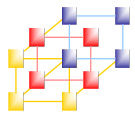


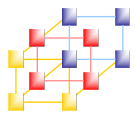
Unit 12

IPv6 定址

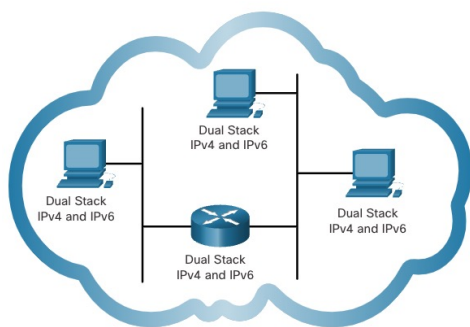


IPv6 的必要性

- IPv6 旨在取代 IPv4
 - IPv4 理論上最多有 43 億個位址，再加上與 NAT 組合形成的私有位址
 - IPv6 使用更大的 128 位元位址空間，提供 340×10^{36} 個位址
- IPv4 位址空間耗盡的問題是遷移到 IPv6 的主要誘因
- 隨著上網人數的增加，IPv4 位址空間的局限，NAT 和萬物互聯問題的出現，向 IPv6 遷移的時代已經開始了
- IPv6 彌補了 IPv4 的局限性並且包含其他改進（例如 ICMPv6）

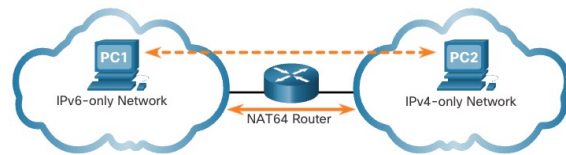


IPv4 和 IPv6 共存



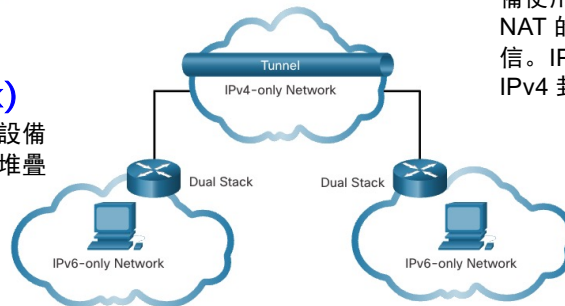
雙重堆疊 (Dual Stack)

允許 IPv4 和 IPv6 在同一網路中共存設備
可以同時執行 IPv4 和 IPv6 通訊協定堆疊



轉換 (Translation)

網路位址轉譯 64
(NAT64) 允許支援 IPv6
的設備與支援 IPv4 的設
備使用類似於 IPv4 中
NAT 的轉換技術進行通
信。IPv6 封包轉換為
IPv4 封包，反之亦然



隧道 (Tunneling)

透過 IPv4 網路傳輸 IPv6 封包的方法
將 IPv6 封包封裝到 IPv4 封包中

通訊與網路概論

3

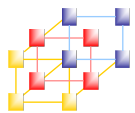


IPv6 位址的表示方法

- 長度為 128 位元，寫為一串十六進制值
- 在 IPv6 中，4 位元代表一個十六進制數字；32 個十六進制值 = IPv6 位址

2001:0DB8:0000:1111:0000:0000:0000:0200
FE80:0000:0000:0000:0123:4567:89AB:CDEF

- Hextet (十六位元組) 用於表示一個 16 位元或四個十六進制數段落
- 可以以大寫或小寫形式表示



IPv6 定址規則 1 – 省略前導 0

- 有助於縮短 IPv6 位址標記法的第一個規則就是省略任何 16 位元段落或十六位元組中的前導 0（零）
 - 01AB 可表示為 1AB
 - 09F0 可表示為 9F0
 - 0A00 可表示為 A00
 - 00AB 可表示為 AB

標準格式	2001:0DB8:0000:1111:0000:0000:0000:0200
無前導 0	2001: DB8: 0:1111: 0: 0: 0: 200

標準格式	2001:0DB8:000A:1000:0000:0000:0000:0100
無前導 0	2001: DB8: A:1000: 0: 0: 0: 100

標準格式	0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000
無前導 0	0: 0: 0: 0: 0: 0: 0: 0



IPv6 定址規則 2 – 忽略全 0 段落

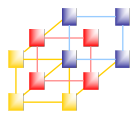
- 雙冒號 (::) 可以代替包含一個或多個 16 位元全 0 段落（十六位元組）的任意一個連續字串
- 雙冒號 (::) 在每個位址中只能使用一次，否則位址就會不明確 – 稱為壓縮格式
 - 錯誤位址 - 2001:0DB8::ABCD::1234

標準格式	2001:0DB8:0000:1111:0000:0000:0000:0200
無前導 0	2001: DB8: 0:1111: 0: 0: 0: 200
壓縮格式	2001:DB8:0:1111::200

標準格式	FF02:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0001
無前導 0	FF02: 0: 0: 0: 0: 0: 0: 1
壓縮格式	FF02::1

標準格式	2001:0DB8:0000:0000:ABCD:0000:0000:0100
無前導 0	2001: DB8: 0: 0:ABCD: 0: 0: 100
壓縮格式	2001:DB8::ABCD:0:0:100
或	
壓縮格式	2001:DB8:0:0:ABCD::100

