機；重點：比單一來源 DoS **更難偵測與防範**
- **封包竊聽**　作法：**封包竊聽器（packet sniffer）**是記錄經過封包副本的被動接收器；有線與無線都可能；重點：因為被動所以難偵測；最佳防禦與**密碼學**有關。Wireshark 就是這類工具
- **IP 詐騙**　作法：注入帶假來源位址的封包（IP spoofing）；重點：對策：**端點認證**

網際網路會這麼脆弱，是因為它原本建立在「**一群互信的使用者連接到透明的網路**」的模型上，不需要安全性。

1.7　網際網路歷史

重要度 ★☆☆　｜　來源：中 1 p.130–137

- **1961–1972 封包交換的發展**　關鍵事件：電腦共用需求興起；**ARPAnet** 是第一個封包交換計算機網路，也是今日網際網路的直系祖先；主機間協定 NCP；1972 年 Ray Tomlinson 寫出第一個電子郵件程式
- **1972–1980 專屬網路與互連**　關鍵事件：TCP、UDP、IP 概念在 1970 年代末出現；**ALOHA** 是第一個多重存取協定

- **1980–1990 蓬勃發展**　關鍵事件：主機數由約 200 台增至數十萬台；**1983 年 1 月 1 日** TCP/IP 成為 ARPAnet 標準主機協定
- **1990 年代 爆炸性成長**　關鍵事件：四大殺手級應用：電子郵件、資訊網（Web）、即時訊息（ICQ）、點對點 MP3 分享（Napster）
- **新千禧**　關鍵事件：寬頻到府、高速無線、線上社交網路、Google 與微軟的私有網路、雲端執行應用程式

第 2 章　應用層

【本章速覽】本章要帶走的七件事：① socket 與「IP＋埠號」定址；② TCP 與 UDP 服務差異及應用選擇；③ HTTP 訊息格式、方法與狀態碼；④ 三種 HTTP 連線的 RTT 計算；⑤ Cookie 與 Web 快取計算；⑥ DNS 階層、遞迴與迭代查詢、資源紀錄；⑦ CDN 如何靠 DNS 導向使用者。

【補充】講義的目錄列出 FTP、電子郵件（SMTP、POP3、IMAP）、P2P、Socket 程式設計，但這份投影片**沒有這些內容**，本書因此不展開；實際講授的是 2.1 原理、Web/HTTP、DNS、CDN。考試範圍請向老師確認。

2.1　網路應用程式原理

重要度 ★★★　｜　來源：英 2 p.2–27

開發應用程式與主從式架構

網路應用程式寫在**終端系統**上，不必為網路核心裝置寫程式，因為核心裝置不執行使用者應用程式；這也是應用程式能快速開發與擴散的原因。

伺服器（server）

- 一直開機的主機
- 有固定（永久）IP 位址
- 常放在資料中心以利擴充

用戶端（client）

- 與伺服器聯絡通訊，可間歇連線
- 可能使用動態 IP 位址
- 用戶端之間**不直接通訊**
- 單一伺服器應付不了大量請求，因此以**資料中心**（可達數十萬台伺服器）組成強大的虛擬伺服器；搜尋引擎、電子商務、社群網路都如此。
- **白牌伺服器**：不掛傳統品牌，由代工廠依雲端業者需求客製（常依 OCP 開放運算計畫標準）；台灣主要廠商有廣達、緯穎、鴻海、緯創。

Socket 與行程定址

- **Socket** 是主機內**應用層與傳輸層之間的介面**，又稱應用程式與網路之間的 **API**，可比喻為「門」；每次通訊涉及兩端各一個 socket。
- 應用程式開發者控制 socket 應用層那一側；傳輸層那一側只能**選擇傳輸協定**，以及調整少數參數（如最大緩衝區、最大區段大小）。
- 識別接收行程需要兩項資訊：**IP 位址**（找主機）＋**埠號**（找行程），例如 128.119.245.12 的 80 埠。

傳輸層可提供的四類服務

- **可靠資料傳輸**　說明：保證資料正確且完整送達；應用：需要：電子郵件、檔案傳輸、Web；可容忍遺失（loss-tolerant）：多媒體
- **產出率**　說明：保證至少 r bits/sec；應用：頻寬敏感：多媒體（如語音 32 kbps）；彈性（elastic）：電子郵件、檔案、Web
- **時間（Timing）**　說明：保證延遲上限，如 100 ms 內送達；應用：網路電話、虛擬環境、視訊會議、多人遊戲
- **安全性**　說明：傳送端加密、接收端解密
- **檔案傳輸／下載**　資料遺失：不可遺失；產出率：彈性；時間敏感：否
- **電子郵件**　資料遺失：不可遺失；產出率：彈性；時間敏感：否
- **Web 文件**　資料遺失：不可遺失；產出率：彈性；時間敏感：否
- **即時影音**　資料遺失：可容忍；產出率：音訊 5 Kbps–1 Mbps；視訊 10 Kbps–5 Mbps；時間敏感：是，數十 ms
- **串流影音**　資料遺失：可容忍；產出率：同上；時間敏感：是，數秒
- **互動遊戲**　資料遺失：可容忍；產出率：Kbps 以上；時間敏感：是，數十 ms
- **文字訊息**　資料遺失：不可遺失；產出率：彈性；時間敏感：有些是、有些否

TCP 與 UDP

- **連線**　TCP：連線導向，須先建立連線；UDP：不需建立連線
- **可靠性**　TCP：可靠傳輸；UDP：不可靠
- **流量控制**　TCP：有（傳送端不會淹沒接收端）；UDP：無
- **壅塞控制**　TCP：有（網路過載時抑制傳送端）；UDP：無
- **都不提供**　TCP：時間保證、最低產出率保證、安全性；UDP：時間保證、產出率保證、安全性
- **檔案傳輸**　應用層協定：FTP；傳輸協定：TCP
- **電子郵件**　應用層協定：SMTP；傳輸協定：TCP
- **Web**　應用層協定：HTTP；傳輸協定：TCP
- **網路電話**　應用層協定：SIP、RTP 或專有協定；傳輸協定：TCP 或 UDP
- **串流影音**　應用層協定：HTTP、DASH；傳輸協定：TCP
- **互動遊戲**　應用層協定：WOW、FPS（專有）；傳輸協定：UDP 或 TCP

TLS：替 TCP 加上安全性

- 一般 TCP、UDP socket **沒有加密**，明文密碼會以明文穿越網際網路。
- **TLS** 提供加密的 TCP 連線、資料完整性、端點認證。
- TLS 實作在**應用層**：應用程式使用 TLS 函式庫，函式庫再使用 TCP。送進「socket」的明文，在網際網路上是加密的。

應用層協定的定位

- 公開協定（如 HTTP）定義於 RFC，照規格實作就能互通；也有**專有協定**（如 LINE）不公開。
- 應用層協定只是應用程式的一部分。Web 包含文件格式（HTML5）、瀏覽器、Web 伺服器、HTTP。

【思考題】思考題（講義 p.23–25、p.65）：選兩種應用分析傳輸需求並選擇 TCP 或 UDP。分析順序：遺失容忍度 → 產出率 → 時間敏感度 → 安全性 → 協定選擇。

- **檔案傳輸**　遺失：不可；產出率：彈性；時間：不敏感；建議與理由：**TCP**：內容必須完整，可晚一點到
- **視訊會議**　遺失：可容忍；產出率：敏感；時間：數十 ms；建議與理由：**UDP**：寧可畫面小瑕疵，也不要等重傳
- **多人遊戲**　遺失：可容忍；產出率：Kbps 以上；時間：數十 ms；建議與理由：狀態更新用 **UDP**；登入、交易等關鍵資料可用 TCP
- **電子郵件**　遺失：不可；產出率：彈性；時間：不敏感；建議與理由：**TCP**：內容完整優先
- **即時通訊**　遺失：文字不可；產出率：彈性；時間：部分敏感；建議與理由：文字用 **TCP**；語音或視訊通話可用 UDP

【補充】上列內容是依講義需求表推導的參考答案，不是講義原文。作答時把「需求 → 選擇」的理由寫出來，比只寫協定名稱重要。

2.2　Web 與 HTTP

重要度 ★★★　｜　來源：英 2 p.29–83（第四次小考標記在 p.84）

基本名詞

- **HTTP** 是 Web 的應用層協定，以用戶端與伺服器兩支程式實作，定義訊息結構與交換方式。
- **網頁由物件組成**：物件就是檔案（HTML、JPEG、影片等），每個物件以一個 URL 定址。基本 HTML 加 5 張圖＝**6 個物件**。
- **URL ＝主機名稱＋路徑名稱**：`www.someschool.edu/someDept/pic.gif`。
- **HTTP 使用 TCP**：用戶端先建立 TCP 連線，雙方透過 socket 收送；訊息送進 socket 後就交給 TCP 負責。
- **HTTP 是無狀態協定（stateless）**：伺服器不保存用戶端的狀態資訊。

HTTP 與 HTTPS

- **URL 開頭**　HTTP：`http://`；HTTPS：`https://`
- **加密**　HTTP：無；HTTPS：有，以 **TLS**（前身 SSL）加密請求與回應
- **埠號**　HTTP：**80**；HTTPS：**443**
- **握手**　HTTP：TCP 3-way 握手（1 RTT）後送請求；HTTPS：TCP 握手（1 RTT）＋TLS 握手後才送加密資料

【補充】講義 p.37 的圖以 TLS 1.2 為例：TCP 握手後依序是 Client Hello → Server Hello／憑證／Server Hello Done，再來是 Client Key Exchange／Change Cipher Spec／Finished → Change Cipher Spec／Finished，約多出 2 個 RTT。握手以**非對稱加密**交換 session key，之後的資料以**對稱加密**傳送。

HTTP 訊息格式

```
GET /index.html HTTP/1.1\r\n            ← 請求列（方法 URL 版本）
Host: www-net.cs.umass.edu\r\n          ← 標頭列
User-Agent: Mozilla/5.0 ...\r\n
Accept-Language: en-us,en;q=0.5\r\n
Connection: keep-alive\r\n
\r\n                                    ← 空行代表標頭結束

HTTP/1.1 200 OK                         ← 狀態列（版本 狀態碼 片語）
Date: Tue, 08 Sep 2020 00:53:20 GMT
Last-Modified: Tue, 01 Mar 2016 18:57:50 GMT
Content-Length: 2651
Content-Type: text/html; charset=UTF-8
\r\n
data data data ...                      ← 實體內容
```

方法

- **GET**：取物件；也可把使用者資料放 URL 中 **?** 之後
- **POST**：表單輸入放在實體內容
- **HEAD**：只回傳標頭
- **PUT**：上傳檔案，取代指定 URL 的內容
- **DELETE**：刪除指定 URL 的檔案

