





財團法人台灣網路資訊中心編撰 中華民國 110 年 12 月 31 日

IPv6 升級實作技術手冊

出版者:財團法人台灣網路資訊中心

網址:https://www.twnic.tw/

地址:105 臺北市松山區八德路四段 123 號 3 樓

總機電話: 886-2-25289696

發行人:李育杰

編審:黃勝雄

主編:顧靜恆

編輯:蔡更達、鄭進興、林柏宇、林豈葳

中華民國 110 年 12 月第 2.0 版

IPv6 升級實作技術手冊

 \bigcirc

目錄

第十篇 IPv6 Path MTU 及 Router Advertisement	1
一、 IPv6 Path MTU Discovery 介紹	1
(一) MTU 簡介	1
(二) 封包分割(Fragment)	1
(三) IPv6 PMD 介紹	2
二、 IPv6 Path MTU 及 Fragment 實測結果	3
(一) 以合於 Path MTU 之 Ping Payload 進行測試	4
(二) 以大於 Path MTU 之 Ping Payload 進行測試	9
(三) 以大於 Path MTU 之 IPv6 Packet 進行測試	12
三、 Router Advertisement 介紹	15
四、 Router Advertisement 實測結果	16
() SLAAC+RDNSS (M-bit=0, O-bit=0)	
(二) Stateless DHCPv6 (M-bit=0, O-bit=1)	17
(三) Stateful DHCPv6 (M-bit=1)	19





Program Office



第十篇 IPv6 Path MTU 及 Router Advertisement

一、IPv6 Path MTU Discovery 介紹

(一) MTU 簡介

MTU (Maximum Transmission Unit)是「最大傳輸單位」的英文縮寫,代表 傳送一個數據包時可以使用的最大長度,以位元組(byte)為單位。在電腦主 機上指的是第三層封包(如 IP Packet)的大小,在路由器上則是指第二層訊框 (如 Ethernet Frame)。不同的網路通訊協定會有不同的 MTU,常見的如下: 表1 常見 MTU 建議值

網路介面	MTU (IP Packet)	MTU (Ethernet Frame)	說明
Ethernet V2	1500	1514	目前主要使用的乙太網 路標準
Ethernet with PPPoE	1492	1514	含 6 bytes PPPoE header 及 2 bytes PPP ID
Ethernet with 801.1Q	1500	1518	含 4 bytes Vlan Tag

(二) 封包分割(Fragment)

標準乙太網路的 MTU 是 1500 (後續 MTU 均指 IP Packet),如果要傳送的封 包太大時,需要將封包分割(Fragment)成幾個較小的片段,以便符合 MTU 的值,到達目的地再組合還原為原來的封包。

IPv4 網路與 IPv6 網路處理封包分割的作法不太一樣,在 IPv4 網路上每個路由器都可以對封包進行分割的工作。如輸入端收到的封包長度大於輸出端的 MTU,路由器會將封包分解成較小的片段再傳送,每個片段會以小於



MTU 但為 8 的倍數之大小進行分割,當所有片段都抵達終端電腦主機後,該主機會組合還原為原來的封包。

(三) IPv6 PMD 介紹

台灣IPv6全面升級

在 IPv6 網路裡為降低路由器的工作負擔,路由器不再負責封包分割,IPv6 封包分割的工作只在起始端的電腦上執行。如果路由器(或其他網路設備) 收到一個超過輸出埠 MTU 大小的封包,路由器會直接將該封包丟棄,再回 送一個 Packet Too Big (封包太大)的 ICMPv6 回應封包給起始端電腦,並透 過這個回應告知路由器的 MTU,起始端電腦就會依據收到的 MTU 進行封 包分割及重新發送,這個協調告知傳輸路徑 MTU 的機制就稱為 IPv6 Path MTU Discovery (PMD)。

只要 PMD 能正常運作,MTU 就可以自動調整至符合網路傳輸需求,但有可能因為部分網路設備不支援 PMD 或 ICMPv6 封包而被防火牆阻擋,MTU 將無法自動調整,IPv6 封包的傳輸有可能因此而失敗。因此網路設備採購及設定時,必須注意是否支援 PMD 協定,同時也要注意在防火牆或路由器的資訊安全設定上不能將 ICMPv6 關閉。

電腦網路介面的 MTU 可以手動更改,以 Windows 作業系統為例命令如下:

- 設定 MTU: netsh interface ipv6 set subinterface "WLAN" mtu=1500
- 檢視 MTU: netsh interface ipv6 show subinterfaces "WLAN"

當電腦透過 PPPoE 連上 IPv6 時,MTU 應設定為 1492,計算方式為 1500 (乙 太網路 MTU) 減掉 2 bytes PPP ID 及 6 bytes PPPoE Header。如果電腦是直 接執行 PPPoE 撥號程式,撥號程式會自動設定 MTU 的值,如果是透過無 線分享器,則無線分享器會透過路由器公告封包(Router Advertisement),將 MTU 的值設定給電腦。