只能使用一個 ::



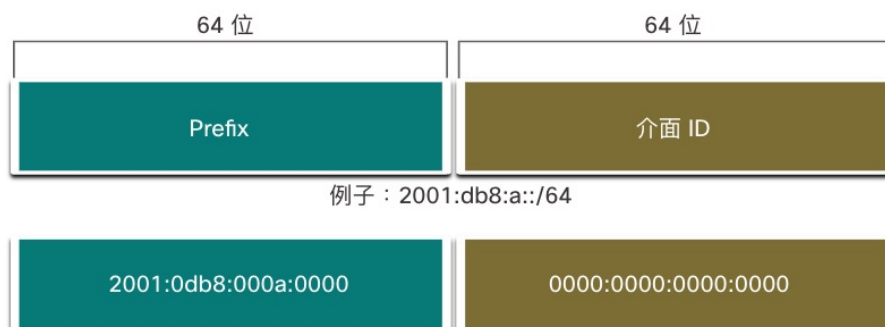
IPv6 網址類型

- IPv6 位址分為三種類型
 - 單點傳送 (Unicast)
 - 多點傳送 (Multicast)
 - 任意傳送 (Anycast)
 - 注意：IPv6 沒有廣播位址

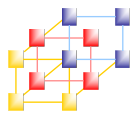


IPv6 前置碼長度

- IPv6 不使用點分隔十進制子網路遮罩標記法
- 前綴長度採用以下格式表示 IPv6 位址的網路部分
 - IPv6 位址/前置碼長度
 - 前綴長度的範圍為 0 到 128
 - 典型的前置碼長度是 /64



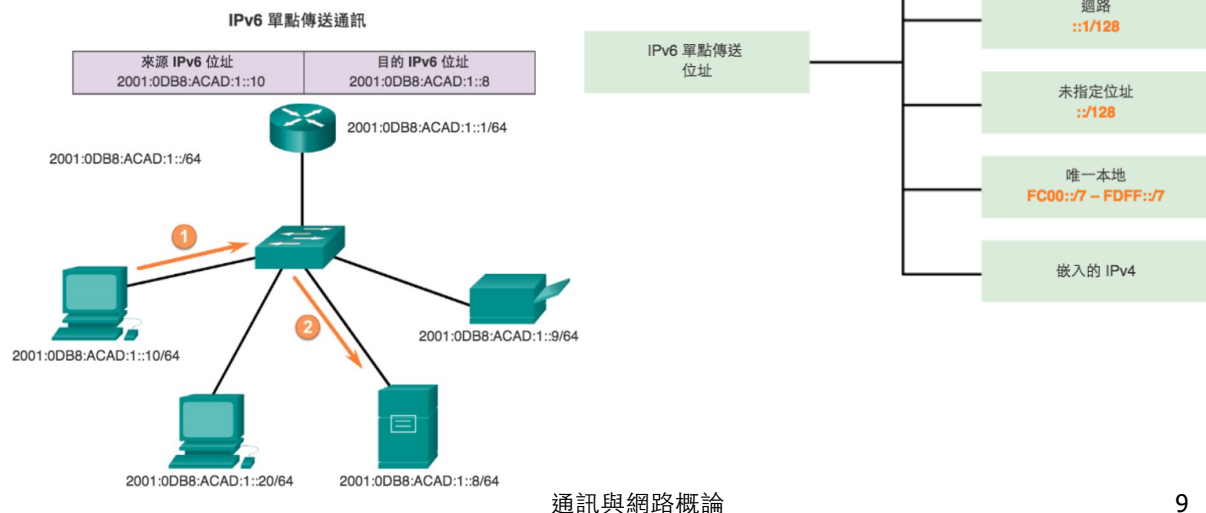
位址的前置碼或網路部分長度為 64 位，留下另一個 64 位用於位址的接口 ID（主機部分）。



IPv6 單點傳送位址(1/2)

■ 單點傳送

- 唯一標識支援 IPv6 的設備上的介面
- 發送到單點傳送位址的封包由該位址分配的介面接收

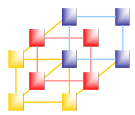


9



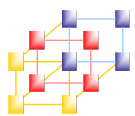
IPv6 單點傳送位址(2/2)

- 全域單播位址 (Global Unicast Address, GUA)
 - 這是類似於一個公共 IPv4 位址
 - 是全球唯一的，可網際網路路由的位址
 - GUA 可以靜態配置或動態分配
- 連結本機位址 (Link-local Address, LLA)
 - 每個啟用 IPv6 的裝置所必需的
 - LLA 是用來與相同本機連結上的其他裝置進行
 - 使用 IPv6，術語鏈接(link)是指子網
 - LLAs 限制在單一連結上。它們的唯一性必須只能在該連結上確認，因為它們不能在連結之外傳遞。換句話說，路由器不會轉寄含有連結本機來源或目的地位址的封包