狀態碼

- **200** OK：成功
- **301** Moved Permanently：已搬移，新位置在 Location
- **304** Not Modified：未修改（條件式 GET）
- **400** Bad Request：伺服器看不懂請求
- **404** Not Found：找不到文件
- **505** HTTP Version Not Supported

三種 HTTP 連線

RTT（round-trip time）：一個小封包從用戶端到伺服器再回來的時間，包含前面談過的所有延遲。

- **TCP 連線**　非持續性：**每個物件一條**；持續性、無管線化：共用一條；持續性、有管線化：共用一條
- **送請求時機**　持續性、無管線化：收到前一個回應才送下一個；持續性、有管線化：遇到物件就送，**不等回應**

- **每個物件成本**　非持續性：2 RTT ＋ 傳輸時間；持續性、無管線化：1 RTT；持續性、有管線化：全部物件合計約 1 RTT
- **n 個參照物件（連 HTML，忽略傳輸時間）**　非持續性：**2(n＋1) RTT**；持續性、無管線化：**(2＋n) RTT**；持續性、有管線化：**3 RTT**

【例題】網頁含 1 個 HTML 與 3 個物件（講義 p.59–60），忽略傳輸時間：

非持續性：(RTT＋RTT) × 4 ＝ **8 RTT**

持續性無管線化：(RTT＋RTT)＋3 RTT ＝ **5 RTT**

持續性有管線化：(RTT＋RTT)＋RTT ＝ **3 RTT**

同樣的公式：HTML＋10 張 JPEG，非持續性共開 **11 條 TCP 連線**，需 22 RTT。

- **非持續性的問題**：每個物件 2 RTT；兩端都要配置 TCP 緩衝區與變數，對伺服器負擔大。瀏覽器常開平行連線來緩解。
- **持續性連線**：伺服器回應後保留連線，一段時間未使用才關閉；請求標頭 `Connection: Keep-Alive` 可重用連線，降低伺服器負擔與延遲。
- **管線化**：回應必須依請求順序回傳（先進先出），會造成 **HOL Blocking**（隊頭阻塞）。POST 不應管線化，GET／HEAD 通常可以。
- **實務**：規格上 HTTP/1.1 預設支援管線化，但多數瀏覽器預設關閉。依慣例，單一使用者對同一伺服器不應維持超過 2 條連線。

Cookie：保存使用者狀態

HTTP 無狀態，但網站常需要辨識使用者以限制存取或提供個人化內容。Cookie 有**四個元件**：

1. HTTP **回應**中的 cookie 標頭列（`Set-Cookie: 1678`）
2. 下一次 HTTP **請求**中的 cookie 標頭列（`Cookie: 1678`）
3. 使用者主機上由瀏覽器管理的 **cookie 檔案**
4. 網站後端的**資料庫**

流程：首次造訪時伺服器產生 ID 並寫入資料庫，以 Set-Cookie 回傳；瀏覽器存入 cookie 檔；之後每次請求都帶上 Cookie，伺服器據此採取對應動作。使用者註冊後，網站可把 ID 連到個人資料，這就是「一鍵購物」的基礎。

Web 快取（代理伺服器）

代表原始伺服器回應 HTTP 請求的網路實體，有自己的磁碟並保存最近請求物件的副本。

1. 瀏覽器與快取建立 TCP 連線，送出請求。
2. **有副本**：快取直接回傳。
3. **沒有副本**：快取對原始伺服器開 TCP 連線、發請求，收到物件後**存一份**，再回給瀏覽器。

好處：縮短回應時間（快取較近）；減少機構對外連結流量；讓資源較少的內容供應者也能有效傳遞內容。快取同時是伺服器（對用戶端）也是用戶端（對原始伺服器）。

範例一（p.74–77）

- **條件**　原始情況：物件 1 Mb，15 r/s，連結 15 Mbps，LAN 100 Mbps，RTT 2 s；方案 1：加速連結：連結升級到 100 Mbps；方案 2：裝快取：命中率 0.4
- **LAN 使用率**　原始情況：15 ÷ 100 ＝ 15%；方案 1：加速連結：15%；方案 2：裝快取：15%
- **對外連結使用率**　原始情況：15 ÷ 15 ＝ **100%**；方案 1：加速連結：15 ÷ 100 ＝ **15%**；方案 2：裝快取：0.6 × 100% ＝ **60%**
- **總延遲**　原始情況：2 s ＋ **數分鐘** ＋ ms；方案 1：加速連結：2 s ＋ ms ＋ μs；方案 2：裝快取：0.6 × 2 s ＋ 0.01 s ＋ ms，約 **1.2 s**
- **成本**　方案 1：加速連結：昂貴；方案 2：裝快取：便宜

範例二（p.78–81）

- **條件**　原始情況：物件 100 Kb，15 r/s（1.50 Mbps），連結 1.54 Mbps，LAN 1 Gbps，RTT 2 s；方案 1：加速連結：連結升級到 154 Mbps；方案 2：裝快取：命中率 0.4
- **LAN 使用率**　原始情況：0.0015；方案 1：加速連結：0.0015
- **對外連結使用率**　原始情況：1.50 ÷ 1.54 ＝ **0.97**；方案 1：加速連結：1.50 ÷ 154 ＝ **0.0097**；方案 2：裝快取：0.9 ÷ 1.54 ＝ **0.58**
- **平均延遲**　原始情況：2 s ＋ **數分鐘** ＋ μs；方案 1：加速連結：2 s ＋ ms ＋ μs；方案 2：裝快取：0.6 × 2.01 ＋ 0.4 × ms，約 **1.2 s**
- **成本**　方案 1：加速連結：昂貴；方案 2：裝快取：便宜，延遲還比方案 1 低

【易混淆】為什麼使用率 0.97 就會延遲數分鐘？回到第 1 章的流量強度曲線：La/R 接近 1 時佇列延遲急遽增加。解題步驟固定為：① 算流量（請求率 × 物件大小）；② 算使用率；③ 判斷佇列延遲量級；④ 加總延遲。

條件式 GET

快取的副本可能過期，**條件式 GET** 讓快取確認物件是否為最新。請求帶 `If-modified-since: <date>`：

- 該日期後**沒改過**：回 `304 Not Modified`，**不含物件**，節省傳輸。
- 該日期後**改過**：回 `200 OK` 並附上資料。

2.3　DNS 網域名稱系統

重要度 ★★★　｜　來源：英 2 p.86–114（第五次小考標記在 p.115）

DNS 是什麼

- 把**主機名稱轉成 IP 位址**：人好記名稱，IP 又難記又可能變動。
- 同時是**階層式 DNS 伺服器構成的分散式資料庫**，也是讓主機查詢該資料庫的**應用層協定**。
- **使用 UDP，埠號 53**；常見軟體為 BIND。HTTP、SMTP、FTP 都會用它。

- 瀏覽器流程：取出主機名稱 → DNS 用戶端查詢 → 收到 IP → 對該 IP 的 80 或 443 埠建立 TCP 連線。DNS 會增加額外延遲。
- 查詢前會先看**瀏覽器快取、作業系統 DNS 快取、hosts 檔案**。

為什麼不用單一伺服器

- **單點失效**　說明：伺服器掛掉，整個網際網路都受影響
- **流量龐大**　說明：所有 HTTP 請求與電子郵件的查詢都集中到一台
- **距離遙遠**　說明：無法靠近所有查詢者，延遲大
- **維護困難**　說明：資料庫龐大且須為每台新主機頻繁更新

網域名稱結構

網域名稱以點分隔，**由右往左讀**。`mcu.edu.tw`：tw 是 TLD、edu 是第二層、mcu 是子網域。**FQDN** 是特定主機的完整名稱，由主機名稱與網域名稱組成，如 `www.mcu.edu.tw`。

DNS 伺服器階層

- **根 DNS**　職責：本地伺服器解析不了時聯絡它；回覆 TLD 伺服器位置；例子：全球 **13 個邏輯**根伺服器（a–m），各自有大量複本
- **TLD DNS**　職責：負責頂級網域與國家網域；例子：.com、.org、.net、.edu、.tw、.jp
- **授權（權威）DNS**　職責：組織自己的 DNS，提供該組織主機名稱到 IP 的權威對映；可自行維護或委外；例子：dns.cs.umass.edu；大學通常自建主要與次要伺服器
- **本地 DNS（預設名稱伺服器）**　職責：**不嚴格屬於階層**；每個 ISP 都有；靠近主機；像代理一樣把查詢送進階層；例子：dns.nyu.edu；公共 DNS 如 8.8.8.8

遞迴與迭代查詢

- **意義**　遞迴查詢（recursive）：請對方**代為取得**答案；迭代查詢（iterative）：對方回覆「我不知道，但你去問這台」
- **典型位置**　遞迴查詢（recursive）：**主機 → 本地 DNS**；迭代查詢（iterative）：**本地 DNS → 根、TLD、授權**

【例題】engineering.nyu.edu 的主機查 gaia.cs.umass.edu（講義 p.101）：

1 主機 → 本地 DNS（dns.nyu.edu）　2 本地 → 根　3 根回 TLD 位址

4 本地 → TLD　5 TLD 回授權伺服器位址

6 本地 → 授權（dns.cs.umass.edu）　7 授權回 IP　8 本地回主機

共 **8 個訊息**。若本地 DNS 已快取 TLD 位址，就能**略過根伺服器**。

DNS 快取

- 收到回覆就把對映存入記憶體，可改善延遲並減少 DNS 訊息；一段時間後（TTL）丟棄。
- Windows 指令：`ipconfig /displaydns`（顯示快取）、`ipconfig /flushdns`（清除快取）。

資源紀錄（RR）

格式：**(name, value, type, ttl)**。TTL 決定資源紀錄何時從快取移除。

- **A**　name：主機名稱；value：IP 位址；例子：把主機名稱對映到 IP
- **NS**　name：網域；value：該網域授權 DNS 的主機名稱；例子：(foo.com, dns.foo.com, NS)
- **CNAME**　name：別名；value：正規（真實）名稱；例子：(foo.com, relay1.bar.foo.com, CNAME)
- **MX**　name：別名；value：郵件伺服器的正規名稱；例子：(foo.com, mail.bar.foo.com, MX)

【考點】同一別名可同時用於郵件伺服器與其他伺服器：查郵件伺服器用 MX，查其他伺服器用 CNAME。

DNS 訊息格式

查詢與回覆格式相同：標頭加四個區段。**identification** 是 16 位元編號，回覆沿用查詢的編號；**flags** 標示查詢或回覆、是否希望遞迴、是否可遞迴、是否為授權回覆。

- **questions**　內容：查詢的 name、type
- **answers**　內容：回應查詢的 RR
- **authority**　內容：授權伺服器的紀錄
- **additional**　內容：其他有幫助的資訊

實作工具

```
nslookup
> server 10.255.255.255     指定要查詢的 DNS 伺服器
> set q=mx                  查 MX 紀錄
> contoso.com.
```