二、 IPv6 Path MTU 及 Fragment 實測結果

藉由 Ping 測試並使用 Wireshark 封包分析軟體(http://www.wireshark.org/) 取 Ping Request 及 Ping Reply 的封包,就可以觀察 IPv6 Path MTU Discovery 的運作情形。如圖 1 之環境,測試端透過 PPPoE 連接 IPv6 網路並以 Ping 進行測試。因為 PPPoE 的 MTU 為 1492 bytes,如 Ping Payload 超過 1444 bytes 時,就會產生封包分割的現象。如強制設定測試端的 MTU 大於 PPPoE 所 能傳送,例如設為 1500 bytes,當使用 1452 bytes Payload(扣除 40 bytes IPv6 Header 及 8 bytes ICMPv6 Header)的 Ping 測試時,就會產生 Packet Too Big 的回應,以及 Path MTU 的調整。



圖 1 IPv6 Path MTU Discovery 測試環境圖





1. 檢查 MTU 設定值

Command : netsh interface ipv6 show subinterfaces "WLAN"

("WLAN"為網路介面卡名稱)

圖 2 檢查 MTU 設定值 (MTU=1492)



2. IPv6 連線能力檢查

先使用IPv6連線檢測小幫手(<u>https://test-ipv6.com</u>),檢測IPv6連線及IPv6 Path MTU Discovery功能正常,如圖3。

測	d IPv6 常見問題 鏡像伺服器		統計
浿	試你的 IPv6 連線。		لي الم
	總結 測試結果 分享結果 / 聯繫我們 其他 IPv6	調動	為説明台
	這個測試是如何運作的 : 您的瀏覽器將會 少。 點擊查看 詳細資訊	連接一系列的網址。各項測試結果統計將顯示當網站啟用 IPv6 時你準備好了	3
	測試 IPv4 DNS 記錄	成功 (0.755s) 使用 ipv4	
	測試 IPv6 DNS 記錄	成功 (1.120s) 使用 ipv6	
	測試雙協定 DNS 記錄	成功 (1.087s) 使用 ipv6	
	測試雙協定 DNS 和較大封包	成功 (1.017s) 使用 ipv6	
	測試 IPv6 大包	成功 (2.027s) 使用 ipv6	
	測試您的 ISP DNS 伺服器是否使用 IPv6	成功 (1.224s) 使用 ipv6	
	查詢 IPv4 服務提供者	成功 (4.683s) 使用 ipv4 ASN 17713	
	查詢 IPv6 服務提供者	成功 (0.808s) 使用 ipv6 ASN 1659	
	點擊查看 分享結果 / 聯繫我們		

圖 3 IPv6 連線能力檢查結果

- 3. 執行 Wireshark 準備擷取封包
 - (1) 以系統管理員身分啟動 Wireshark 程式
 - (2) 點選「Caputure」→「Interface」→選擇網路介面點選「Start」,開 始擷取封包。
 - (3) 測試後點選「Stop」,停止擷取封包。

Program Office



4. Ping 測試: ping www.twnic.tw -l 1444

台灣IPv6全面升級 網際網路通訊協定升級推動方案

測試條件:Path MTU=1492, Client MTU=1492, Packet Size=1492

Ping 測試封包 Payload 為 1444 bytes, 整個 L3 Packet 大小為 1492bytes, 在乙太網路環境下的 L2 Frame 大小為 1506 bytes, 計算如下:

Ping 測試	Ethernet	IPv6	ICMPv6	Ping
IPv6:1492 bytes	Header	Header	Header	Payload
Ethernet:1506 bytes	14 bytes	40 bytes	8 bytes	1444 bytes

圖 4 ICMPv6 Payload 為 1444 bytes 的 Ping 封包結構

測試結果如圖 5 所示,4 筆 Ping 都收到正常回覆。

 Ping web-server2.twnic.net.tw [2001:454e:c010:101::199] (使用 1444 位元組的資料):

 回覆自 2001:454e:c010:101::199: 時間=167ms

 回覆自 2001:454e:c010:101::199: 時間=166ms

 2001:454e:c010:101::199 的 Ping 統計資料:

 封包: 已傳送 = 4, 已收到 = 4, 已遺失 = 0 (0% 遺失),

 大約的來回時間 (毫秒):

 最小值 = 166ms,最大值 = 167ms,平均 = 166ms

 PS C:\Windows\system32>

圖 5 Ping 測試結果(Packet Size=1492, MTU=1492, Path MTU=1492)

5. 使用 Wireshark 觀察 Ping 測試送出封包

ICMPv6 Ping 封包攜帶 1444 bytes Payload,加上 8 bytes ICMPv6 Header 後 IPv6 封包 Payload 為 1452 bytes,再加上 IPv6 Header 40 bytes,合計 為 1492 bytes,合於 PPPoE MTU,所以可以單一封包送出,如圖 6。