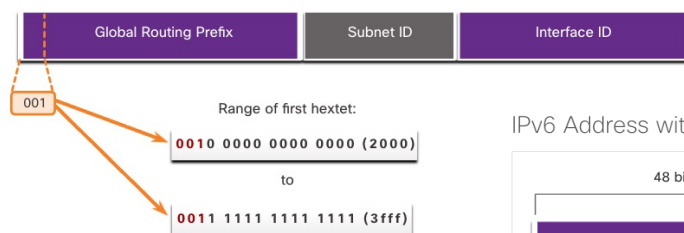
唯一本地位址 (Unique Local Address)

- 唯一的本地位址（範圍 fc00:: /7 到 fdff:: /7）通常尚未實現
- IPv6 唯一的本地位址與 IPv4 的 RFC 1918 私有位址有一些相似之處，但有顯著的差異
 - 唯一的本機位址用於站台內或有限數量的站台之間的本機位址
 - 唯一的本機位址可用於永遠不需要存取其他網路的裝置
 - 唯一的本地位址不會全域路由或轉換為全局 IPv6 位址

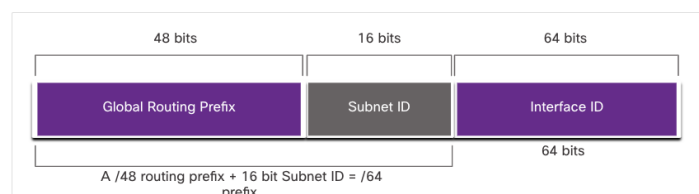


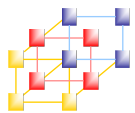
IPv6 GUA

- IPv6 全域單播位址（GUA）在 IPv6 網際網路上是全球唯一的和可路由
 - 這些位址相當於公用 IPv4 位址
 - 由網際網路委員會（ICANN）分配名稱和號碼，IANA 的運營商，分配 IPv6 位址區塊到五個 RIR
 - 目前，只有前三個位元為 001 或 2000:: /3 的 GUAs 被分配



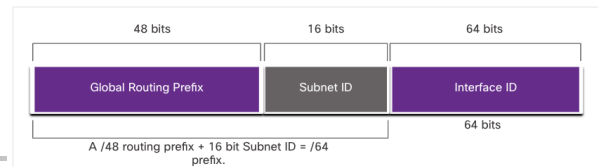
IPv6 Address with a /48 Global Routing Prefix and /64 Prefix





IPv6 GuA 架構

IPv6 Address with a /48 Global Routing Prefix and /64 Prefix



- 路由前置碼字元 (Global Routing Prefix)
 - 路由前置碼字元是由 ISP 指派給客戶或站台之位址的首碼或網路部分
 - ISP 通常會將 /48 全域路由首碼指派給其客戶
- 子網路 ID (Subnet ID)
 - 子網 ID 字段位於路由前置碼字元和介面 ID 之間
 - 不同於 IPv4，你必須從主機部分借位創建子網，IPv6 設計子網路 ID 由組織用來識別其站台內的子網路
 - 子網路 ID 越大，可用的子網路就越多
- 介面 ID (Interface ID)
 - IPv6 介面識別碼相當於 IPv4 位址的主機部分
 - 使用“介面 ID”一詞是因為單一主機可能有多個介面，每個介面都有一個或多個 IPv6 位址
 - /64 子網路或前置碼（全局路由前置碼 + 子網路 ID）留下 64 位的介面 ID。建議您允許啟用 SLAAC 的裝置建立自己的 64 位元介面 ID

通訊與網路概論

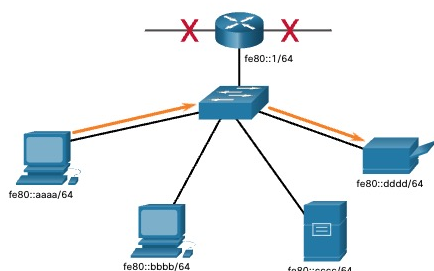
13



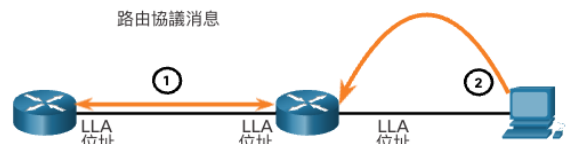
IPv6 LLA

- IPv6 連結本機位址 (LLA) 可讓裝置與同一個連結（子網路）上的其他啟用 IPv6 的裝置通訊
- 含有來源或目的地 LLA 的封包無法路由超出封包來源的連結(Link)
- GUA 不是必要。不過，每個啟用 IPv6 的網路介面都必須有 LLA
- 如果 LLA 未在介面上手動設定，裝置將自動建立自己的 LLA，而不需與 DHCP 伺服器通訊
 - 即使裝置尚未指派全域單播 IPv6 位址，啟用 IPv6 的主機也會建立 IPv6 LLA

