

Keysight Technologies

示波器波形更新速率決定
擷取到飄忽信號的機率

應用說明



簡介

如何提高發現偶發突波的機會

工程師在評估各個示波器的性能時，往往會忽略波形更新率，但這個規格極其重要——有時甚至與廠商標榜的頻寬、取樣率和記憶體深度等傳統技術規格同樣重要。在顯示幕上查看重複擷取的波形時，示波器的波形更新率看起來可能很快，但這種「快速」是相對的。例如，從表面上看，每秒鐘幾千個波形的更新速率很快；但從統計學上來說，這種速率在您擷取隨機和偶發事件（信號每出現一百萬次才有一次事件）時，就顯得非常慢。

有三個理由可以說明何以最快速的波形更新速率對當今的示波器很重要。首先，如果示波器更新波形的速度很慢，操作示波器時很容易令人感到沮喪。當您轉動時基控制鈕後，會期望示波器立即做出回應，而非等到示波器的顯示品質，以顯示器亮度調變來顯示如雜訊和抖動等精微的波形細節。但最重要的是，快速的波形更新速率可以提高示波器擷取到隨機和偶發事件的機率。

Keysight InfiniiVision 系列示波器提供業界最快的波形更新速率，僅只使用示波器通道時，其速率可達每秒 1,000,000 個波形。此外，使用邏輯擷取通道與串列匯流排解碼功能時，它們的波形更新速率絲毫不受影響，其他競爭產品完全望塵莫及。雖然其他廠商可能會在廣告中為他們的 MSO 指定相當快的波形更新速率規格，但只要您使用邏輯通道和串列匯流排解碼，這些示波器的更新速率便會大幅下降。

本應用手冊舉出一些量測範例，以比較使用不同廠商的 MSO 來擷取異常事件的機率。但首先我們會討論影響示波器波形更新速率的一些因素，然後再說明如何計算擷取偶發事件的機率。

認識示波器盲區 (Dead Time)

當您除錯新的設計時，波形與解碼更新速率可能會很重要，尤其當您想要找尋及除錯偶發或間歇性問題時。這些都是最難解決的問題。較快的波形與解碼更新速率，可以提高示波器擷取到難以捕捉的事件的機率。為瞭解原因，你必須先認識何謂示波器「盲區 (Dead Time 或 Blind Time)」，所有示波器都有「盲區」，如圖 1 所示。指的是在示波器的波形擷取之間，示波器處理之前擷取到的波形以便在顯示器上顯示該波形的時間，在此處理或盲區 (Dead Time) 內，示波器基本上無法察覺您所除錯的混合信號設計中可能發生的任何活動。

請注意圖 1 所標示的突波是在示波器盲區 (Dead Time) 內出現的。在示波器的兩次擷取週期之後，這些突波便不會出現在示波器的顯示器上。

當你知道儀器的更新速率後，要決定示波器的盲區 (Dead Time) 比例就很簡單了。計算示波器的盲區 (Dead Time) 比例時，必須將示波器的擷取週期時間減去顯示器擷取時間，再除以示波器的擷取週期時間。示波器的擷取週期時間為示波器波形更新速率的倒數，在使用特殊的設定情況下必須量測該值。以下公式說明如何計算示波器的盲區 (Dead Time) 比例。

$$\begin{aligned} \% DT &= \text{示波器的盲區比例} \\ &= 100 \times [(1/U) - W]/(1/U) \\ &= 100 \times (1 - UW) \end{aligned}$$

其中

U = 示波器測得的更新速率

而

W = 顯示器擷取時窗 = 時基設定 x 10

大部分的示波器廠商都不願意承認一個殘酷的事實，那就是示波器的盲區 (Dead Time) 通常要比顯示器擷取時間長很多，即使示波器指定了相當快的波形更新速率。

這表示使用示波器來擷取偶發和難以捕捉的事件就像賭博一樣，成功的機率取決於幾個不同的設定參數。事實上我們可以把示波器擷取隨機事件的機率，想成擲骰子時出現某特定面的機率。讓我們先瞭解擲骰子的機率，再看看它與示波器擷取機率間的關係。