🚄 *乙太網路	8						- 0	×
File Edit	View Go Capt	ure Analyze Statistics	Telephony Wireless Tools	Help				
	🖲 📙 🔚 🗙 🖸	९ 🗢 🗢 🕾 🚯						
icmpv6.typ	e=128 or icmpv6.type	=129 or dhepv6 or ipv6.fragm	ent				× →	* +
No	Time	Source	Destination	Protocol Lev	aeth Info			
_ 5	3.109862	2001:b010:5430:f50	1 2001:454e:c010:101:	. ICMPv6 1	1506 Echo (ping)	request id=0x000	1, seq=17	,
+ 6	3.112000	2001:454e:c010:101	: 2001:b010:5430:+501.	. ICMPV6 1	1506 Echo (ping)	reply id=0x0001,	seq=1/,	ho
8	4.119254	2001:b010:5430:f50	1 2001:454e:c010:101:.	. ICMPv6 1	1506 Echo (ping)	request id=0x000	1, seq=18	,
9	4.121485	2001:454e:c010:101	: 2001:b010:5430:f501.	. ICMPv6 1	1506 Echo (ping)	reply id=0x0001,	seq=18, I	ho 🗸
<								>
> Frame !	5: 1506 bytes	on wire (12048 bits), 1506 bytes captured	(12048 bits	on interface	\Device\NPF_{AA11	8F26-9CC1	-42C7-B
> Etherne	et II, Src: 50	:00:00:06:00:00 (50	:00:00:06:00:00), Dst:	50:00:00:01	:00:01 (50:00:0	0:01:00:01)		
✓ Internet	et Protocol Ve	rsion 6, Src: 2001:	b010:5430:f501:4485:ac	41:216f:1168	3, Dst: 2001:454	e:c010:101::199		
0110	= Versio	on: 6						
>	0000 0000		= Traffic Class: 0x	:00 (DSCP: C	S0, ECN: Not-ECT)		
	000	<u>30 0000 0000 0000 00</u>	000 = Flow Label: 0x000	00				
Payl	oad Length: 14	452						
Next	Header: ICMPv	/6 (58)						
Нор	Limit: 128							
Sour	ce Address: 20	001:b010:5430:f501:4	485:ac41:216f:1168					
Dest	ination Addres	ss: 2001:454e:c010:	101::199					
✓ Interne	et Control Mes	sage Protocol v6						
Type	: Echo (ping)	request (128)						
Code	: 0							
Chec	ksum: 0x66/3 [[correct]						
[Che	cksum Status:	Good						
Iden	titier: 0x0001	L						
Sequ	ence: 1/							
I Kes	(1444 bytec)							
v Data	(1444 Dytes)	EGGG7G8G9G9G9G9G	64707170727475767676460		energe beech			
	ongth: 1444]	2000/000203000000000	01/0/1/2/3/4/3/0//01020	000400000700	000000000000			
	Lengen, 1444]							
<								>
🔘 🏹 wir	eshark WANTNOGB1	DCADDS			Packets: 17 · Disnla	aved: 8 (47.1%)	Pmfile	Default
U *1		.Footing			Louisto I. II Dispa		II TIOING.	a vanuali

圖 6 觀察封包長度合於 Path MTU 之 Ping Request 封包 小秘訣:使用 Wireshark 時可在 Filter 欄位輸入過濾條件,以尋找要觀 察的封包,例如:

- (1) icmpv6.type==128 or icmpv6.type==129 (Ping Request 或 Reply)
- (2) icmpv6.type==133 or icmpv6.type==134 (RS 或 RA)
- (3) dhcpv6 (DHCPv6 封包)
- (4) ipv6.fragment.offset (Fragmentation 封包)

6. 使用 Wireshark 觀察 Ping 測試收到封包

Ping Replay 會攜帶 Ping Request 的 ICMPv6 Payload 進行回覆, IPv6 封包大 小同樣為 1492 bytes,使用 Wireshark 觀察 Ping Replay 封包如圖 7,與 Ping Request 封包大致相同。

IP 網路傳送的去程及回程不一定使用相同的路徑,來回傳輸的 Path MTU 值不一定會相同,也有可能去程為單一封包,回程則分割為兩個 封包,但本範例並無此現象。



0

0

圖 7 觀察封包長度合於 Path MTU 之 Ping Reply 封包



(二) 以大於 Path MTU 之 Ping Payload 進行測試

Ping 測試: ping www.twnic.tw -1 1446
 測試條件: Path MTU=1492, Client MTU=1492, Packet Size=1494

Ping 測試封包之 Payload 為 1446 bytes,整個 L3 Packet 大小為1494bytes,在乙太網路環境下的 L2 Frame 大小為 1508 bytes,計算如下:

Ping 測試	Ethernet	IPv6	ICMPv6	Ping
	Header	Header	Header	Payload
Ethernet:1508 bytes	14 bytes	40 bytes	8 bytes	1446 bytes

圖 8 ICMPv6 Payload 為 1446 bytes 的 Ping 封包結構

測試結果如圖9所示,第1筆得到「要求等候逾時」的回應,其餘3筆 Ping都收到正常回覆。其原因是測試網站www.twnic.tw的MTU為1550 bytes,在第一次回應時不會進行分割,所以無法傳送成功,之後會依據 PMD的運作修正MTU,其餘三筆回應封包就都正常了。

PS C:\Windows\system32> ping www.twnic.tw -1 1446 Ping web-server2.twnic.tw [2001:454e:c010:101::199] (使用 1492 位元組的資料): 要求等候逾時 回覆自 2001:454e:c010:101::199: 時間=12ms 回覆自 2001:454e:c010:101::199: 時間=12ms 回覆自 2001:454e:c010:101::199: 時間=10ms 2001:454e:c010:101::199 的 Ping 統計資料: 封包: 已傳送 = 4,已收到 = 3,已遺失 = 1 (25% 遺失), 大約的來回時間 (毫秒): 最小值 = 8ms,最大值 = 12ms,平均 = 10ms PS C:\Windows\system32>