IPv6 封包



路由協議消息



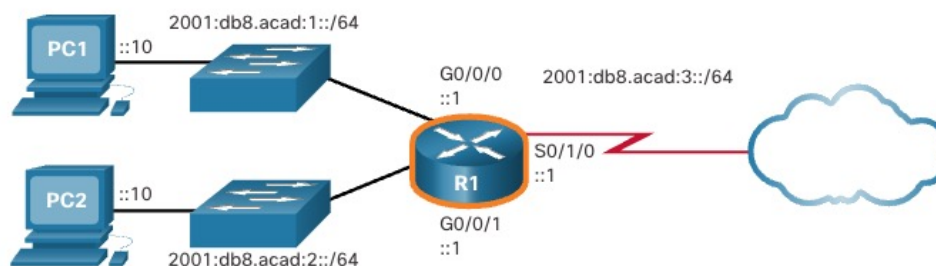
1. 路由器使用鄰近路由器的 LLA 來傳送路由更新。
2. 主機使用本機路由器的 LLA 做為預設閘道。

通訊與網路概論

14



全域單點傳送位址的靜態設定(1/2)



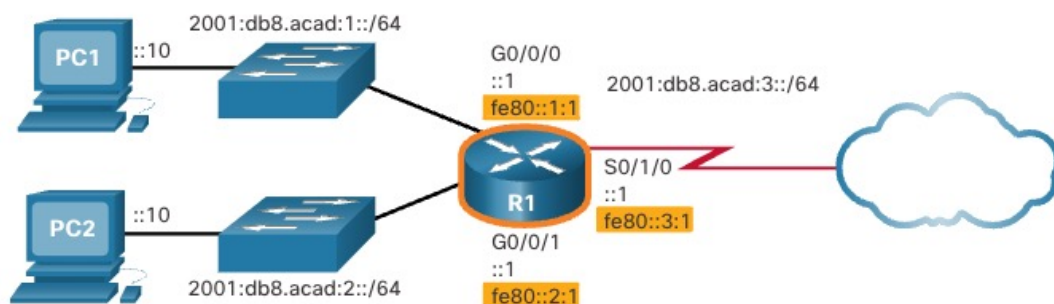
```
R1(config)# interface gigabitethernet 0/0/0
R1(config-if)# ipv6 address 2001:db8:acad:1::1/64
R1(config-if)# no shutdown
R1(config-if)# exit
R1(config)# interface gigabitethernet 0/0/1
R1(config-if)# ipv6 address 2001:db8:acad:2::1/64
R1(config-if)# no shutdown
R1(config-if)# exit
R1(config)# interface serial 0/1/0
R1(config-if)# ipv6 address 2001:db8:acad:3::1/64
R1(config-if)# no shutdown
```



全域單點傳送位址的靜態設定(2/2)



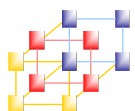
鏈接本地單播位址的靜態配置



```
R1(config)# interface gigabitethernet 0/0/0
R1(config-if)# ipv6 address fe80::1:1 link-local
R1(config-if)# exit
R1(config)# interface gigabitethernet 0/0/1
R1(config-if)# ipv6 address fe80::2:1 link-local
R1(config-if)# exit
R1(config)# interface serial 0/1/0
R1(config-if)# ipv6 address fe80::3:1 link-local
R1(config-if)# exit
```

通訊與網路概論

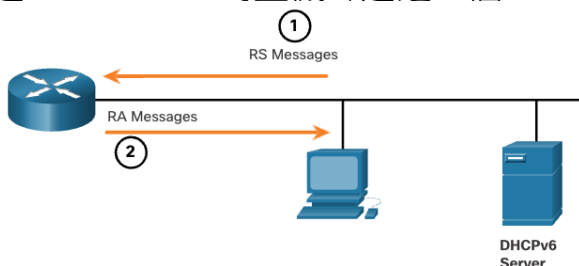
17



IPv6 GUI的動態尋址

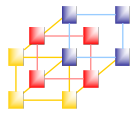
- 有兩種方式可以自動獲取 IPv6 GUA
 - 無狀態位址自動配置 (SLAAC)
 - 具有狀態的 DHCPv6
- 對於 GUA，裝置會透過 ICMPv6 訊息動態取得位址
 - IPv6 路由器每隔 200 秒會定期向網路上所有啟用 IPv6 功能的裝置發送 ICMPv6 的代理訊息
 - RA 也將發送回應給發送 ICMPv6 RS 的主機（這是一個 RA 的請求）

路由器通告 (Router Advertisement, RA)
路由器請求 (Router Solicitation, RS)



1. RS messages are sent to all IPv6 routers by hosts requesting addressing information.
2. RA messages are sent to all IPv6 nodes. If Method 1 (SLAAC only) is used, the RA includes network prefix, prefix-length, and default-gateway information.

18



RS 和 RA 訊息

- 路由器必須啟用 IPv6 路由，預設不會啟用
 - 若要將路由器啟用為 IPv6 路由器，必須使用 `ipv6 unicast-routing` 全域設定命令
- ICMPv6 RA 是一個關於如何獲取 IPv6 GUA 的設備的建議。最終決定取決於設備操作系統
- ICMPv6 RA 信息包括以下內容
 - Network prefix and prefix length -這會告訴裝置它所屬的網路
 - Default gateway address-這是一個 IPv6 LLA，RA 消息的來源 IPv6 位址
 - DNS addresses and domain name-這些是 DNS 服務器和域名的位址
- RA 訊息有三種方法
 - SLAAC -“我擁有您需要的所有內容，包括前置碼、前置碼長度和預設閘道位址”
 - SLAAC with a stateless DHCPv6 server-“這是我的信息，但您需要從無狀態的 DHCPv6 服務器獲取其他信息，如 DNS 位址”。
 - Stateful DHCPv6 (no SLAAC)-“我可以給你 default gateway 位址。您需要向有狀態的 DHCPv6 伺服器詢問所有其他資訊”