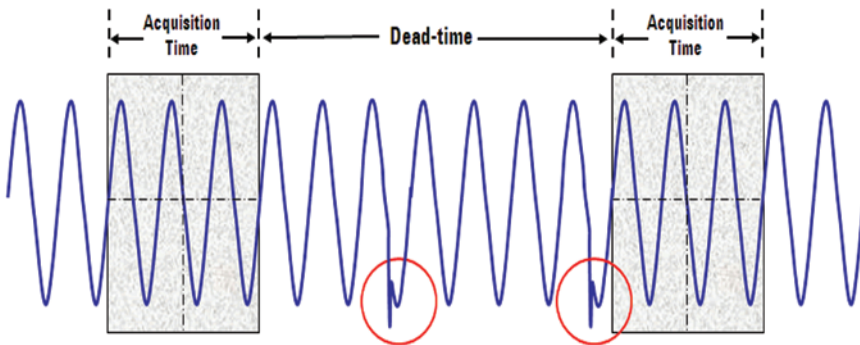


圖 1：示波器盲區 (Dead Time) vs 顯示器擷取時間

從擲骰子得到的啟示

當您擲一顆 6 面的骰子一次時，出現某特定面的機率是 1/6。這是很簡單的計算！如果擲這顆骰子兩次，某特定面至少出現一次的機率是多少？有些人未仔細思考，便很直覺地回答是 2/6，或者 33.3%。如果這個邏輯成立，當您擲這顆骰子 10 次時，某特定面至少出現一次的機率將超過 100%，這根本不可能。擲一顆“S”面骰子“N”次後，某特定面至少出現一次的機率（ P_N ）是…

$$P_N = 100 \times (1 - [(S-1)/S]^N)$$

為瞭解上述公式，考慮計算不出現某特定面的機率會比計算出現某特定面的機率更容易。擲一次骰子後不出現某特定面的機率是“(S-1)/S”。若以一顆 6 面骰子來說，該機率就是 5/6。擲骰子的次數（N）愈多，不出現某特定面至少一次的機率便會呈指數下降。這表示出現某特定面至少一次的機率會提高，但這些機率永遠不會等於或大於 100%。

就示波器的擷取機率而言，“S”是指異常事件的平均出現次數與示波器顯示時窗時間的比值。舉例來說，如果某個突波每 10 ms 出現一次（每秒 100 次），而示波器的時基設定為 20 ns/div，則螢幕擷取時間為 200 ns，所以 $S = 10 \text{ ms}/200 \text{ ns}$ ，也就是 50,000。

在此範例中，我們實際上使用的是一顆 50,000 面的骰子 - 您可以想想圖 2 的多面骰子 - 而波形異常現象只會出現在其中一面。在一次擷取後捕捉到一個突波一次的機率是 1/50,000，未擷取到突波的機率則是 49,999/50,000。

為提高示波器在固定期間內擷取到偶發突波的機率，可以讓示波器試著擷取信號多次，而且速度愈快愈好。這正是公式中必須納入示波器波形更新速率這個因素的原因。“N”在此指的是示波器擷取次數，其等於示波器波形更新速率乘以合理的觀察時間。觀察時間是指在您將探棒移到另一個測試點之前，願意查看示波器顯示器上的波形以判斷其是否正常的時間。因此就示波器而言，異常事件擷取機率的公式可以化約成…



圖 2：只在其中一面出現“突波”的多面骰子

$$P_t = 100 \times (1 - [1 - RW]^{(U \times t)})$$

其中

P_t	=	在“t”秒內擷取到異常現象的機率
t	=	觀察時間
U	=	測得的示波器波形更新速率
R	=	測異常事件發生率
W	=	顯示器擷取時窗 = 時基設定 x 10