台灣IPv6全面升級

2. 使用 Wireshark 觀察 Ping 測試送出封包

IPv6 封包大小為 1510 bytes,大於測試端主機的 MTU,所以會分割成兩 個片段逐一送出。

(1)第一個 Fragement 片段

MTU_1446_1_progng - □ > File Edit View Go Capture Analyze Statistics Telephony Wireless Tools Help File Edit View Go Capture Analyze Statistics Telephony Wireless Tools Help Applot disploy filter Cath No. Time 2010 798270 2001-1455_430::501-48 2011 798270 2001-1455_430::501-48 2011 10,793224 2001-1455_430::501-48 2011 2013224 2001-1455_430::501-48 2011 2013224 2001-1455_430::501-148 2011 2013224 2001-1454-530::511-148 2011 2013224 2001-1454-530::511-148 Prame 21: 1552 Upts on wire (122016 1515) 1020 Uptos captured (12016 bits) on interface UperceNVPF_[At11676-25CC1-42C7-486A-2715FC7890A5], 1d 0 > Frame 21: 1552 Upts on wire (122016 1515) 1050 Uptos (12016) > Internet Protocol Version 6, Src: 2001-1464:1206:011:199 Dat: 1400:1550:00:00:06:00:00 Payload Length: 1448 Internet Protocol Version 6, Src: 2001-1448:1216:11:199 Destination Address: 2001-454e::010:101::199 Dat: 1400:0000 0000 0000 - 000 - 0000 - 0000 - 000 - 0000 - 0000 - 0000 - 0000 - 000 -										
File Edit View Go Capture Analyze Statistis Telephony Wieless Tools Help Image: Capture Analyze Statististis Telephony Wieless Tools Help Image: Capture Analyze Statististis Telephony Wieless Tools Help Image: Capture Analyze Statististististististististististististist	MTU_1446_1.pcapng							-		×
Image: Solution of the image: Soluti	File Edit View Go Capture	Analyze Statistics Telephor	ny Wireless Tools Help							
Apply display the "* Call-* Apply display the "* Call-* Apply display the "* Call-* Apply display the "* Call-* No. Time Source Probability of the "* Call-* 210 798273 2001:4544:C301:443 Petimation Totocol Tot Fich Ching) convert id=0x0001 teaced hon list128 (reqU) i 2110.793224 2001:4544:C301:101:1199 2001:b010:5430:7501. TUP-vo Tot Conc (ping) reply Id=0x0001, seq=60, hon list1218 (reqU) i Frame 21:1502 bytes on wine (12016 bits), 1562 bytes captured (12016 bits), 1562 bytes captured (12016 bits) on interface (Nortee/WPF_[AAII8F26-9CC1-42C7-86BA-2715FC789DA5], id 0 Ethernet II, Src: 50:00:00:01:00:01 (50:00:00:01:00:01), 0st: 50:00:00:06:00:00 (0sc:00:00:00) vonterequest in * Frame 21: 50: bytes on wine (12016 bits), 1562 bytes captured (12016 bits) square total (1201:bits) 01010 • Version: 6 0000 0000 > 0000 0000 Traffic Class: 0x00 (0SCP: CS0, ECN: Not-ECT) 02000 0000 001:b0:10:10:10:109 Destination Address: 2001:b0:10:430:r501:448:ac41:216f:1168 Source Address: 2001:b0:10:430:r501:448:ac41:216f:1168 0000 0000 0000		Q (⇔ ⇒ 🕾 T () 📃 📃	0,0,0,1							
No. Time Source Destination Probod Length Indo 20 10.1738274 200114542:1438.5611448 2001145438:7601.1105 TVBV6 TSE Echo (ning) request.id=0x0001.cogs60. hon limit=128 (request in 2001.0508:1011:199 200110518:3308:7501.1 TVD TSE Echo (ning) request.id=0x0001.cogs60. hon limit=128 (request in 2001.0508:1010:11:199 200110518:3308:7501.1 TVD TSE Echo (ning) reply in=0x0001.cogs60. hon limit=03 (request in 1.11) > Frame 21: 1502 bytes on wire (12016 bits), 1502 bytes captured (12016 bits) on interface (Device/WPF_(AN11826-SCC1-42C7-868A-2715FC7890A5), id 0 > Ethernet II, Scr: 50:08:00:00.000:08:08:00:00 (50:08:00:08:08:08:00) > Ethernet II, Scr: 50:08:00:08:08:08:00 (50:08:08:08:08:00) > Interface Version 6, Src: 2001:454e:c010:101::199, Dst: 2001:b010:5430:f501:4485:ac41:216f:1168 0101	Apply a display filter ··· <ctrl-></ctrl->		• • • printe							+
201 2001-05010-5430-5501-448 2001-4540-c7010-101 TO Echo (ning) naguast ids0x0001_caga60_bon lisit=128 (nagly i 2110.793224 2001-4540-c010-101:199 2001-05100-5330-f501_FV6 TO Echo (ning) naguast ids0x0001_caga60_bon lisit=128 (nagly i 2110.793224 2001-4540-c010:101:199 2001:0010-5330-f501_FV6 TO Echo (ning) naguast ids0x0001_caga60_bon lisit=128 (nagly i 2110.793224 2001-4540-c010:101:199 2001:0010-5330-f501_FV6 TO Echo (ning) naguast ids0x001_caga60_bon lisit=128 (nagly i 2110.793224 2001-4540-c010:101:199 2001:0010-5330-f501_HV6 To Echo (ning) naguast ids0x001_caga60_bon lisit=128 (nagly i 2110.793224 2001-4540-c010:101:199 2001:0010-5300-f501.0010-60.000.000.000.000 To Echo (ning) naguast ids0x001_caga60_bon lisit=128 (nagly i 20110.0000 Thermet UI, Src: 50:001.001.010:1010:199 Dst: 2001:0010-5430-f501:4485:ac41:216f:1168 To Echo (ning) naguast ids0x000_con0.000_con0_con0_con0_con0_con0_con0_con0_c	No Time Sou	Ime	Destination	Protocol	Length Info				_	