知名公共 DNS：Google `8.8.8.8`、`8.8.4.4`；Cloudflare `1.1.1.1`、`1.0.0.1`；OpenDNS `208.67.222.222`、`208.67.220.220`；AdGuard `94.140.14.14`、`94.140.15.15`。

2.4　內容傳遞網路 CDN

重要度 ★★☆　｜　來源：英 2 p.116–133

若只蓋一座巨型資料中心串流影片到全球，一旦資料中心或對外連結故障就無法服務，因此主要影音業者都使用 CDN：**把內容快取在比原始伺服器更靠近使用者的代理伺服器**。Web 主機保存原始檔案，CDN 快取這些檔案讓全球使用者更容易取得。

- **第三方 CDN**：代多個內容供應者傳遞內容，如 Akamai、Level-3、Cloudflare。

- **伺服器叢集（server cluster）**：在同一 IP 下共同運作以提高可用性的一組伺服器。
- **類似 Web 快取**：叢集沒有該影片時，向中央儲存庫或其他叢集取得，**邊存邊串流**；儲存滿了就移除不常被請求的影片。

CDN 運作

CDN 必須攔截請求，才能 (1) 為該用戶端選擇合適的叢集，(2) 把請求導向該叢集的伺服器。**多數 CDN 利用 DNS 攔截與導向**。

1. 瀏覽器向本地（遞迴）DNS 查詢 shop.example.com。
2. 本地 DNS 向 Cloudflare 的授權 DNS 查詢（假設沒有快取，根與 TLD 步驟省略）。
3. 授權 DNS 回覆 Cloudflare Anycast IP，本地 DNS 回傳 IP 並依 TTL 快取。
4. 瀏覽器以 HTTPS 連到 Cloudflare CDN；必要時 CDN 才回源到原始伺服器。

叢集選擇策略

- **地理最近**　作法：收到某本地 DNS 的請求時，選地理上最近的叢集
- **即時量測**　作法：定期量測叢集與用戶端之間的延遲與遺失，例如從各叢集對全球本地 DNS 送探測封包

案例

- **Netflix**：影片多個版本的副本事先上傳到 CDN 伺服器。觀看時：① 使用者在 Amazon 雲端上的註冊、帳務伺服器管理帳號；② 瀏覽影片；③ 取得該影片的 **manifest 檔**；④ 選定 DASH 伺服器並開始串流。
- **Canva**：Cloudflare 官方公開確認 Canva 使用其 CDN、WAF 與 DDoS 防護。
- **動手查**：講義 p.133 要求查看 www.tsmc.com.tw 的網站，可用 nslookup 觀察其 CNAME 是否指向 CDN。
- **導入方式**　Cloudflare：DNS 代理，相對容易；Akamai：多依企業需求規劃；台灣本地業者：可由本地團隊協助
- **入門成本**　Cloudflare：有免費方案；Akamai：多以企業報價為主；台灣本地業者：依流量、頻寬與合約
- **適合對象**　Cloudflare：個人、中小企業到大型組織；Akamai：大型企業、媒體、關鍵服務；台灣本地業者：主要市場在台灣的企業

第 4 章　網路層：資料層

【本章速覽】本章計算題最多。要帶走的七件事：① 轉送與繞送、資料層與控制層；② 最長前綴比對；③ IP 標頭每個欄位；④ IP 分割的長度、Offset、MF 計算；⑤ Checksum；⑥ CIDR 與子網路切割；⑦ 特殊位址、NAT、DHCP 四步驟。

【補充】講義沒有第 3 章（傳輸層）的檔案，因此本書從第 2 章直接接到第 4 章，章號維持與課本一致。

4.1　網路層概觀

重要度 ★★☆　｜　來源：英 4 p.2–8、p.15–17

網路層把區段從傳送主機送到接收主機：傳送端把區段封裝成資料包，接收端把區段交給傳輸層。**每台主機與路由器都有網路層**；路由器檢查所有經過的 IP 資料包標頭，並把資料包從輸入埠移到輸出埠。

- **範圍**　資料層（Data plane）：**區域**、每台路由器；控制層（Control plane）：**全網路**的邏輯
- **決定什麼**　資料層（Data plane）：資料包如何從輸入埠轉送到輸出埠；控制層（Control plane）：資料包如何沿端對端路徑在路由器間繞送
- **對應功能**　資料層（Data plane）：**轉送**（forwarding）；控制層（Control plane）：**繞送**（routing）
- **時間尺度**　資料層（Data plane）：硬體，**奈秒**級；控制層（Control plane）：軟體，**毫秒**級

傳統逐路由器控制層：每台路由器內都有繞送演算法元件，彼此互動；SDN 軟體定義網路控制層：**遠端控制器**（伺服器）計算轉送表並安裝到路由器；路由器上有控制代理（CA）

服務模型

- **Internet**　服務模型：**best effort**；頻寬：無；遺失：無保證；順序：無保證；時間：無保證
- **ATM**　服務模型：Constant Bit Rate；頻寬：固定速率；遺失：有；順序：有；時間：有
- **ATM**　服務模型：Available Bit Rate；頻寬：保證最小；遺失：無；順序：有；時間：無
- **Internet**　服務模型：Intserv Guaranteed；頻寬：有；遺失：有；順序：有；時間：有
- **Internet**　服務模型：Diffserv；頻寬：可能；遺失：可能；順序：可能；時間：無

【考點】IP 是不可靠、無連線的資料包協定，提供 best-effort 服務：不保證送達、不保證時間與順序、不保證頻寬。封包可能損毀、遺失、亂序或延遲。每個資料包獨立處理，可走不同路徑，所以可能亂序。要可靠就搭配 TCP。

網路層的組成：**IP 協定**（資料包格式、定址、封包處理慣例）、**ICMP**（錯誤回報、路由器訊號）、**路徑選擇演算法**（繞送協定 OSPF、BGP 或 SDN 控制器）及轉送表。

4.2　路由器與最長前綴比對

重要度 ★★★　｜　來源：英 4 p.9–13

路由器由**輸入埠、高速交換結構（switching fabric）、輸出埠、繞送處理器**組成。**交換速率**是封包從輸入移到輸出的速率；N 個輸入、每個線路速率 R 時，理想交換速率為 **NR**。

【考點】最長前綴比對：查轉送表時，使用與目的位址相符的**最長**位址前綴。

- 目的位址範圍：`11001000 00010111 00010*** ********`；連結介面：0
- 目的位址範圍：`11001000 00010111 00011000 ********`；連結介面：1
- 目的位址範圍：`11001000 00010111 00011*** ********`；連結介面：2
- **其他**　連結介面：3

【例題】目的位址 `11001000 00010111 00010110 10100001`：只符合第 1 列 → **介面 0**。

目的位址 `11001000 00010111 00011000 10101010`：同時符合第 2 列（24 位元）與第 3 列（21 位元），取最長 → **介面 1**。

4.3　IP 資料包格式

重要度 ★★★　｜　來源：英 4 p.14–37、p.51–53

資料包總長 20–65,535 bytes，其中標頭 20–60 bytes。

欄位由左至右、由上而下依序為：

- 第 1 列：VER 4 bits｜HLEN 4 bits｜Service type 8 bits｜Total length 16 bits
- 第 2 列：Identification 16 bits｜Flags 3 bits｜Fragmentation offset 13 bits
- 第 3 列：Time to live 8 bits｜Protocol 8 bits｜Header checksum 16 bits
- 第 4 列：Source IP address（32 bits）
- 第 5 列：Destination IP address（32 bits）
- 第 6 列：Options ＋ padding（0–40 bytes）
- **Version**　長度：4 bits；重點：目前為 4；版本不符就丟棄，避免誤解讀
- **Header length**　長度：4 bits；重點：**單位是 4 bytes**。無選項：值 5（20 bytes）；最大值 15（60 bytes）
- **Service type**　長度：8 bits；重點：現在定義差異化服務（前 6 bits Codepoint，後 2 bits 未使用）
- **Total length**　長度：16 bits；重點：**單位是 byte**，標頭＋資料，最大 65,535
- **Identification**　長度：16 bits；重點：與來源 IP 共同唯一識別一個資料包；同一資料包的分割片相同
- **Flags**　長度：3 bits；重點：保留位元、**DF**（1＝不可分割）、**MF**（1＝後面還有分割片；0＝最後或唯一一片）
- **Fragment offset**　長度：13 bits；重點：該片資料在原資料包的相對位置，**單位是 8 bytes**
- **TTL**　長度：8 bits；重點：每經一台路由器減 1，到 0 就丟棄。Windows 預設 128，Unix 類預設 64

- **Protocol**　長度：8 bits；重點：上層協定：**1 ICMP、2 IGMP、6 TCP、17 UDP、89 OSPF**
- **Header checksum**　長度：16 bits；重點：偵錯用
- **Source／Destination**　長度：各 32 bits；重點：來源與目的 IP

【易混淆】三種單位最常被搞混：**Header length × 4 bytes**、**Total length 直接是 bytes**、**Offset × 8 bytes**。TTL 例子：TTL＝3 進 R1，出去變 2；進 R2 出去變 1；到 R3 減為 0 就丟棄。

MTU 與 IP 分割

- **Ethernet**　MTU：1500 bytes（巨型訊框最大 9000 bytes）
- **PPPoE**　MTU：1492 bytes
- **WiFi**　MTU：2304 bytes
- **MTU**：連結層訊框資料欄位的最大值，資料包必須不超過它。巨型訊框依廠商而異、不保證能穿越網際網路，多用於 SAN 等專用網路。
- 資料包大於下一段 MTU 時要**分割**成更小的資料包。
- **分割**可由來源主機或路徑上任何路由器進行；**重組只在目的主機**，因為每個分割片都是獨立的資料包。
- 分割依靠 **Identification**、**Flags**、**Fragmentation offset** 三個欄位；其餘欄位多半照抄（Total length 與 Checksum 會依分割片重算）。

【公式】分割計算四步驟

① 每片可放資料 ＝ MTU − 標頭 20，且除了最後一片外，**必須是 8 的倍數**。

② 片數 ＝ 總資料量 ÷ 每片資料量，無條件進位。

③ 第 k 片 Offset ＝ 前面所有片的資料量 ÷ 8。

④ 最後一片 MF＝0，其餘 MF＝1；Total length ＝資料量＋20。

【例題】IP 資料 5000 bytes（總長 5020），MTU 1500（講義 p.40–42）。每片資料 1480 bytes，Offset 每片加 185。