突波擷取率比較

使用上述機率和盲區方程式，您可對兩個性能和價位相近的 500 MHz 頻寬示波器進行量測比較。

在進行量測比較時，使用真實電路來產生一個隨機亞穩態信號（偶發突波），平均每秒產生大約 5 次。兩台示波器均啟用預設設定（Default Setup）。由於需要觀察的突波寬度在 5~15 ns 之間，因此適合本次量測的最佳時基設定為 10 ns 每格。某些品牌的示波器只有特殊模式下才能達到最佳性能，為了獲致最快的波形更新率，請勿開啟量測、波形運算、串列匯流排分析或數位通道擷取等功能。兩台示波器均開啟 5 秒鐘的變數持續性，這並不會影響示波器的最佳狀況（best-case）波形更新率。使用示波器的預設上升信號緣觸發條件，觸發位準設為 +1.40 V；在擷取過程中我們可在螢幕中央看到亞穩態。為了確定示波器擷取到突波的機率，在計算時我們假定 5 秒是合適的觀察時間。

從圖 3 我們可以看到 Keysight 3000 X 系列示波器可在 5 秒內可靠地擷取多次隨機和偶發的亞穩態，因為該示波器的波形更新率為每秒 1,000,000 個波形。

透過以下公式可算出 Keysight 3000 X 系列示波器的這項量測的盲區百分比：

$$\% DT = 100 \times (1 - (1,000,000/s \times 100 \text{ ns})) = 90\%$$

當時基設為每格 10 ns 時，示波器的盲區百分比約為 90%，感覺上好像很長，實際上在 5 秒內擷取突波的機率非常高。我們可用以下概率公式來計算：

$$P_{(5s)} = 100 \times (1 - [1 - (5/s \times 100 \text{ ns})]^{(1,000,000/s \times 5s)}) = 91.8\%$$

如圖 4 所示，使用 Tektronix DPO/MSO3000 系列示波器會導致量測結果出現很大差異。儘管示波器「標榜」的波形更新率可達每秒 55,000 個波形，但時基設為每格 10 ns 時，最大更新速率僅為每秒 2,600 個波形。以下是 Tektronix MSO3000 系列示波器的盲區百分比：

$$\% DT = 100 \times (1 - (2600/s \times 100 \text{ ns})) = 99.97\%$$

在 5 秒的觀察時間後，我們便無法透過 Tektronix 示波器觀察到偶發亞穩，因為盲區太長，導致擷取突波的機率變得極低。假設您所觀測的信號極少發生問題，而且您願意等，那麼該示波器最終會擷取到這個亞穩態。以下是使用 Tektronix DPO/MSO3000 系列示波器時在 5 秒觀察時間後擷取突波的機率。

$$P_{(5s)} = 100 \times (1 - [1 - (5/s \times 100 \text{ ns})]^{(2600/s \times 5s)}) = 0.65\%$$