21 10.793224 2001:454e:c010:101:199 2001:b010:5430:f501_ IPv6 1502 IPv6 fragment (off=0 more-y ident=0xdala479f nxt=58) 27 10.795224 2001:d04e:c010:111:199 2001:b010:5430:f501_ IPv6 70 Echo (ping) reply 1d=0x0001, seq=00, nop limit=0s (request in) 27 Echo (ping) reply 1d=0x0001, seq=00, nop limit=0s (request in) 70 Echo (ping) reply 1d=0x0001, seq=00, nop limit=0s (request in) 27 Echo (ping) reply 1d=0x0001, seq=00, nop limit=0s (request in) 70 Echo (ping) reply 1d=0x0001, seq=00, nop limit=0s (request in) 27 Echo (ping) reply 1d=0x0001, seq=00, nop limit=0s (request in) 70 Echo (ping) reply 1d=0x0001, seq=00, nop limit=0s (request in) 20 Echo (ping) reply 1d=0x0001, seq=00, nop limit=0s (request in) 70 Echo (ping) reply 1d=0x0001, seq=00, nop limit=0s (request in) 21 Echo (ping) reply 1d=0x0001, seq=00, nop limit=0s (request in) 70 Echo (ping) reply 1d=0x0001, seq=00, nop limit=0s (request in) 21 Echo (ping) reply 1d=0x0001, seq=00, nop limit=0s (request in) 70 Echo (ping) reply 1d=0x000, nop limit=0s (request in) 21 Echo (ping) reply 1d=0x001, seq=00, nop limit=0s (request in) 70 Echo (ping) reply 1d=0x001, seq=00, nop limit=0s (request in) 21 Echo (ping) reply 1d=0x001, seq=00, nop limit=0s (request in) 70 Echo (ping) reply 1d=0x001, seq=00, nop limit=0s (request in) 21 Echo (ping) reply 1d=0x001, nop limit=0s (request in) 70 Echo (ping) reply 1d=0x001, nop (request in.	20 10 790870 200	01 · h010 · 5430 · £501 · 448	2001-454e-c010-101-	TCMPv6	76 Echo (ning) re	quest id=0x0001	sea=60 hop lim	it=128 (ren]	lv i	=
 22 10.793224 2001:8548:C010:101:1199 2001:D010:5430:7501_1CMPV6 76 tcno (ping) reply 1d=0x00001, seq=b0, nop limit=63 (request in_) > Frame 21: 1502 bytes on wire (12016 bits), 1502 bytes captured (12016 bits) on interface (Device(NPF_(AM18F26-9CC1-42C7-868A-2715FC789DAS), id 0 > Ethernet II, Src. 50:00:00:01:00:01(50:00:00:00:00:00:00:00:00:00:00:00) * Internet Protocol Version 6, Src: 2001:454e:c010:101:1199, Dst: 50:00:00:00:00:00:00:00:00:00:00 * Internet Protocol Version 6, Src: 2001:454e:c010:101:1199, Dst: 50:00:00:00:00:00:00:00:00:00:00:00 * Unego 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0	21 10.793224 200	01:454e:c010:101::199	2001:b010:5430:f501	IPv6	1502 IPv6 fragment	(off=0 more=y id	ent=0xda1a479f n	xt=58)		
<pre>> Frame 21: 1502 bytes on wire (12016 bits), 1502 bytes captured (12016 bits) on interface \Device\NPF_{AA118F26-9CC1-42C7-B6BA-2715FC7B9DA5}, id 0 > Ethernet II, Src: 50:00:00:01:00:01 (50:00:00:01:10:01), Dst: 50:00:00:06:00:00 (50:00:00:06:00:00) > Internet Protocol Version 6, Src: 2001:454e:c010:11:199, Dst: 2001:b010:5430:f501:4485:ac41:216f:1168 0110 = Version: 6 > 0000 0000</pre>	- 22 10./93224 200	01:454e:C010:101::199	2001:0010:5430:+501	ICMPV6	/b Echo (ping) re	ply 1d=0x0001, s	eq=60, hop limit [;]	=63 (request	t in	~
[Length: 1440]	<pre>> Frame 21: 1502 bytes on > Ethernet II, Src: 50:00 ~ Internet Protocol Versi 0110 = Version: > 0000 0000 Payload Length: 1448 Next Header: Fragment Hop Limit: 63 Source Address: 2001: Destination Address: ~ Fragment Header for I Next header: ICMPV Reserved octet: 0x 0000 0000 0000 0 </pre>	<pre>wire (12016 bits), 150 b:00:01:00:01 (50:00:00: on 6, Src: 2001:454e:c0 6</pre>	2 bytes captured (120 01:00:01), Dst: 50:00 10:101::199, Dst: 200 raffic Class: 0x00 (D Low Label: 0x00000 35:ac41:216f:1168	916 bits) 9:00:06:0 91:b010:5 SCP: CS0,	on interface \Device 0:00 (50:00:00:06:00 430:f501:4485:ac41:2: , ECN: Not-ECT)	≥\NPF_{AA118F26-9 :00) l6f:1168	CC1-42C7-B6BA-27	15FC7B9DA5}	, id 0	
○ 2 MTU_1446_1.pcapng Packets: 659 · Displayed: 659 (100.0%) Profile: Default	[Length: 1440]									
	MTII 1446 1 peapog					Packets: 659 · Displayed	- 659 (100 0%)	p	mfile: Defa	nlt
	- Into_1440_1.peaping			-		I Towners Cost Exspirayed		1.		out .