- **原始**　標頭：20；資料：5000；Offset：0；MF：0；Total length：5020；資料範圍：0–4999
- **第 1 片**　標頭：20；資料：1480；Offset：**0**；MF：1；Total length：1500；資料範圍：0–1479
- **第 2 片**　標頭：20；資料：1480；Offset：**185**；MF：1；Total length：1500；資料範圍：1480–2959
- **第 3 片**　標頭：20；資料：1480；Offset：**370**；MF：1；Total length：1500；資料範圍：2960–4439
- **第 4 片**　標頭：20；資料：560；Offset：**555**；MF：**0**；Total length：580；資料範圍：4440–4999

【例題】分割片還能再被分割（講義 p.38）。原資料 4000 bytes，ID＝14,567，Total length＝4020。

- **第 1 片**　資料範圍：0–1399；Total length：1420；MF：1；Offset：000
- **第 2 片**　資料範圍：1400–2799；Total length：1420；MF：1；Offset：175
- **第 3 片**　資料範圍：2800–3999；Total length：1220；MF：0；Offset：350
- **第 2.1 片**　資料範圍：1400–2199；Total length：820；MF：1；Offset：175

- **第 2.2 片**　資料範圍：2200–2799；Total length：620；MF：1；Offset：275

【易混淆】第 2.2 片雖然是第 2 片再分割的最後一塊，但**它後面還有第 3 片**，所以 MF 仍為 1。Offset 一律相對於**原始**資料包計算。

【實作】`ping -l 1600 www.twnic.net.tw`：ICMP 標頭 8＋資料 1600＝1608 bytes。乙太網路 MTU 1500 下分成 2 片，資料量為 **1480＋128**，Offset 為 0、185。

`ping -l 3200 www.mcu.edu.tw`：8＋3200＝3208 bytes，分成 3 片，資料量為 **1480＋1480＋248**，Offset 為 0、185、370。

Wireshark 篩選所有分割封包：`ip.flags.mf == 1 or ip.frag_offset > 0`

Checksum 計算

1. **傳送端**：Checksum 欄先填 0，把標頭每 16 位元一組相加（溢位要繞回加到最低位），再取 **1 的補數**填入。
2. **接收端**：把包含 Checksum 的整個標頭相加再取補數，結果為 **0** 代表無誤，否則丟棄。

- **4, 5, 0**　16 位元字組：`01000101 00000000`
- **Total length＝28**　16 位元字組：`00000000 00011100`
- **Identification＝1**　16 位元字組：`00000000 00000001`
- **Flags, Offset＝0, 0**　16 位元字組：`00000000 00000000`
- **TTL＝4, Protocol＝17**　16 位元字組：`00000100 00010001`
- **Checksum 先填 0**　16 位元字組：`00000000 00000000`
- **來源 10.12.**　16 位元字組：`00001010 00001100`
- **來源 14.5**　16 位元字組：`00001110 00000101`
- **目的 12.6.**　16 位元字組：`00001100 00000110`
- **目的 7.9**　16 位元字組：`00000111 00001001`
- **加總**　16 位元字組：`01110100 01001110`
- **Checksum（取補數）**　16 位元字組：`10001011 10110001`（十進位 35761）

接收端把這個 Checksum 一起加總，得到 `11111111 11111111`，取補數為 0，表示正確。

4.4　IP 定址

重要度 ★★★　｜　來源：英 4 p.54–71

基本概念

- **IP 位址**：32 位元，對應到主機或路由器的**介面**；路由器通常有多個介面，主機通常有一或兩個（有線、無線）。
- 點分十進位：`223.1.1.1 = 11011111 00000001 00000001 00000001`。

- **遮罩**：網路位元全 1、主機位元全 0。IP **AND** 遮罩＝網路位址：`200.2.3.4 AND 255.255.255.0 = 200.2.3.0`。
- **CIDR**：`a.b.c.d/x`，x 是子網路部分位元數，可為任意長度。
- **12.23.24.78/8**　遮罩：255.0.0.0；前綴長：8；後綴長：24；位址數：2^{24}
- **130.11.232.156/16**　遮罩：255.255.0.0；前綴長：16；後綴長：16；位址數：65,536
- **167.199.170.82/27**　遮罩：255.255.255.224；前綴長：27；後綴長：5；位址數：32
- **0.0.0.0/0**　位址範圍：0.0.0.0 – 255.255.255.255
- **128.0.0.0/1**　位址範圍：128.0.0.0 – 255.255.255.255
- **128.0.0.0/24**　位址範圍：128.0.0.0 – 128.0.0.255
- **198.128.128.192/27**　位址範圍：198.128.128.192 – 198.128.128.223
- **165.195.130.107/32**　位址範圍：只有 165.195.130.107

【公式】/n 區塊速算

位址總數 ＝ $2^{(32-n)}$；可分配給主機的數量 ＝ 總數 − 2。

第一個位址是網路位址，**最後一個位址**是直接廣播位址，都不能指派給主機。

遮罩最後一個非 255 位元組：/25＝128、/26＝192、/27＝224、/28＝240、/29＝248、/30＝252。

區塊大小 ＝ 256 − 該位元組值，網路位址一定是區塊大小的倍數。

子網路切割

把主機位元改成網路位元，就能把一個區塊切成多個子網路：**多借 k 個位元，得到 2^k 個子網路**。

【例題】130.34.12.64/26，要切成 4 個子網路（講義 p.67–68）。

後綴 6 位元，共 64 個位址；要 4 個子網路就借 2 位元，前綴變 **/28**，每個子網路 16 個位址。

- **1**　網路位址：130.34.12.64/28；範圍：130.34.12.64 – 130.34.12.79
- **2**　網路位址：130.34.12.80/28；範圍：130.34.12.80 – 130.34.12.95
- **3**　網路位址：130.34.12.96/28；範圍：130.34.12.96 – 130.34.12.111
- **4**　網路位址：130.34.12.112/28；範圍：130.34.12.112 – 130.34.12.127

【例題】ISP 擁有 200.23.16.0/20，切成 8 個 /23 給組織：Organization 0＝200.23.16.0/23、1＝200.23.18.0/23、2＝200.23.20.0/23……7＝200.23.30.0/23。每個區塊 512 個位址，第三個位元組每次加 2。

交換器、路由器與預設閘道

- **層級**　Layer 2 交換器：連結層；路由器：網路層
- **依據**　Layer 2 交換器：**MAC 位址**轉送訊框；路由器：**IP 位址**繞送資料包
- **網段**　Layer 2 交換器：連接同一子網路的裝置，裝置間不需路由器；路由器：**每個介面屬於不同 IP 子網路**

預設閘道（default gateway）是讓主機能連到其他網路的路由器。

4.5　特殊位址、路由聚合與私有位址

重要度 ★★★　｜　來源：英 4 p.74–83、p.89

- **0.0.0.0/32**　名稱：全 0 位址；用途：主機還不知道自己的 IP 時使用，通常在開機階段，如 DHCP discover 的來源
- **255.255.255.255/32**　名稱：受限廣播；用途：傳給同網路所有主機，如 DHCP discover 的目的地
- **區塊最後一個位址**　名稱：直接廣播；用途：不可指派給個別電腦
- **區塊第一個位址**　名稱：網路位址；用途：通常不指派給電腦
- **127.0.0.0/8**　名稱：迴路位址；用途：測試本機軟體，封包**不會離開機器**

路由聚合（階層式定址）

CIDR 的優點之一：多個位址區塊可聚合成一個並配給一家 ISP，只要對外通告一條路由。

- Fly-By-Night-ISP 對外說：「把開頭為 200.23.16.0/20 的都給我」，涵蓋 Organization 0–7。
- ISPs-R-Us 對外說：「把開頭為 199.31.0.0/16 的都給我」。
- **Organization 1 換到 ISPs-R-Us 後**，ISPs-R-Us 再多通告 200.23.18.0/23。這條路由**更具體**，依最長前綴比對，流量會走 ISPs-R-Us。

私有位址

- **10.0.0.0/8**　位址數：16,777,216
- **172.16.0.0/12**　位址數：1,048,576（講義誤植為 1,047,584，見附錄 E）
- **192.168.0.0/16**　位址數：65,536
- **169.254.0.0/16**　位址數：65,536

私有位址不被全球路由辨識，只能單獨使用或搭配 NAT。

ISP 的位址從哪裡來

- **ICANN** 透過 **5 個區域註冊機構（RR）**分配 IP 位址，RR 可再分配給地區註冊機構；ICANN 也管理 DNS 根區域。
- ICANN 在 **2011 年**把最後一批 IPv4 位址配給 RR。**NAT** 緩解位址耗盡，**IPv6** 則有 **128 位元**位址空間。

4.6　NAT 網路位址轉換

重要度 ★★★　｜　來源：英 4 p.84–88

NAT 在私有與全球位址之間提供對映，讓內部使用私有位址、對外使用少數全球位址。站點必須透過一台具 NAT 能力的路由器連到網際網路。

- **外送**：路由器把來源位址（與埠號）換成全球 NAT 位址。
- **內送**：路由器把目的位址（與埠號）換回對應的私有位址。
- **轉換表**記錄兩邊的對映，以埠號區分內部不同的連線，所以**一個 IP 可供多台主機共用**。
- **1**　封包（LAN 主機 192.168.1.1，NAT 對外 IP 200.1.1.2，伺服器 202.1.1.1）：S: `192.168.1.1:50000`　D: `202.1.1.1:80`；說明：主機送出
- **2**　封包（LAN 主機 192.168.1.1，NAT 對外 IP 200.1.1.2，伺服器 202.1.1.1）：S: `200.1.1.2:49000` D: `202.1.1.1:80`；說明：NAT 改來源並寫入表
- **3**　封包（LAN 主機 192.168.1.1，NAT 對外 IP 200.1.1.2，伺服器 202.1.1.1）：S: `202.1.1.1:80`　D: `200.1.1.2:49000`；說明：回應抵達 NAT
- **4**　封包（LAN 主機 192.168.1.1，NAT 對外 IP 200.1.1.2，伺服器 202.1.1.1）：S: `202.1.1.1:80`　D: `192.168.1.1:50000`；說明：NAT 查表改目的後轉給主機

LAN 側：192.168.1.1 : 50000；WAN 側：200.1.1.2 : 49000

4.7　DHCP 動態主機設定協定

重要度 ★★★　｜　來源：英 4 p.90–95

主機加入網路時從伺服器動態取得 IP 位址：可續租；只在連線時持有，所以位址能重用；適合行動使用者。DHCP 伺服器通常與路由器放在一起，服務路由器連接的所有子網路。

- **1 Discover**　來源 IP：埠：`0.0.0.0:68`；目的 IP：埠：`255.255.255.255:67`；內容：有 DHCP 伺服器嗎？yiaddr＝0.0.0.0，ID＝654
- **2 Offer**　來源 IP：埠：`223.1.2.5:67`；目的 IP：埠：`255.255.255.255:68`；內容：可用這個位址：yiaddr＝223.1.2.4，ID＝654，lifetime 3600 秒
- **3 Request**　來源 IP：埠：`0.0.0.0:68`；目的 IP：埠：`255.255.255.255:67`；內容：我要用這個位址，ID＝655
- **4 ACK**　來源 IP：埠：`223.1.2.5:67`；目的 IP：埠：`255.255.255.255:68`；內容：位址給你了，ID＝655