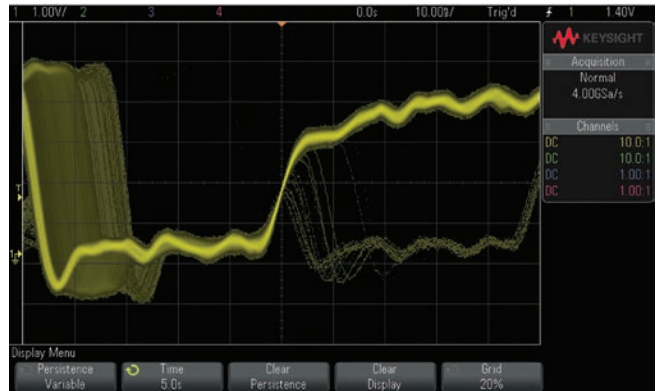


圖 3：當更新率為每秒 1,000,000 個波形，Keysight MSO/DSO3000 X 系列示波器能夠可靠地擷取偶發亞穩態。

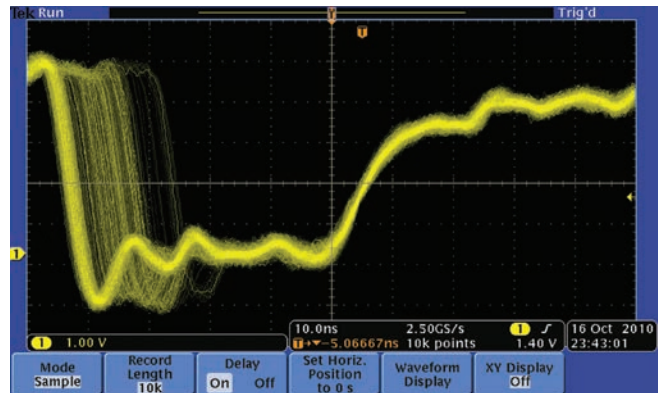


圖 4：當更新速率為每秒 2,600 個波形，Tektronix DPO/MSO3000 系列示波器無法擷取到偶發亞穩態。

確定示波器的實際波形更新率

影響示波器的波形更新率的因素有很多。示波器廠商往往只突出宣傳示波器的「優點」或最佳情況下的波形更新率，而這通常只會在極為有限的設定條件下才能達到。

示波器的時基設定通常是影響更新率的首要設定條件，這是因為時基設定決定了擷取顯示的時間視窗。藉由將示波器時基設為每一格較長的時間，示波器可對更長的波形進行數位轉換。假設示波器在 2 ms 每格時的擷取時間是 20 ms。如果示波器的盲區為零（理論上是不可能的），則絕對最佳條件下的波形更新率為每秒 50 個波形 (1/20 ms)。

如果您需要瞭解示波器的波形和解碼更新速率，那麼必須在各種預計會用到的設定條件下進行量測，不要輕信廠商標榜的波形更新率。

量測示波器的更新率並不難。大多數示波器均提供觸發輸出信號—通常用來使其他儀器與示波器的觸發同步。您可以透過外部計數器來量測這個輸出觸發信號的平均頻率，進而量測示波器的更新速率。請記住，當作示波器輸入觸發源的信號之潛在觸發速率，必須超過示波器的預計更新速率。否則，較慢的觸發速率會限制示波器的更新速率。

表 1、2 和 3 分別對具有價格優勢的 100 MHz、500 MHz 和 1 GHz 頻寬示波器進行波形更新率比較。測試首先會採用每個示波器的預設定條件。在測試過程中僅開啟其中的一個通道。藉由選擇最小的擷取記憶體（提供最大取樣速率），記憶體深度可在每個時基範圍內最佳化。利用 Keysight MegaZoom 技術可自動對記憶體深度進行最佳化。

波形更新率量測結果 (100-MHz 頻寬示波器)

時基	Keysight 2000 X 系列	Tek DPO2000 系列	Tek TDS2000 系列	LeCroy WaveJet
2 ns/div	54,000	140	60	1,000
5 ns/div	54,000	130	60	1,000
10 ns/div	54,000	130	60	1,000
20 ns/div	54,000	160	60	1,000
50 ns/div	54,000	220	60	1,000
100 ns/div	52,000	6,200	50	1,000
200 ns/div	49,000	5,500	100	1,000
500 ns/div	43,000	4,200	100	1,000
1 μs/div	35,000	2,300	100	625
2 μs/div	26,000	2,000	100	300
5 μs/div	18,000	2,000	100	150
10 μs/div	9,000	1,400	100	70
20 μs/div	4,500	1,200	100	35
50 μs/div	1,800	400	90	35
100 μs/div	900	180	90	35
200 μs/div	460	120	200	35
500 μs/div	170	80	140	25
1 ms/div	60	60	80	20
2 ms/div	43	30	40	15
5 ms/div	~18	~20	~20	~10
10 ms/div	~9	~8	~10	~7
20 ms/div	~5	~4	~4	~4
50 ms/div	~2	~2	~2	~2
100 ms/div	~1	~1	~1	~1