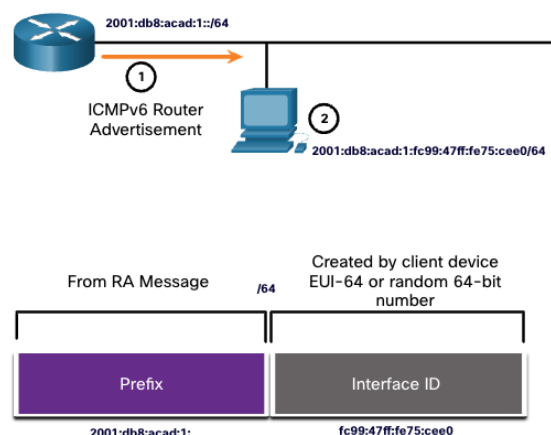
通訊與網路概論

19



Stateless Address Autoconfiguration (SLAAC)

- SLAAC 是一種允許設備在沒有 DHCPv6 服務的情況下創建自己的 GUA 的方法
- 使用 SLAAC 時，裝置依賴本機路由器的 ICMPv6 RA 訊息來取得必要的資訊



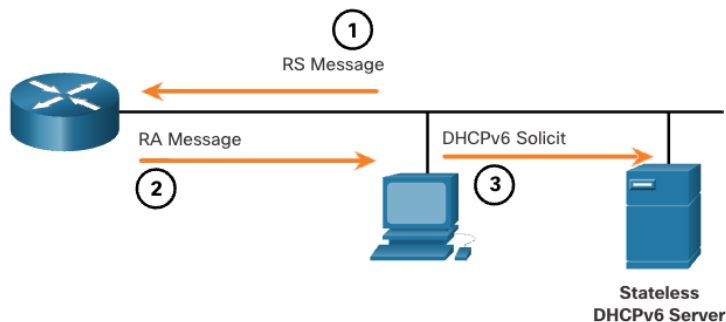
1. The router sends an RA message with the prefix for the local link.
2. The PC uses SLAAC to obtain a prefix from the RA message and creates its own Interface ID.

20



SLAAC and Stateless DHCPv6

- 使用此方法，RA 消息建議設備使用以下內容
 - 使用 SLAAC 建立自己的 IPv6 GUA
 - 使用路由器 LLA，也就是 RA 來源 IPv6 位址，做為預設閘道位址
 - 使用無狀態 DHCPv6 伺服器取得 DNS 伺服器位址和網域名稱等其他資訊



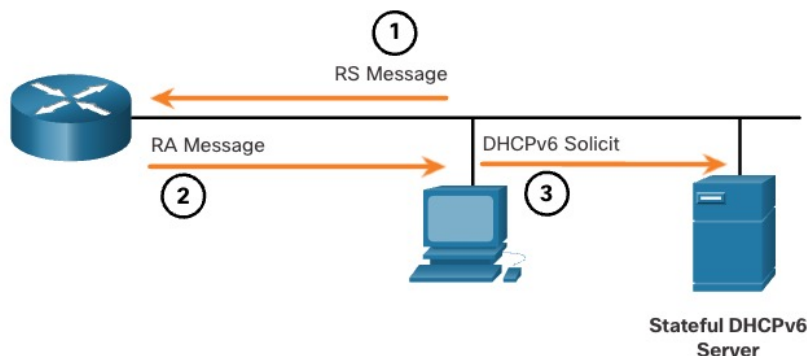
1. The PC sends an RS to all IPv6 routers, "I need addressing information."
2. The router sends an RA message to all IPv6 nodes with Method 2 (SLAAC and DHCPv6) specified. "Here is your prefix, prefix-length, and default gateway information. But you will need to get DNS information from a DHCPv6 server."
3. The PC sends a DHCPv6 Solicit message to all DHCPv6 servers. "I used SLAAC to create my IPv6 address and get my default gateway address, but I need other information from a stateless DHCPv6 server."

21



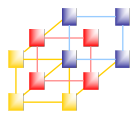
Stateful DHCPv6

- Stateful DHCPv6 類似於 IPv4 的 DHCP
- 裝置可以從DHCPv6 伺服器自動接收其定址資訊，包括 GUA、首碼長度和 DNS 伺服器的位址



1. The PC sends an RS to all IPv6 routers, "I need addressing information."
2. The router sends an RA message to all IPv6 nodes with Method 3 (Stateful DHCPv6) specified, "I am your default gateway, but you need to ask a stateful DHCPv6 server for your IPv6 address and other addressing information."
3. The PC sends a DHCPv6 Solicit message to all DHCPv6 servers, "I received my default gateway address from the RA message, but I need an IPv6 address and all other addressing information from a stateful DHCPv6 server."