圖 10 觀察封包長度大於 Path MTU 之 Ping Request(第一片段)

從圖 10 可發現 IPv6 Header 內增加了 8 bytes 的 Fragmentation Header, Fragmentation Payload 則為 1448 bytes,因封包分割會以 8 bytes 的倍數 進行,除最後一段外,其餘都是8的倍數,IPv6 Fragmentation 封包結構 如圖 11。

Fragement 封包	Ethernet	IPv6	Fragment	Fragment
	Header	Header	Header	Payload
Ethernet:1502 bytes	14 bytes	40 bytes	8 bytes	1440 bytes

Fragmentation 封包結構 圖 11

(2)第二個 Fragement 片段(最後片段)

MTU_1446_1.pcapng	- 🗆 X
File Edit View Go Capture Analyze Statistics Telephony Wireless Tools Help	
	— • • •
n nppy wangay max "Curry" No. Tease Seman Destantion Destantion Longh Ide	
NO. Imme source Desamoni Tribuoti Lengu Indo 1 2010 700870 2001-6010-5130-5531-448 2001-4540-010-101-TCMD0-6 76 Echo (ning) pequectid=0v0001 segme6 h	on limit=128 (neply i
2110 703224 2001-050-001-101-109 2001-0610-001-011-101-0-70 Element (offic) non-envident available	479f nxt=58)
← 22 10.793224 2001:454e:c010:101::199 2001:b010:5430:f501… ICMPv6 76 Echo (ping) reply id=0x0001, seq=60, hop	limit=63 (request in… ✓
> 0000 0000 = Traffic Class: 0x00 (DSCP: CS0, ECN: Not-ECT)	^
Payload Length: 22	
Next neader: Fragment neader for 1990 (44)	
Nop Line . 03	
Destination Address: 2001-040-0530-0501-0485-ac41-2166-1168	
Fragment Header for IP/6	
Next header: ICMPv6 (58)	
Reserved octet: 0x00	
0000 0101 1010 0 = Offset: 180 (1440 bytes)	
00. = Reserved bits: 0	
Identification: 0xda1a479f	
Y [2 IPv6 Fragments (1454 bytes): #21(1440), #22(14)]	
[Frame: 21, payload: 0-1439 (1440 bytes)]	
[Frame: 22, payload: 1440-1453 (14 bytes)]	
[Pragment count. 2]	
[Reassembled IPv6 length: 1454]	
Reassembled IPv6 data: 8100+1010001003c6162636465666/68696a6b6c6d6e6+70/1/2/3/4/5/6//61626364656]	
Internet Control Message Protocol V6	
Code a	
Chacksum Avfld1 [connect]	
[[heksim Status God]	
[checksin Scalas, Good] Trantifian, AvA001	
Sequence: 60	
[Response To: 20]	
[Response Time: 2,354 ms]	
V Data (1446 bytes)	
Data: 6162636465666768696a6b6c6d6e6f70717273747576162636465666768696a6b6c6d	55 TO MAG
[Length: 1446]	版用 Windows

圖 12 觀察封包長度大於 Path MTU 之 Ping Request(最後片段)

從圖 12 可發現第 2 個 IPv6 片段包含 8 bytes Fragmentation Header 及 14 bytes Fragmentation Payload。合併兩個 Fragmentation 片段之 Payload, 內容為 8 bytes ICMPv6 Ping Header 及 1446 bytes Ping Payload,如圖 13。

第一 Fragement IPv6:1488 bytes	Ethernet Header	IPv6 Header	Fragment Header	Fragment Payload
Ethernet: 1502 bytes	14 bytes	40 bytes	8 bytes	1440 bytes
第二 Fragement	Ethernet	IPv6	Fragment	Fragment
IPv6:62 bytes	Header	Header	Header	Payload
Ethernet:76 bytes	14 bytes	40 bytes	8 bytes	14 bytes
合併後 Ping 封包		IPv6	ICMPv6	Ping
$ID_{V}6 \cdot 1404$ bytes		Header	Header	Payload
IF vo. 1494 Dytes		40 bytes	8 bytes	1446 bytes