【考點】四步驟口訣 DORA：Discover → Offer → Request → ACK，四個訊息都是廣播；前兩步在用戶端要重用先前位址時可省略。

DHCP 除了 IP 還給什麼：第一跳路由器位址、DNS 伺服器名稱與 IP、（子網路遮罩）。

封裝：DHCP 在 UDP 內，UDP 在 IP 內，IP 在乙太網路內；訊框廣播目的為 FFFFFFFFFFFF。伺服器埠 67、用戶端埠 68。

附錄 A　公式總表

- **傳輸延遲**　公式：$d_{trans} = L / R$；備註：L 位元、R bps；注意 byte 要乘 8
- **傳播延遲**　公式：$d_{prop} = d / s$；備註：s 約 $2–3 \times 10^8$ m/s
- **節點延遲**　公式：$d_{nodal} = d_{proc} + d_{queue} + d_{trans} + d_{prop}$
- **端對端延遲（無壅塞）**　公式：$d_{end\text{-}end} = N\,(d_{proc} + d_{trans} + d_{prop})$；備註：N 條連結、N−1 台路由器
- **流量強度**　公式：La / R；備註：不可大於 1
- **端對端產出率**　公式：$\min\{R_1, R_2, \ldots, R_N\}$；備註：共用連結要先除以連線數
- **OC-n 速率**　公式：$n \times 51.8$ Mbps
- **非持續性 HTTP**　公式：$2(n+1)$ RTT；備註：n 為參照物件數，忽略傳輸時間
- **持續性、無管線化**　公式：$(2+n)$ RTT
- **持續性、有管線化**　公式：3 RTT
- **單一物件回應時間**　公式：2 RTT ＋ 檔案傳輸時間；備註：非持續性
- **連結使用率**　公式：請求率 × 物件大小 ÷ 連結速率；備註：有快取時再乘（1 − 命中率）
- **快取平均延遲**　公式：(1 − h) × 原始伺服器延遲 ＋ h × 快取延遲；備註：h 為命中率
- **IP 標頭長度**　公式：HLEN × 4 bytes；備註：HLEN 5–15
- **IP 資料長度**　公式：Total length − HLEN × 4
- **資料起始位置**　公式：Offset × 8 bytes
- **區塊位址數**　公式：$2^{(32-n)}$；備註：可用主機數再減 2
- **切割子網路**　公式：借 k 位元得 2^k 個；備註：新前綴 ＝ n ＋ k

附錄 B　中英術語對照

- host / end system：主機／終端系統
- packet switch：封包交換器
- access network：連線網路
- edge router：邊際路由器
- transmission rate：傳輸速率
- physical medium：實體媒介
- guided media：導引式媒介
- unguided media：非導引式媒介
- store-and-forward：儲存轉送
- output buffer：輸出緩衝區
- forwarding：轉送
- routing：繞送
- circuit switching：電路交換
- packet switching：封包交換
- processing delay：處理延遲
- queuing delay：佇列延遲
- transmission delay：傳輸延遲
- propagation delay：傳播延遲
- traffic intensity：流量強度
- throughput：產出率
- bottleneck link：瓶頸連結
- protocol stack：協定堆疊
- message：訊息
- segment：區段
- datagram：資料包
- frame：訊框
- encapsulation：封裝
- payload：內容（酬載）
- multi-home：多點上層連接
- peering：對等
- botnet：殭屍網路
- packet sniffer：封包竊聽器

- IP spoofing：IP 詐騙
- end-point authentication：端點認證
- reliable data transfer：可靠資料傳輸
- loss-tolerant：可容忍遺失
- bandwidth-sensitive：頻寬敏感
- elastic：彈性
- flow control：流量控制
- congestion control：壅塞控制
- stateless：無狀態
- persistent connection：持續性連線
- pipelining：管線化
- HOL blocking：隊頭阻塞
- Web cache / proxy：Web 快取／代理
- origin server：原始伺服器
- conditional GET：條件式 GET
- resource record：資源紀錄
- recursive query：遞迴查詢
- iterative query：迭代查詢
- authoritative DNS：授權（權威）DNS
- server cluster：伺服器叢集
- data plane：資料層
- control plane：控制層
- switching fabric：交換結構
- longest prefix match：最長前綴比對
- fragmentation：分割
- reassembly：重組
- subnet mask：子網路遮罩
- route aggregation：路由聚合
- default gateway：預設閘道
- loopback address：迴路位址

附錄 C　數字速查

- **80**　用途：HTTP；Protocol 值：1；協定：ICMP
- **443**　用途：HTTPS；Protocol 值：2；協定：IGMP
- **53**　用途：DNS（UDP）；Protocol 值：6；協定：TCP
- **67**　用途：DHCP 伺服器；Protocol 值：17；協定：UDP
- **68**　用途：DHCP 用戶端；Protocol 值：89；協定：OSPF
- **TCP/IP 層數／OSI 層數**　數字：5 層／7 層
- **IPv4／IPv6 位址長度**　數字：32 位元／128 位元
- **IP 標頭**　數字：20–60 bytes；資料包 20–65,535 bytes
- **欄位長度**　數字：Version 4、HLEN 4、ToS 8、Total length 16、ID 16、Flags 3、Offset 13、TTL 8、Protocol 8、Checksum 16
- **MTU**　數字：Ethernet 1500、PPPoE 1492、WiFi 2304、Jumbo 9000
- **TTL 預設值**　數字：Windows 128、Unix 類 64
- **根 DNS**　數字：13 個邏輯伺服器
- **同步衛星**　數字：36,000 公里；延遲約 270 ms
- **DSL 頻帶**　數字：0–4 kHz 電話、4–50 kHz 上行、50 kHz–1 MHz 下行
- **DHCP**　數字：4 個訊息：Discover、Offer、Request、ACK
- **DNS 查詢範例**　數字：8 個訊息
- **Cookie**　數字：4 個元件

附錄 D　模擬試題

以下題目依講義範圍**自編**，用來檢查理解，不代表實際考題。建議先遮住解答，一次寫完再對答案。

一、選擇題

1. 下列何者與兩路由器之間的距離有關？（A）傳輸延遲（B）傳播延遲（C）處理延遲（D）以上皆是
2. 連結層交換器實作協定堆疊的第幾層？（A）1（B）1–2（C）1–3（D）1–5
3. 網路層的封包稱為？（A）訊息（B）區段（C）資料包（D）訊框
4. 哪一種連線技術是共用廣播媒介？（A）DSL（B）纜線（C）專線（D）以上皆非
5. TCP 不提供下列何者？（A）流量控制（B）壅塞控制（C）可靠傳輸（D）最低產出率保證
6. DNS 使用的傳輸協定與埠號預設為？（A）TCP 80（B）UDP 53（C）TCP 443（D）UDP 67
7. 主機對本地 DNS 伺服器的查詢通常是？（A）遞迴（B）迭代（C）廣播（D）匿名
8. 快取副本未過期時，伺服器對條件式 GET 回覆？（A）200（B）301（C）304（D）404
9. 負責存放「郵件伺服器正規名稱」的 RR 類型是？（A）A（B）NS（C）CNAME（D）MX
10. IP 分割後的重組在哪裡進行？（A）第一台路由器（B）最後一台路由器（C）任何路由器（D）目的主機
11. Header length 欄位值為 5，代表標頭長度？（A）5 bytes（B）20 bytes（C）40 bytes（D）60 bytes
12. DHCP Discover 的來源與目的 IP 為？（A）0.0.0.0 → 255.255.255.255（B）伺服器 → 廣播（C）127.0.0.1 → 伺服器（D）0.0.0.0 → 伺服器

二、計算題

1. 封包 1,500 bytes，連結 10 Mbps、長 2,000 km，$s = 2 \times 10^8$ m/s。求傳輸延遲、傳播延遲及兩者總和。
2. 封包平均每秒抵達 1,200 個，每個 1,000 bits，連結 1.5 Mbps。求流量強度，並判斷系統是否合理。
3. 10 組下載共用核心連結 $R = 10$ Mbps，$R_s = 4$ Mbps，$R_c = 2$ Mbps。求每組產出率與瓶頸所在。
4. 網頁含 1 個 HTML 與 5 張圖，求三種 HTTP 連線方式所需 RTT（忽略傳輸時間）。
5. 機構每秒 20 個請求、平均物件 1 Mb，對外連結 25 Mbps。求無快取時的使用率，以及命中率 0.5 時的使用率。
6. IP 資料 4000 bytes，MTU 1500。列出每片資料量、Total length、Offset、MF。
7. IP 資料 1900 bytes，MTU 1000。列出每片資料量、Offset、MF。（注意 8 的倍數）
8. `ping -l 2000` 在乙太網路上會分成幾片？各片 IP 資料量與 Offset 為何？
9. 標頭欄位 HLEN＝7，Total length＝1000。求標頭長度、選項長度與資料長度。
10. 192.168.10.37/27 的遮罩、網路位址、廣播位址、可用主機範圍與數量為何？
11. 把 200.1.2.0/24 切成 8 個子網路，求新前綴、每個子網路位址數、第 3 個子網路的範圍。

12. 把 200.23.16.0/24、200.23.17.0/24、200.23.18.0/24、200.23.19.0/24 聚合成一條路由。
13. 用 4.2 節的轉送表，判斷目的位址 `11001000 00010111 00011001 00000001`、`11001000 00010111 00010101 00000001`、`11001000 00010110 00000000 00000001` 各走哪個介面。

三、問答題

1. 說明封包交換相較於電路交換的優缺點。
2. 為什麼 Web 快取能同時降低回應時間與機構對外流量？它帶來什麼新問題、如何解決？
3. 為什麼 DNS 不採集中式設計？
4. 說明 NAT 如何讓多台主機共用一個 IP。
5. 連結層交換器與路由器有何不同？