22



EUI-64 程序或隨機產生(1/3)

■ EUI-64 程序

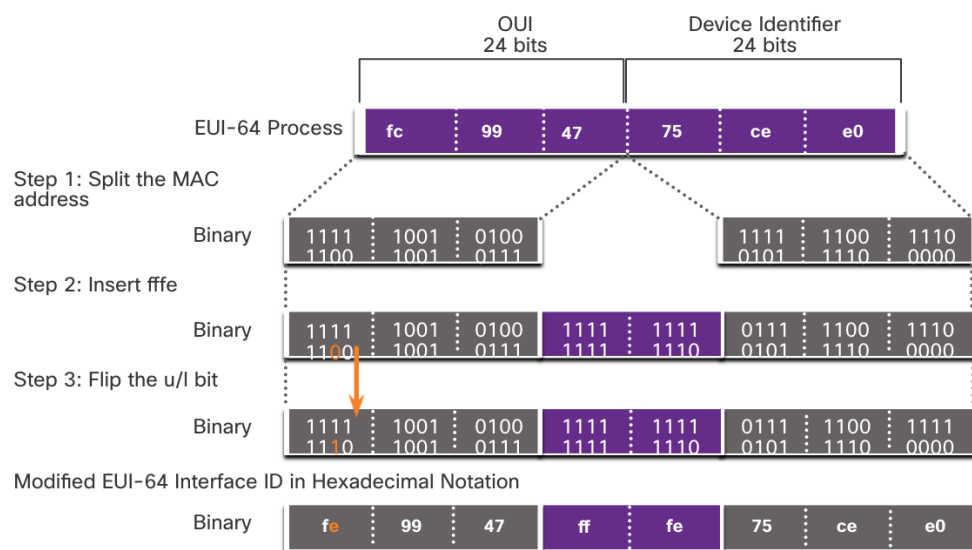
- 該程序使用用戶端的 48 位元乙太網路 MAC 位址，並在 48 位元 MAC 位址中間插入另外的 16 位元，進而新增 64 位元介面 ID
- 優點是可以使用乙太網路 MAC 位址確定介面 – 易於追蹤

■ EUI-64 介面 ID 以二進制形式表示，由三部分組成

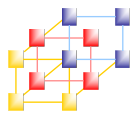
- 來自用戶端 MAC 位址的 24 位元 OUI，但第 7 個位元（通用/本地位元）正好相反（0 變為 1）
- 插入 16 位元值 FFFE
- 來自用戶端 MAC 位址的 24 位元設備識別字



EUI-64 程序或隨機產生(2/3)



```
C:\> ipconfig
Windows IP 設定
乙太網路卡 區域連線:
連線特定 DNS 尾碼 . . . :
IPv6 Address. . . . . : 2001:db8:acad:1:fc99:47ff:fe75:cee0
連結-本機 IPv6 位址 . . . : fe80::fc99:47ff:fe75:cee0
預設閘道 . . . . . : fe80::1
C:\>
```



EUI-64 程序或隨機產生(3/3)

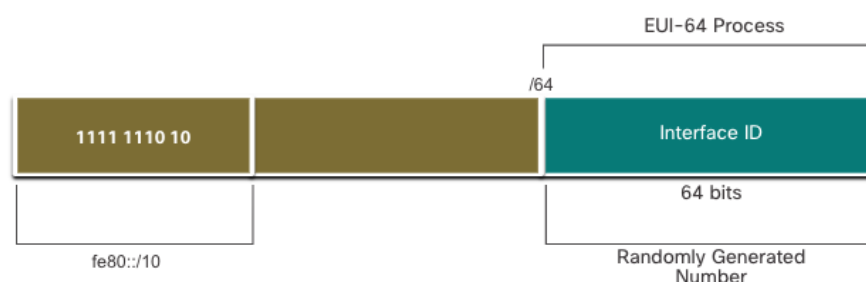
- 隨機產生的介面 ID
 - 從 Windows Vista 開始，Windows 會使用隨機產生的介面識別碼，而不是使用 EUI-64 建立的介面識別碼
 - 若要確保任何 IPv6 單播位址的唯一性，用戶端可能會使用稱為重複位址偵測 (DAD) 的處理程序

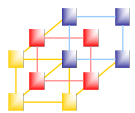
```
C:\> ipconfig
Windows IP Configuration
Ethernet adapter Local Area Connection:
    Connection-specific DNS Suffix  . : 
    IPv6 Address. . . . . : 2001:db8:acad:1:50a5:8a35:a5bb:66e1
    Link-local IPv6 Address . . . . . : fe80::50a5:8a35:a5bb:66e1
    Default Gateway . . . . . : fe80::1
C:\>
```



IPv6 LLAs的動態尋址(1/2)

- 所有 IPv6 裝置都必須有 IPv6 LLA。就像 IPv6 GUI 一樣，您也可以動態建立 LLAs。無論您如何建立 LLA（和 GUI），請務必確認所有 IPv6 位址設定動態分配
 - 使用 fe80::/10 前置碼和使用 EUI-64 處理序的介面 ID 動態建立或隨機產生的 64 位元數字





IPv6 LLAs的動態尋址(2/2)