圖 13 Fragmentation 封包結構



圖 14 設定及檢查 MTU 設定值 (MTU=1500)

1. IPv6 連線能力檢查

再次以IPv6連線檢測小幫手(<u>https://test-ipv6.com</u>),檢測IPv6連線及IPv6 Path MTU Discovery 功能正常,如圖 15。

總結 測試結果 分享結果 / 聯繫我們 其他 IPv6	網站	為説明台
這個測試是如何運作的: 您的瀏覽器將會 少.	連接一系列的網址。各項測試結果統計將顯示當網站啟用 IPv6 時你準備好了	'多
こ。 點擊查看 <u>詳細資訊</u>		
測試 IPv4 DNS 記錄	成功 (0.089s) 使用 ipv4	
測試 IPv6 DNS 記錄	成功 (0.219s) 使用 ipv6	
測試雙協定 DNS 記錄	成功 (0.587s) 使用 ipv6	
測試雙協定 DNS 和較大封包	成功 (0.600s) 使用 ipv6	
測試 IPv6 大包	成功 (0.583s) 使用 ipv6	
測試您的 ISP DNS 伺服器是否使用 IPv6	成功 (0.594s) 使用 ipv6	
查詢 IPv4 服務提供者	成功 (0.195s) 使用 ipv4 ASN 17713	
查詢 IPv6 服務提供者	成功 (0.190s) 使用 ipv6 ASN 1659	
點擊查看 分享結果 / 聯繫我們		

圖 15 IPv6 連線能力檢查結果(MTU=1500)

2. Ping 測試三: ping www.twnic.tw -1 1446 測試條件: Path MTU=1492, Client MTU=1500, Packet Size=1494

Ping 測試封包之 Payload 為 1446 bytes, 整個 L3 Packet 大小為 1494bytes,在乙太網路環境下的 L2 Frame 大小為 1508 bytes,計算如下:

Ping 測試	Ethernet	IPv6	ICMPv6	Ping
IPv6:1494 bytes	Header	Header	Header	Payload
Ethernet:1508 bytes	14 bytes	40 bytes	8 bytes	1446 bytes

圖 16 ICMPv6 Payload 為 1446 bytes 的 Ping 封包結構

測試結果如圖 17 所示,第1筆得到「一般失敗」的回應,表示封包送 出失敗,其餘3筆Ping都收到正常回覆。

```
PS C:\Windows\system32> ping www.twnic.tw -1 1446
Ping web-server2.twnic.tw [2001:454e:c010:101::199] (使用 1446 位元組的資料):
 一般失敗
回覆自 2001:454e:c010:101::199: 時間=53ms
回覆自 2001:454e:c010:101::199: 時間=52ms
回覆自 2001:454e:c010:101::199: 時間=45ms
2001:454e:c010:101::199 的 Ping 統計資料:
   封包:已傳送 = 4,已收到 = 3,已遺失 = 1 (25% 遺失),
大約的來回時間 (毫秒):
   最小值 = 45ms,最大值 = 53ms,平均 = 50ms
PS C:\Windows\system32>
        Ping 測試結果(Packet Size=1494,MTU=1500,Path MTU=1492)
 圖 17
```

3. 使用 Wireshark 觀察 Ping 測試送出封包

- (1) ICMPv6 Ping 封包攜帶 1446 bytes data, IPv6 Packet 共 1494 bytes, 未超過主機 MTU 1500,所以直接以一個封包送出。
- (2) 隨即收到 Packet Too Big 的回應,並告知其 MTU 為 1492。



 \bigcirc

e

圖 18 Packet Too Big (Packet Size=1494, MTU=1500, Path MTU=1492)





圖 19 Fragmentation (Packet Size=1494, MTU=1500, Path MTU=1492)

三、Router Advertisement 介紹

主機連上網路後會發出路由器邀請(Router Solicitation, RS)封包,路由器則 會回覆路由器公告(Router Advertisement, RA)封包,將 Gateway 位址、IPv6 Prefix 及 DNS 位址提供給網路上的主機,主機收到就能取得 IPv6 位址連上 網路,這就是 SLAAC (StateLess Address AutoConfiguration)位址自動指派。

除 SLAAC 外, IPv6 還提供另外兩種位址自動指派機制,包括 Sateeless DHCPv6及 Stateful DHCPv6,可透過設定 RA 封包上的兩個位元(M-bit及 O-bit),協調主機再向 DHCP 伺服器取得 DNS 位址及 IPv6 位址,其運作流程如表 2。

位址指派	M-bit	O-bit	ICMPv6 封包交談流程			
SLAAC + RDNSS	0	0	RS 戶 RA (IPv6 Prefix、Gateway、DNS) 端 用戶端如不支援 RDNSS 則無法獲得 DNS 資訊	路由器		
Stateless DHCPv6	0		RS RA (IPv6 Prefix、Gateway) 户 HCPv6 Request DHCPv6 Reply (DNS)	路 由 器		
Stateful DHCPv6	1	X	用 F H C C C C C C C C C C C C C	路 由 器		