解答

選擇題

1：B；2：B；3：C；4：B；5：D；6：B；7：A；8：C；9：D；10：D；11：B；12：A

計算題

1. $d_{trans} = 12{,}000 \div 10^7 =$ **1.2 ms**；$d_{prop} = 2 \times 10^6 \div (2 \times 10^8) =$ **10 ms**；總和 **11.2 ms**。
2. $La/R = (1{,}000 \times 1{,}200) \div (1.5 \times 10^6) =$ **0.8**。小於 1，系統穩定，但已開始有明顯佇列延遲。
3. 每組分到 R/10＝1 Mbps，min{4, 2, 1}＝**1 Mbps**；瓶頸在**核心共用連結**。
4. 非持續性 2 × 6＝**12 RTT**；持續性無管線化 2＋5＝**7 RTT**；持續性有管線化 **3 RTT**。
5. 流量 20 × 1 Mb＝20 Mbps。無快取：20 ÷ 25＝**0.8**；有快取：0.5 × 20 ÷ 25＝**0.4**。
6. 每片最多 1480。三片資料 1480、1480、1040；Total length 1500、1500、1060；Offset 0、185、370；MF 1、1、0。
7. 1000−20＝980，不是 8 的倍數，取 **976**。資料 976、924；Offset 0、122；MF 1、0。
8. ICMP 8＋2000＝2008 bytes。分 **2 片**：1480、528；Offset 0、185。
9. 標頭 7 × 4＝**28 bytes**；選項 28−20＝**8 bytes**；資料 1000−28＝**972 bytes**。
10. 遮罩 **255.255.255.224**；區塊大小 32，37 落在 32–63；網路位址 **192.168.10.32**；廣播 **192.168.10.63**；可用 **.33–.62，共 30 個**。
11. 借 3 位元得 **/27**；每個 **32** 個位址；第 3 個子網路 **200.1.2.64 – 200.1.2.95**。
12. 第三位元組 16–19 為 000100xx，前 22 位元相同，聚合為 **200.23.16.0/22**。
13. 第一個符合 `00011***` → **介面 2**；第二個符合 `00010***` → **介面 0**；第三個第二位元組不符 → **介面 3**。

問答題重點

1. 優點：依需求共用、頻寬分享好、簡單有效率、成本低、不必預約。缺點：延遲不固定且無保障，壅塞時會遺失，較不適合嚴格即時服務。
2. 快取離用戶端近，命中時不必經過對外連結。新問題是副本可能過期，以條件式 GET（`If-modified-since`，未修改回 304）解決。
3. 單點失效、流量龐大、距離遙遠造成延遲、維護困難。所以採階層式分散資料庫。
4. 路由器把內部（私有 IP、埠）換成（全球 IP、新埠）並記入轉換表；回應抵達時依埠號查表換回。靠埠號區分不同主機的連線。
5. 交換器在第 2 層，依 MAC 位址轉送訊框，連接同一子網路；路由器在第 3 層，依 IP 位址繞送，每個介面屬於不同子網路，並以最長前綴比對查轉送表。

附錄 E　講義疑點與不一致

整理時發現下列地方與計算結果或其他頁面不一致。本書正文採右欄的處理方式；若考試依講義原文出題，請以老師說法為準。

- **英 4 p.83**　講義內容：172.16.0.0/12 位址數為 1,047,584；本書處理：2^{20}＝**1,048,576**，判斷為誤植
- **英 4 p.83**　講義內容：169.254.0.0/16 列為私有位址；本書處理：依講義列出。一般而言它是 link-local（自動設定）位址，與 RFC 1918 三段私有位址不同
- **英 2 p.36 與 p.20**　講義內容：表格把 HTTPS 的 OSI 層寫成 Transport，p.20 則說 TLS 實作在應用層；本書處理：依 p.20，HTTPS 屬應用層、TLS 位於應用程式與 TCP 之間。**建議向老師確認**
- **英 4 p.45、p.50**　講義內容：ping 分割圖把 8 bytes ICMP 標頭畫在**最後一片**；本書處理：各片資料量總和正確（128、248）。實際上 ICMP 標頭在**第一片**資料的開頭；考試若問數字，答 1480＋128、1480＋1480＋248
- **英 1 p.122**　講義內容：連結層「使用網路層服務」傳送資料包；本書處理：應是使用**實體層**服務（下一層），判斷為誤植
- **英 2 p.42**　講義內容：PUT 的內容放在 POST 請求訊息；本書處理：應為 PUT 請求訊息，判斷為誤植
- **中 1 p.41**　講義內容：銅線直徑「約 1 厘米」；本書處理：課本原文一般是約 1 mm；厘米（cm）顯然過粗，判斷為翻譯問題
- **英 2 p.22 與 p.29**　講義內容：HTTP 1.1 標 RFC 7320；另處標 RFC 1945、2616；本書處理：RFC 編號版本不同。不建議花時間背
- **英 2 p.53、55 與 p.57、64**　講義內容：管線化是 HTTP/1.1 預設；多數瀏覽器卻預設關閉；本書處理：不算矛盾：前者是規格，後者是實作
- **中 1 p.38、英 1 p.49、54**　講義內容：廣域無線速率分別為 60 Mbps、1–10 Mbps、數十 Mbps；本書處理：技術世代不同。計算題以題目給定為準
- **英 1 p.82 與 p.86**　講義內容：傳播速率約 2×10^8，或 $2–3 \times 10^8$ m/s；本書處理：媒介不同所致。計算題以題目給定為準
- **英 2 p.74 與 p.75–76**　講義內容：LAN 延遲有時寫 msecs、有時 usecs；p.76 仍顯示未裝快取的數字；本書處理：量級都很小不影響結論；裝快取的實際計算在 p.77
- **多處**　講義內容：dprog、tire-1、global transmit ISP、DCP server 等拼字；本書處理：分別應為 dprop、tier-1、transit、DHCP

範圍提醒

- **沒有第 3 章**：提供的檔案只有第 1、2、4 章，傳輸層（TCP 細節）不在本書內。
- **第 2 章**：目錄列出 FTP、電子郵件、P2P、Socket 程式設計，但投影片無內容。
- **第 1 章的 1.6、1.7**：英文講義只列在目錄，內容僅見於中文講義。
- **第 4 章**：IPv6、ICMP、繞送演算法、SDN 只有概略提及；p.95 的 Wireshark 輸出只有標題，本書未能取得細節。

- **小考標記**：英 2 p.84 有「第四次小考」、p.115 有「第五次小考」，表示這兩段的內容在課堂上被單獨測驗過，可找回小考卷對照題型。

附錄 F　考前檢查清單

每一項都試著**不看書說出來或算出來**。做不到的，回到括號中的章節。

第 1 章

- ☐ 協定定義的三個關鍵字（1.1）
- ☐ DSL、纜線、FTTH 的設備名稱與專用／共用差異（1.2）
- ☐ 導引式與非導引式媒介的例子（1.2）
- ☐ 轉送與繞送的差別（1.3）
- ☐ FDM 與 TDM 各切什麼（1.3）
- ☐ 封包交換與電路交換比較（1.3）
- ☐ 四種延遲名稱、公式與傳輸／傳播的差別（1.4）
- ☐ La/R 三種情況（1.4）
- ☐ 產出率 min 公式與共用連結算法（1.4）
- ☐ 五層、各層封包名稱、裝置實作層數（1.5）
- ☐ 三種 DoS 與 DDoS（1.6）

第 2 章

- ☐ Socket 定義與 IP＋埠號（2.1）
- ☐ 四類傳輸服務與常見應用需求表（2.1）
- ☐ TCP、UDP 服務與都不提供的項目（2.1）
- ☐ HTTP 方法、狀態碼與 HTTP／HTTPS 埠號（2.2）
- ☐ 三種連線的 RTT 公式（2.2）
- ☐ Cookie 四元件（2.2）
- ☐ 快取範例的使用率與延遲（2.2）
- ☐ 條件式 GET 與 304（2.2）
- ☐ DNS 三類伺服器與本地 DNS（2.3）
- ☐ 遞迴與迭代、畫出 8 個步驟（2.3）
- ☐ A、NS、CNAME、MX（2.3）
- ☐ CDN 如何用 DNS 導向與兩種叢集選擇策略（2.4）

第 4 章

- ☐ 資料層與控制層、SDN（4.1）

- ☐ best-effort 不保證什麼（4.1）
- ☐ 最長前綴比對（4.2）
- ☐ 畫出 IP 標頭與各欄位長度（4.3）
- ☐ HLEN、Total length、Offset 的單位（4.3）
- ☐ 分割計算與 MF，含 8 的倍數陷阱（4.3）
- ☐ Checksum 流程（4.3）
- ☐ 由 /n 算遮罩、網路位址、廣播位址、主機數（4.4）
- ☐ 子網路切割與路由聚合（4.4、4.5）
- ☐ 特殊位址與私有位址區塊（4.5）
- ☐ NAT 轉換表四步驟（4.6）
- ☐ DHCP 四訊息、來源與目的 IP、埠號（4.7）

問題查詢表

依題目類型找頁碼。**粗體**是解法或定義所在的頁。

題目在問	節次	翻到第幾頁
封包長度、連結速率、距離 → 算傳輸或傳播延遲	1.4	**9**
傳輸延遲和傳播延遲差在哪	1.4	**9**
儲存轉送造成的端對端延遲	1.3	**7**
流量強度 La/R 大於或接近 1 會怎樣	1.4	**9**
多條連結或共用連結 → 算產出率、找瓶頸	1.4	**10**
封包交換與電路交換比較	1.3	**8**
FDM 與 TDM 各切什麼	1.3	**7**
ISP 付費方向、第一層 ISP	1.3	**8**
五層名稱、各層封包名稱	1.5	**10**
交換器、路由器、主機各實作幾層	1.5	**11**
為什麼分層、分層缺點	1.5	**10**
選 TCP 或 UDP，並說明理由	2.1	**15**
應用需要什麼傳輸服務（遺失、產出率、時間）	2.1	**14**
網頁 n 個物件 → 算 HTTP 所需 RTT	2.2	**17**
HTTP 狀態碼的意思	2.2	**16**
Cookie 的四個元件與流程	2.2	**17**
加連結還是裝快取 → 算使用率與延遲	2.2	**18**
快取副本過期怎麼辦（條件式 GET）	2.2	**18**
DNS 查詢步驟與訊息數	2.3	**19**
遞迴與迭代查詢差異	2.3	**19**
DNS 紀錄類型（A、NS、CNAME、MX）	2.3	**20**
DNS 為什麼不集中	2.3	**19**
CDN 怎麼把使用者導到合適的伺服器	2.4	**21**
查轉送表 → 走哪個介面	4.2	**23**
IP 標頭欄位長度與單位	4.3	**24**
資料量與 MTU → 算分割片 、Offset、MF	4.3	**24**
分割片再分割時的 MF	4.3	**25**
ping -l 會分成幾片	4.3	**25**
算 IP Checksum	4.3	**25**

題目在問	節次	翻到第幾頁
由 /n 算遮罩、網路位址、廣播位址、主機數	4.4	**26**
把區塊切成多個子網路	4.4	**26**
多個區塊聚合成一條路由	4.5	**27**
特殊位址（0.0.0.0、127.x、廣播）	4.5	**27**
私有位址區塊與數量	4.5	**27**
NAT 轉換步驟與轉換表	4.6	**28**
DHCP 四訊息的來源與目的 IP、埠號	4.7	**28**
公式全部一次查	附錄 A	**29**
埠號、Protocol 值、MTU 等數字	附錄 C	**32**
自我練習題與解答	附錄 D	**33**
講義數字或說法有疑點	附錄 E	**36**