EUI-64 Generated Interface ID

```
C:\> ipconfig
Windows IP Configuration
Ethernet adapter Local Area Connection:
Connection-specific DNS Suffix . : 
IPv6 Address. . . . . : 2001:db8:acad:1:fc99:47ff:fe75:cee0
Link-local IPv6 Address . . . . . : fe80::fc99:47ff:fe75:cee0
Default Gateway . . . . . : fe80::1
C:\>
```

IPv6 LLA Using EUI-64 on Router R1

```
R1# show interface gigabitEthernet 0/0/0
GigabitEthernet0/0/0 is up, line protocol is up
Hardware is ISR4221-2x1GE, address is 7079.b392.3640 (bia 7079.b392.3640)
(Output omitted)
R1# show ipv6 interface brief
GigabitEthernet0/0/0 [up/up]
FE80::7279:B3FF:FE92:3640
2001:DB8:ACAD:1::1
GigabitEthernet0/0/1 [up/up]
FE80::7279:B3FF:FE92:3641
2001:DB8:ACAD:2::1
Serial0/1/0 [up/up]
FE80::7279:B3FF:FE92:3640
2001:DB8:ACAD:3::1
Serial0/1/1 [down/down]
unassigned
R1#
```

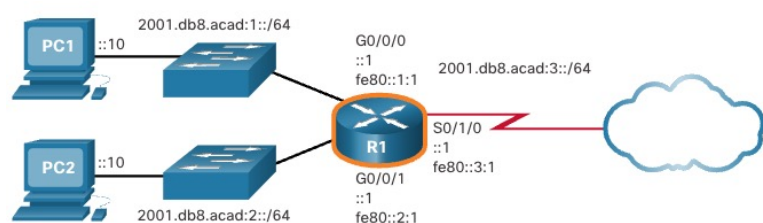
通訊與網路概論

27



驗證 IPv6 位址設定(1/2)

- 每個介面有兩個 IPv6 位址
 - 已設定的全域單點傳送位址
 - 以 FE80 開頭的位址將自動增加本地鏈路單點傳送位址



```
R1# show ipv6 interface brief
GigabitEthernet0/0/0 [up/up]
FE80::1:1
2001:DB8:ACAD:1::1
GigabitEthernet0/0/1 [up/up]
FE80::1:2
2001:DB8:ACAD:2::1
Serial0/1/0 [up/up]
FE80::1:3
2001:DB8:ACAD:3::1
Serial0/1/1 [down/down]
unassigned
R1#
```

通訊與網路概論

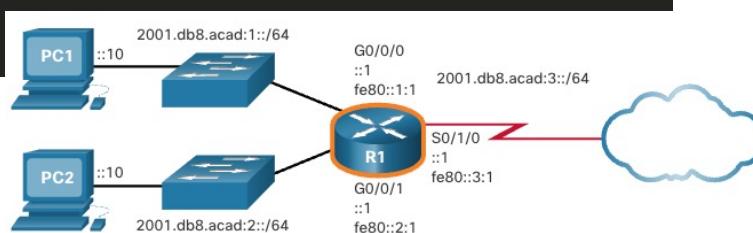
28



驗證 IPv6 位址設定(2/2)

```
R1# show ipv6 route
IPv6 Routing Table - default - 7 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, U - Per-user Static route

C 2001:DB8:ACAD:1::/64 [0/0]
    via GigabitEthernet0/0/0, directly connected
L 2001:DB8:ACAD:1::1/128 [0/0]
    via GigabitEthernet0/0/0, receive
C 2001:DB8:ACAD:2::/64 [0/0]
    via GigabitEthernet0/0/1, directly connected
L 2001:DB8:ACAD:2::1/128 [0/0]
    via GigabitEthernet0/0/1, receive
C 2001:DB8:ACAD:3::/64 [0/0]
    via Serial0/1/0, directly connected
L 2001:DB8:ACAD:3::1/128 [0/0]
    via Serial0/1/0, receive
C FF00::/8 [0/0]
    via Null0, receive
R1#
```



通訊與網路概論

29



指定的 IPv6 多點傳送位址(1/2)

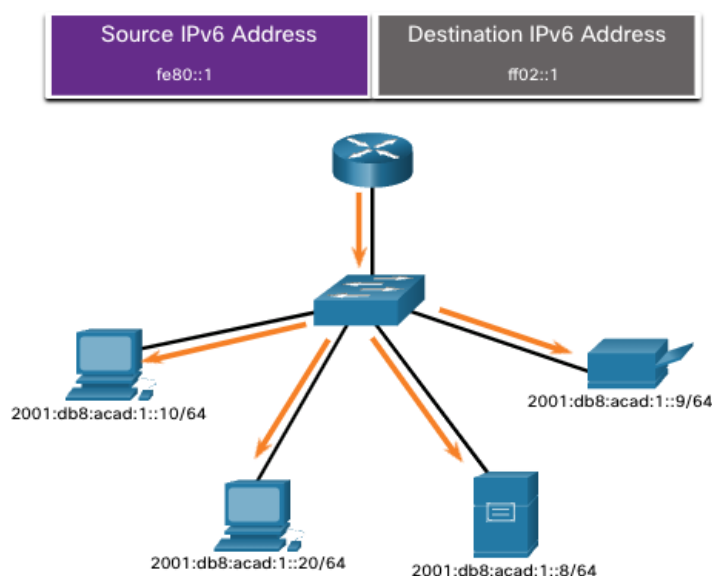
- IPv6 多點傳送位址的前置碼為 FF00::/8
- IPv6 多點傳送位址分為兩種類型
 - 分配的多點傳送
 - 請求節點多點傳送
- 兩種常見的 IPv6 分配多點傳送組包括
 - FF02::1 所有節點多點傳送組
 - 所有支援 IPv6 的設備都加入
 - 與 IPv4 廣播位址效果相同
 - FF02::2 所有路由器多點傳送組
 - 所有 IPv6 路由器都加入
 - 當路由器使用 the ipv6 unicast-routing 全域設定命令作為 IPv6 路由器啟用時，就會成為本組成員
 - 發送到該組的封包將由鏈路或網路上的所有 IPv6 路由器接收並處理。