表 2 M-bit/O-bit 設定值與位址指派流程



- 四、Router Advertisement 實測結果
- (---) SLAAC+RDNSS (M-bit=0, O-bit=0)
 - 1. ICMPv6 封包交談流程
 - (1) 用戶主機[fe80::942a:a8d8:d1e8:3e42]透過Multicast[ff02::2]發出RS。
 - (2) Router[fe80::a8bb:ccff:fe00:9000]透過 Multicast[ff02::1]回覆 RA,用
 戶端主機依據 RA 取得:
 - A. IPv6 Prefix[2001:b010:5430:f501::/64]
 - B. Gateway 位址資訊[fe80::a8bb:ccff:fe00:9000]
 - C. DNS 位址[2001:b000:168::1/2001:b000:168::2],但如用戶端作業 系統不支援 RDNSS 則無法取得。
- 2. 觀察 RA 封包內容



圖 20 SLAAC+RDNSS (M-bit=0, O-bit=0)封包擷取

- (二) Stateless DHCPv6 (M-bit=0, O-bit=1)
 - 1. ICMPv6 封包交談流程

 \bigcirc

- (1) 用戶主機[fe80::942a:a8d8:d1e8:3e42]透過Multicast[ff02::2]發出RS。
- (2) Router[fe80::a8bb:ccff:fe00:9000]透過 Multicast[ff02::1]回覆 RA,用
 戶端主機依據 RA 取得:
 - A. IPv6 Prefix[2001:b010:5430:f501::/64]
 - B. Gateway 位址資訊[fe80::a8bb:ccff:fe00:9000]
- (3) 用戶主機透過 Multicast 發出 DHCP Request[ff02::1]。
- (4) DHCP[fe80::a8bb:ccff:fe00:9000]回覆 DHCP Reply,用戶端主機從
 DHCP Reply 獲得 DNS 位址[2001:b000:168::1/2001:b000:168::2]。
- 2. 觀察 RA 封包內容





 \bigcirc

0





- (三) Stateful DHCPv6 (M-bit=1, O-bit=1)
 - 1. ICMPv6 封包交談流程
 - (1) 用戶主機[fe80::942a:a8d8:d1e8:3e42]透過Multicast[ff02::2]發出RS。
 - (2) Router[fe80::a8bb:ccff:fe00:9000]透過 Multicast[ff02::1]回覆 RA,用 戶端主機依據 RA 取得 Gateway 位址[fe80::a8bb:ccff:fe00:9000]。
 - (3) 用戶主機透過 Multicast 發出 DHCP Request[ff02::1:2]。
 - (4) DHCP[2001:b010:5430:f501::100]回覆 DHCP Reply,用戶端主機從DHCP Reply 獲得:
 - A. IPv6 位址[2001:b010:5430:f501:33f2:125b:d695:4d6f]
 - B. DNS 位址[2001:b000:168::1/2001:b000:168::2]。
- 2. RA 封包內容



網際網路通訊協定升級推動方案

3. DHCP Reply 封包內容

kmpv6 or dhepv6											
No.		Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info		^		
	52	9.163182	fe80::a8bb:ccff:fe00:9000	fe80::942a:a8d8:d1e8:3e42	ICMPv6	118	Router Advertisement from aa:b	b:cc:00:90:00			
	54	9.948276	fe80::942a:a8d8:d1e8:3e42	ff02::1:2	DHCPv6	203	Request XID: 0xccd438 CID: 000	1000128fa36a1000c	290		
L	55	9.957327	2001:b010:5430:f501::100	fe80::942a:a8d8:d1e8:3e42	DHCPv6	203	Reply XID: 0xccd438 CID: 00010	00128fa36a1000c29	010		
	56	9.962458	fe80::942a:a8d8:d1e8:3e42	ff02::16	ICMPv6	90	Multicast Listener Report Mess	age v2	`		
× .									/		
> 1	nterne	t Protocol Ver	rsion 6, Src: 2001:b010:5430:f	501::100, Dst: fe80::942a:a8d8	:d1e8:3e	42			^		
> User Datagram Protocol, Src Port: 547, Dst Port: 546											
~ 0	HCPv6										
	Messa	age type: Repl	y (7)								
	Transaction ID: 0xccd438										
	Serve	er Identifier									
2	Clie	nt Identifier									
`	Iden	ity Associati	on for Non-temporary Address								
	Op	tion: Identity	/ Association for Non-temporar	y Address (3)							
	Le	ngth: 40									
	IA	ID: 07500000									
	11	: 43200									
	12	: 69120									
	~ 1A	Address	(5)								
	Option: IA Address (5)										
	Length: 24 DHCD Boplay 提供 IDv6 位th										
	1Pv6 address: 2001:0510:5430:+501:33+2:125b:d695:4d6+ DICP Replay 征识 IPv0 江北										
		Preferred 11t	etime: 86400								
	DUC	Valid litetim	e: 1/2800								
	DNSI	ecursive name	server (22)								
	Up	tion: DNS recu	irsive name server (25)								
	Le	DNS convort at	ddpoccy 2001,6000,168,2	-							
		DNS server at	dress: 2001.0000:100::2	DHCP Reply [‡]	見仕]	DNS	S Server 位址				

 \bigcirc

0