關鍵字索引：英文與縮寫（A–Z）

數字開頭（如 0.0.0.0、5G）排在最前面。

數字開頭

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
0.0.0.0	全 0 位址	4.5	**27**	26、28、33
1's complement	1 的補數	4.3	**25**	
5G fixed wireless	5G 固定無線	1.2	**6**	
127.0.0.0/8 / loopback	迴路位址	4.5	**27**	31
169.254.0.0/16		4.5	**27**	36
255.255.255.255	受限廣播	4.5	**27**	26、28、33

A

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
A record	A 紀錄	2.3	**20**	
access network	連線網路	1.2	**5**	6、10、30
Akamai		2.4	**20**	8、21
ALOHA		1.7	**11**	
Anycast		2.4	**21**	
AON		1.2	**6**	
API		2.1	**13**	5
application layer	應用層	1.5	**10**	
ARPAnet		1.7	**11**	12
ATM		4.1	**22**	
authoritative DNS	授權（權威）DNS	2.3	**19**	20、21、31

B

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
bandwidth-sensitive	頻寬敏感	2.1	**14**	31
best effort		4.1	**22**	
BGP		4.1	**22**	
BIND		2.3	**18**	

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
botnet	殭屍網路	1.6	**11**	30
bottleneck link	瓶頸連結	1.4	**10**	5、30

C

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
cable / HFC	纜線	1.2	**6**	33、38
CDN	內容傳遞網路	2.4	**20**	13、21、38
CIDR		4.4	**26**	22、27
circuit switching	電路交換	1.3	**7**	5、8、30、34、38
client	用戶端	2.1	**13**	
Cloudflare		2.4	**20**	21
cluster selection	叢集選擇策略	2.4	**21**	38
CMTS		1.2	**6**	
CNAME		2.3	**20**	21、33、38
coaxial cable	同軸電纜	1.2	**7**	
communication link	通訊連結	1.1	**5**	
conditional GET	條件式 GET	2.2	**18**	16、31、33、35、38
congestion control	壅塞控制	2.1	**14**	10、31、33
content provider network	內容供應者網路	1.3	**8**	
control plane	控制層	4.1	**22**	31、38
cookie		2.2	**17**	

D

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
DASH		2.4	**21**	14
data center	資料中心	2.1	**13**	6、8、20
data plane	資料層	4.1	**22**	31、38
datagram	資料包（網路層封包）	1.5	**10**	
DDoS		1.6	**11**	21、38
default gateway	預設閘道	4.4	**27**	26、31
DELETE		2.2	**16**	
DHCP	動態主機設定協定	4.7	**28**	22、27、32、33、36、39

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
Diffserv	差異化服務	4.1	**22**	23
directed broadcast	直接廣播位址	4.4	**26**	
DNS	網域名稱系統	2.3	**18**	
DNS caching	DNS 快取	2.3	**20**	19
DNS message format	DNS 訊息格式	2.3	**20**	
DOCSIS		1.2	**6**	
DORA	DHCP 四步驟	4.7	**28**	22
DoS		1.6	**11**	38
dotted decimal	點分十進位	4.4	**25**	
DSL		1.2	**6**	32、33、38
DSL frequency bands	DSL 三個頻帶	1.2	**6**	
DSLAM		1.2	**6**	

E

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
edge router	邊際路由器	1.2	**5**	30
elastic	彈性（應用）	2.1	**14**	
encapsulation	封裝	1.5	**11**	
end-point authentication	端點認證	1.6	**11**	14、31
end-to-end delay	端對端延遲	1.4	**9**	7、29
Ethernet	乙太網路	1.2	**6**	5、10、11、24、25、28、32 等

F

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
FDM	分頻多工	1.3	**7**	6、38
Flags (DF / MF)	旗標	4.3	**23**	
flow control	流量控制	2.1	**14**	10、31、33
forwarding	轉送	1.3	**7**	
forwarding table	轉送表	1.3	**7**	22、23、34、35
FQDN		2.3	**19**	
Fragment offset	分割位移	4.3	**23**	
fragmentation	IP 分割	4.3	**24**	22、31、33

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
frame	訊框（連結層封包）	1.5	**10**	
FTTB		1.2	**6**	
FTTH	光纖到戶	1.2	**6**	38

G

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
GET		2.2	**16**	17、18、31、33、35、38
guided media	導引式媒介	1.2	**6**	30、38

H

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
HEAD		2.2	**16**	17
Header checksum	Checksum 計算	4.3	**25**	23、24
hit rate	命中率	2.2	**18**	
HLEN / Header length	標頭長度	4.3	**23**	24、29、32、33、39
HOL blocking	隊頭阻塞	2.2	**17**	31
host / end system	主機／終端系統	1.1	**5**	9、10、11、12、13、15、17 等
hosts file	hosts 檔案	2.3	**19**	
HTTP	超文字傳輸協定	2.2	**15**	
HTTP request line	請求列	2.2	**16**	
HTTP status line	狀態列	2.2	**16**	
HTTPS		2.2	**15**	21、32、36、38

I

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
ICANN		4.5	**27**	
ICMP		4.1	**22**	24、25、32、34、36
Identification	識別碼	4.3	**23**	24、25
IEEE 802		1.1	**5**	6
IETF		1.1	**5**	
If-modified-since		2.2	**18**	

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
IGMP		4.3	**24**	32
Intserv		4.1	**22**	
IP address	IP 位址	4.4	**25**	7、13、18、20、23、26、27 等
IP datagram format	IP 資料包格式／IP 標頭	4.3	**23**	22、29、32、39
IP spoofing	IP 詐騙	1.6	**11**	31
ipconfig		2.3	**20**	
IPv4		4.5	**27**	32
IPv6		4.5	**27**	32、36
ISO/OSI	七層模型	1.5	**10**	
ISP	網際網路服務供應者	1.1	**5**	
iterative query	迭代查詢	2.3	**19**	13、31
IXP	網際網路互換點	1.3	**8**	

J

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
jumbo frame	巨型訊框	4.3	**24**	

K

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
Keep-Alive		2.2	**17**	

L

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
Layer 2 switch	交換器與路由器比較	4.4	**26**	
layering	分層的優缺點	1.5	**10**	
LEO	低軌道衛星	1.2	**7**	
lifetime	租用時間	4.7	**28**	
link layer	連結層	1.5	**10**	
local DNS	本地 DNS／預設名稱伺服器	2.3	**19**	21、33、38
longest prefix match	最長前綴比對	4.2	**23**	22、27、31、35、39
loss-tolerant	可容忍遺失	2.1	**14**	31

M

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
MAC address	MAC 位址	4.4	**26**	35
malware	惡意軟體	1.6	**11**	
manifest		2.4	**21**	
message	訊息（應用層封包）	1.5	**10**	
MTU		4.3	**24**	25、32、33
multi-home	多點上層連接	1.3	**8**	30
MX		2.3	**20**	33、38

N

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
NAT	網路位址轉換	4.6	**27**	22、28、34、39
NAT translation table	轉換表	4.6	**28**	35、39
Netflix		2.4	**21**	
network address	網路位址	4.4	**26**	11、27、33、34、39
network layer	網路層	1.5	**10**	
nodal delay	節點延遲	1.4	**8**	5、29
non-persistent connection	非持續性連線	2.2	**16**	
NS record	NS 紀錄	2.3	**20**	
nslookup		2.3	**20**	21

O

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
OC-n		1.2	**7**	29
OLT		1.2	**6**	
ONT		1.2	**6**	
optical fiber	光纖	1.2	**7**	
origin server	原始伺服器	2.2	**17**	
OSPF		4.1	**22**	24、32
output buffer	輸出緩衝區	1.3	**7**	30

P

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
packet	封包	1.1	**5**	
packet loss	封包遺失	1.4	**9**	7
packet sniffer	封包竊聽器	1.6	**11**	30
packet switch	封包交換器	1.1	**5**	30
packet switching	封包交換	1.3	**7**	5、8、11、30、34、38
payload	內容欄位	1.5	**11**	30
peering	對等	1.3	**8**	
persistent connection	持續性連線	2.2	**17**	31
physical layer	實體層	1.5	**10**	
ping		4.3	**25**	33、36
pipelining	管線化	2.2	**17**	16、29、31、34、36
PON		1.2	**6**	
PoP		1.3	**8**	
port number	埠號	2.1	**13**	15、18、28、33、35、38、39
POST		2.2	**16**	17、36
PPPoE		4.3	**24**	10、32
presentation layer	表現層	1.5	**10**	
private address	私有位址	4.5	**27**	28、36、39
processing delay	處理延遲	1.4	**9**	30、33
propagation delay	傳播延遲	1.4	**9**	29、30、33
protocol	協定（定義）	1.1	**5**	
Protocol field	協定欄位（1 ICMP、6 TCP、17 UDP）	4.3	**24**	
protocol stack	協定堆疊	1.5	**10**	5、30、33
public DNS	公共 DNS（8.8.8.8、1.1.1.1）	2.3	**20**	19
PUT		2.2	**16**	36

Q

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
queuing delay	佇列延遲	1.4	**9**	7、8、18、30、34

R

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
reassembly	重組	4.3	**24**	31、33
recursive query	遞迴查詢	2.3	**19**	31
reliable data transfer	可靠資料傳輸	2.1	**14**	31
resource record (RR)	資源紀錄	2.3	**20**	13、31
RFC		1.1	**5**	15、36
root DNS	根 DNS	2.3	**19**	32
route / path	路由／路徑	1.1	**5**	
route aggregation	路由聚合	4.5	**27**	31、39
routing	繞送	1.3	**7**	
RTT	往返時間	2.2	**16**	9、13、15、17、18、29、33 等

S

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
satellite	衛星	1.2	**7**	5、6、9、32
SDN	軟體定義網路	4.1	**22**	36、38
segment	區段（傳輸層封包）	1.5	**10**	
server	伺服器（主從式架構）	2.1	**13**	
server cluster	伺服器叢集	2.4	**21**	31
service model	服務模型	4.1	**22**	10
Service type / ToS	服務類型	4.3	**23**	32
session layer	會議層	1.5	**10**	
Set-Cookie		2.2	**17**	
single point of failure	單點失效	2.3	**19**	35
socket		2.1	**13**	5、14、15
SSL		2.2	**15**	
stateless	無狀態協定	2.2	**15**	31
status code	狀態碼（200／301／304／400／404／505）	2.2	**16**	13、38
store-and-forward	儲存轉送	1.3	**7**	30
subnet mask	遮罩／子網路遮罩	4.4	**26**	28、31、33、34、39
subnetting	子網路切割	4.4	**26**	22、39

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
switching fabric	交換結構	4.2	**23**	31