通訊與網路概論

30



指定的 IPv6 多點傳送位址(2/2)



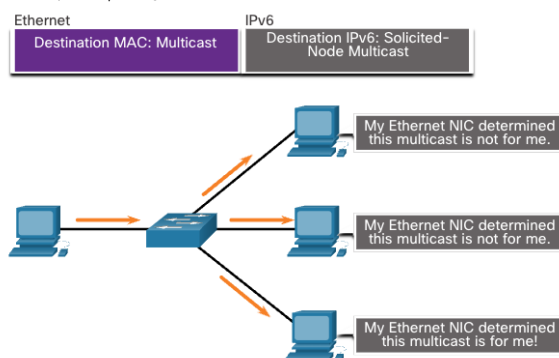
通訊與網路概論

31



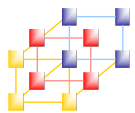
請求節點 IPv6 多點傳送位址

- 請求節點多播位址類似於所有節點的多播位址
- 請求節點多播位址的優點是，它已對應至特殊的乙太網路多播位址
- 這可讓乙太網路 NIC 藉由檢查目的地 MAC 位址，而不會將它傳送到 IPv6 處理程序，以查看裝置是否為 IPv6 封包的預期目標來篩選框架



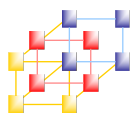
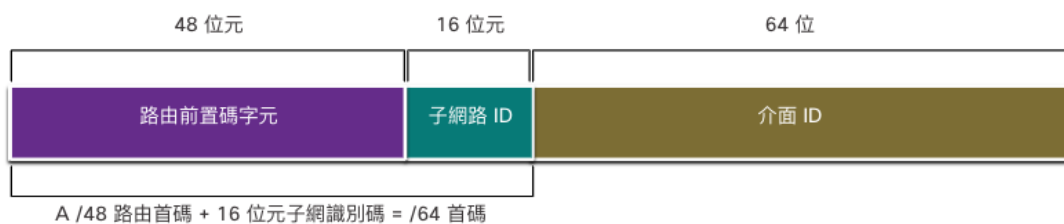
通訊與網路概論

32



IPv6 子網路

- 128 位元位址的好處是，它可以為每個子網路支援足夠多的子網路和主機
 - 例如，如果全域路由前置詞是 /48，並且使用典型的 64 位元做為介面 ID，則會建立 16 位元子網路 ID
 - 16 位元子網路識別碼 - 建立最多 65,536 個子網路。
 - 64 位元介面 ID - 每個子網路最多支援 18 個五位元主機 IPv6 位址 (即 1.8×10^{11} 次方個)。



IPv6 子網路範例(1/2)

遞增子網路識別碼以建立 65,536 個子網路

2001:db8:acad:0000::/64
2001:db8:acad:0001::/64
2001:db8:acad:0002::/64
2001:db8:acad:0003::/64
2001:db8:acad:0004::/64
2001:db8:acad:0005::/64
2001:db8:acad:0006::/64
2001:db8:acad:0007::/64
2001:db8:acad:0008::/64
2001:db8:acad:0009::/64
2001:db8:acad:000a::/64
2001:db8:acad:000b::/64
2001:db8:acad:000c::/64
未有顯示子網 13 至 65,534
2001:db8:acad:ffff::/64



```
2001:db8:acad:0000::/64
2001:db8:acad:0001::/64
2001:db8:acad:0002::/64
2001:db8:acad:0003::/64
2001:db8:acad:0004::/64
2001:db8:acad:0005::/64
2001:db8:acad:0006::/64
2001:db8:acad:0007::/64
2001:db8:acad:0008::/64
```

The diagram illustrates a network topology with four PCs, two switches, and two routers. The PCs are connected to the switches, which are then connected to the routers. The routers are connected to each other via a serial link. The network is configured with IPv6 addresses.

- PC1 and PC2:** Connected to the top switch (2001:db8:acad:1::/64). PC1 has address ::10, and PC2 has address ::10.
- PC3 and PC4:** Connected to the bottom switch (2001:db8:acad:4::/64). PC3 has address ::10, and PC4 has address ::10.
- Router 1 (Top):** Connected to the top switch (G0/0/0 ::1).
- Router 2 (Bottom):** Connected to the bottom switch (G0/0/0 ::1).
- Serial Link:** Connected between Router 1 (S0/1/0 ::1) and Router 2 (S0/1/0 ::2).

35