T

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
TCP	傳輸控制協定	2.1	**14**	
TDM	分時多工	1.3	**7**	38
terrestrial radio	地表無線電	1.2	**7**	
third-party CDN	第三方 CDN	2.4	**20**	
throughput	產出率	1.4	**10**	5、8、9、14、15、29、30 等
tier-1 ISP	第一層 ISP	1.3	**8**	
TLD DNS	頂級網域	2.3	**19**	
TLS		2.1	**14**	15、16、36
Total length	總長度	4.3	**23**	24、25、29、32、33、34、39
Traceroute		1.4	**9**	
traffic intensity	流量強度	1.4	**9**	5、18、29、30、33
transmission delay	傳輸延遲	1.4	**9**	7、29、30、33
transport layer	傳輸層	1.5	**10**	
TTL	存活時間	4.3	**23**	9、20、21、24、25、32
twisted pair / UTP	雙絞銅線	1.2	**6**	

U

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
UDP	使用者資料包協定	2.1	**14**	
unguided media	非導引式媒介	1.2	**6**	30、38
URL		2.2	**15**	16

V

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
VDSL		1.2	**6**	
Version	版本欄位	4.3	**23**	

W

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
Web cache / proxy	Web 快取／代理伺服器	2.2	**17**	13、20、21、31、34
web object	物件	2.2	**15**	
white-box server	白牌伺服器	2.1	**13**	
WiFi / IEEE 802.11	存取點	1.2	**6**	5、7、8、10、24、32
Wireshark		4.3	**25**	11、36

Y

英文／縮寫	中文	節次	主要頁	其他頁
yiaddr		4.7	**28**	

關鍵字索引：中文（依首字筆畫）

依首字筆畫由少到多排列，每組標題是首字的筆畫數。中文開頭的項目才列在這裡；像「DSL 三個頻帶」這類英文開頭的項目請查 A–Z。

1 畫

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
乙太網路	Ethernet	1.2	**6**	5、10、11、24、25、28、32 等

2 畫

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
七層模型	ISO/OSI	1.5	**10**	

3 畫

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
子網路切割	subnetting	4.4	**26**	22、39

4 畫

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
內容供應者網路	content provider network	1.3	**8**	
內容傳遞網路	CDN	2.4	**20**	13、21、38
內容欄位	payload	1.5	**11**	30
公共 DNS（8.8.8.8、1.1.1.1）	public DNS	2.3	**20**	19
分時多工	TDM	1.3	**7**	38
分割位移	Fragment offset	4.3	**23**	
分層的優缺點	layering	1.5	**10**	
分頻多工	FDM	1.3	**7**	6、38

5 畫

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
主機／終端系統	host / end system	1.1	**5**	9、10、11、12、13、15、17 等
可容忍遺失	loss-tolerant	2.1	**14**	31

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
可靠資料傳輸	reliable data transfer	2.1	**14**	31
巨型訊框	jumbo frame	4.3	**24**	
本地 DNS／預設名稱伺服器	local DNS	2.3	**19**	21、33、38
用戶端	client	2.1	**13**	
白牌伺服器	white-box server	2.1	**13**	

6 畫

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
交換結構	switching fabric	4.2	**23**	31
交換器與路由器比較	Layer 2 switch	4.4	**26**	
光纖	optical fiber	1.2	**7**	
光纖到戶	FTTH	1.2	**6**	38
全 0 位址	0.0.0.0	4.5	**27**	26、28、33
同軸電纜	coaxial cable	1.2	**7**	
地表無線電	terrestrial radio	1.2	**7**	
多點上層連接	multi-home	1.3	**8**	30
存取點	WiFi / IEEE 802.11	1.2	**6**	5、7、8、10、24、32
存活時間	TTL	4.3	**23**	9、20、21、24、25、32

7 畫

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
伺服器（主從式架構）	server	2.1	**13**	
伺服器叢集	server cluster	2.4	**21**	31
佇列延遲	queuing delay	1.4	**9**	7、8、18、30、34
低軌道衛星	LEO	1.2	**7**	
私有位址	private address	4.5	**27**	28、36、39

8 畫

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
使用者資料包協定	UDP	2.1	**14**	
協定（定義）	protocol	1.1	**5**	
協定堆疊	protocol stack	1.5	**10**	5、30、33

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
協定欄位（**1 ICMP、6 TCP、17 UDP**）	Protocol field	4.3	**24**	
受限廣播	255.255.255.255	4.5	**27**	26、28、33
命中率	hit rate	2.2	**18**	
往返時間	RTT	2.2	**16**	9、13、15、17、18、29、33 等
服務模型	service model	4.1	**22**	10
服務類型	Service type / ToS	4.3	**23**	32
版本欄位	Version	4.3	**23**	
物件	web object	2.2	**15**	
狀態列	HTTP status line	2.2	**16**	
狀態碼（**200／301／304／400／404／505**）	status code	2.2	**16**	13、38
直接廣播位址	directed broadcast	4.4	**26**	
表現層	presentation layer	1.5	**10**	
非持續性連線	non-persistent connection	2.2	**16**	
非導引式媒介	unguided media	1.2	**6**	30、38

9 畫

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
封包	packet	1.1	**5**	
封包交換	packet switching	1.3	**7**	5、8、11、30、34、38
封包交換器	packet switch	1.1	**5**	30
封包遺失	packet loss	1.4	**9**	7
封包竊聽器	packet sniffer	1.6	**11**	30
封裝	encapsulation	1.5	**11**	
持續性連線	persistent connection	2.2	**17**	31
流量強度	traffic intensity	1.4	**9**	5、18、29、30、33
流量控制	flow control	2.1	**14**	10、31、33
迭代查詢	iterative query	2.3	**19**	13、31
重組	reassembly	4.3	**24**	31、33

10 畫

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
原始伺服器	origin server	2.2	**17**	
差異化服務	Diffserv	4.1	**22**	23
根 **DNS**	root DNS	2.3	**19**	32
租用時間	lifetime	4.7	**28**	
訊息（應用層封包）	message	1.5	**10**	
訊框（連結層封包）	frame	1.5	**10**	
迴路位址	127.0.0.0/8 / loopback	4.5	**27**	31

11 畫

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
動態主機設定協定	DHCP	4.7	**28**	22、27、32、33、36、39
區段（傳輸層封包）	segment	1.5	**10**	
埠號	port number	2.1	**13**	15、18、28、33、35、38、39
授權（權威）**DNS**	authoritative DNS	2.3	**19**	20、21、31
控制層	control plane	4.1	**22**	31、38
條件式 **GET**	conditional GET	2.2	**18**	16、31、33、35、38
瓶頸連結	bottleneck link	1.4	**10**	5、30
產出率	throughput	1.4	**10**	5、8、9、14、15、29、30 等
第一層 **ISP**	tier-1 ISP	1.3	**8**	
第三方 **CDN**	third-party CDN	2.4	**20**	
處理延遲	processing delay	1.4	**9**	30、33
軟體定義網路	SDN	4.1	**22**	36、38
通訊連結	communication link	1.1	**5**	
連結層	link layer	1.5	**10**	
連線網路	access network	1.2	**5**	6、10、30
頂級網域	TLD DNS	2.3	**19**	

12 畫

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
最長前綴比對	longest prefix match	4.2	**23**	22、27、31、35、39
單點失效	single point of failure	2.3	**19**	35
惡意軟體	malware	1.6	**11**	
無狀態協定	stateless	2.2	**15**	31
超文字傳輸協定	HTTP	2.2	**15**	
隊頭阻塞	HOL blocking	2.2	**17**	31

13 畫

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
傳播延遲	propagation delay	1.4	**9**	29、30、33
傳輸延遲	transmission delay	1.4	**9**	7、29、30、33
傳輸控制協定	TCP	2.1	**14**	
傳輸層	transport layer	1.5	**10**	
會議層	session layer	1.5	**10**	
節點延遲	nodal delay	1.4	**8**	5、29
資料中心	data center	2.1	**13**	6、8、20
資料包（網路層封包）	datagram	1.5	**10**	
資料層	data plane	4.1	**22**	31、38
資源紀錄	resource record (RR)	2.3	**20**	13、31
路由／路徑	route / path	1.1	**5**	
路由聚合	route aggregation	4.5	**27**	31、39
電路交換	circuit switching	1.3	**7**	5、8、30、34、38
預設閘道	default gateway	4.4	**27**	26、31

14 畫

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
實體層	physical layer	1.5	**10**	
對等	peering	1.3	**8**	
旗標	Flags (DF / MF)	4.3	**23**	
端對端延遲	end-to-end delay	1.4	**9**	7、29
端點認證	end-point authentication	1.6	**11**	14、31

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
管線化	pipelining	2.2	**17**	16、29、31、34、36
網域名稱系統	DNS	2.3	**18**	
網路位址	network address	4.4	**26**	11、27、33、34、39
網路位址轉換	NAT	4.6	**27**	22、28、34、39
網路層	network layer	1.5	**10**	
網際網路互換點	IXP	1.3	**8**	
網際網路服務供應者	ISP	1.1	**5**	
遞迴查詢	recursive query	2.3	**19**	31

15 畫

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
導引式媒介	guided media	1.2	**6**	30、38
彈性（應用）	elastic	2.1	**14**	
標頭長度	HLEN / Header length	4.3	**23**	24、29、32、33、39
衛星	satellite	1.2	**7**	5、6、9、32
請求列	HTTP request line	2.2	**16**	
遮罩／子網路遮罩	subnet mask	4.4	**26**	28、31、33、34、39

16 畫

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
壅塞控制	congestion control	2.1	**14**	10、31、33
輸出緩衝區	output buffer	1.3	**7**	30
頻寬敏感	bandwidth-sensitive	2.1	**14**	31

17 畫

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
儲存轉送	store-and-forward	1.3	**7**	30
應用層	application layer	1.5	**10**	
殭屍網路	botnet	1.6	**11**	30
總長度	Total length	4.3	**23**	24、25、29、32、33、34、39
點分十進位	dotted decimal	4.4	**25**	

18 畫

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
叢集選擇策略	cluster selection	2.4	**21**	38
繞送	routing	1.3	**7**	
轉送	forwarding	1.3	**7**	
轉送表	forwarding table	1.3	**7**	22、23、34、35
轉換表	NAT translation table	4.6	**28**	35、39
雙絞銅線	twisted pair / UTP	1.2	**6**	

19 畫

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
識別碼	Identification	4.3	**23**	24、25
邊際路由器	edge router	1.2	**5**	30

27 畫

中文	英文／縮寫	節次	主要頁	其他頁
纜線	cable / HFC	1.2	**6**	33、38

自行補充頁

考前複習時想到的名詞、老師強調的地方或投影片頁碼，可以直接在 Word 裡填，也可以印出來手寫。

關鍵字	對照／備註	節次	頁碼

關鍵字	對照／備註	節次	頁碼