表 1：100 MHz 頻寬示波器具備出色的價格優勢和波形更新率。

波形更新率量測結果 (500-MHz 頻寬示波器)

時基	Keysight 3000 X 系列	Tek DPO3000 系列	Tek TDS3000 系列	LeCroy WaveSurfer
1 ns/div	960,000	2,500	670	490
2 ns/div	960,000	2,500	670	470
5 ns/div	960,000	2,500	670	485
10 ns/div	1,030,000	2,600	770	480
20 ns/div	960,000	2,200	770	420
50 ns/div	570,000	46,000	770	410
100 ns/div	340,000	46,000	770	400
200 ns/div	170,000	46,000	770	250
500 ns/div	74,000	43,000	770	220
1 μs/div	38,000	7,300	770	190
2 μs/div	19,000	4,400	770	145
5 μs/div	7,800	2,500	770	75
10 μs/div	3,900	200	500	50
20 μs/div	2,000	200	500	25
50 μs/div	780	150	430	12
100 μs/div	780	25	330	6
200 μs/div	450	18	250	6
500 μs/div	170	18	160	6
1 ms/div	60	16	77	~6
2 ms/div	43	14	42	~6
5 ms/div	18	11	~20	~5
10 ms/div	9	6	~10	~4
20 ms/div	~5	~4	~5	~3
50 ms/div	~2	~2	~2	~1.5
100 ms/div	~1	~1	~1	~0.8

表 2：500 MHz 頻寬示波器具備出色的價格優勢和波形更新率。

波形更新率量測結果 (1-GHz 頻寬示波器)

時基	Keysight 4000 X 系列	Tek DPO4000 系列	LeCroy WaveRunner
500 ps/div	1,020,000	2,500	490
1 ns/div	1,010,000	2,500	490
2 ns/div	1,000,000	2,500	470
5 ns/div	990,000	2,500	485
10 ns/div	1,030,000	2,500	480
20 ns/div	880,000	58,000	420
50 ns/div	490,000	58,000	410
100 ns/div	280,000	58,000	400
200 ns/div	140,000	48,000	250
500 ns/div	60,000	10,000	220
1 μs/div	30,000	4,700	190
2 μs/div	15,000	2,500	145
5 μs/div	6,300	360	75
10 μs/div	3,200	290	50
20 μs/div	1,600	150	25
50 μs/div	1,300	25	12
100 μs/div	900	17	6
200 μs/div	430	11	6
500 μs/div	170	11	6
1 ms/div	85	10	~6
2 ms/div	40	9	~6
5 ms/div	18	8	~5
10 ms/div	9	5	~4
20 ms/div	~5	~3	~3
50 ms/div	~2	~2	~1.5
100 ms/div	~1	~1	~0.8

表 3：1-GHz 頻寬示波器具備出色的價格優勢和波形更新率。

結語

如果發現及除錯隨機和偶發問題對您很重要，那麼在選擇您的量測所需的示波器時，波形與解碼更新速率便是很重要的考量。更新速率會直接決定示波器擷取及顯示隨機電路問題的機率。

本應用說明主要闡述了當使用模擬擷取通道時，示波器的最佳波形更新率比較。在使用數位擷取通道 (MSO 型號) 和 / 或串列匯流排解碼時，大多數示波器的波形更新率都會明顯下降，特別是在啟用深度記憶體後。

是德科技第四代 InfiniiVision 系列示波器擁有業界最快的波形和串列解碼更新速率 (高達每秒 1,000,000 個波形)。使用邏輯通道和串列匯流排解碼功能時，InfiniiVision MSO 的更新速率也不會降低。透過更高度的硬體整合 (MegaZoom 技術)，Keysight InfiniiVision DSO 和 MSO 將示波器盲區降至最低，進而獲得最快且不會影響性能的更新率。

詞彙解釋

盲區 (Dead Time) - 示波器用來處理數位化波形以便顯示該波形的時間；在盲區內，示波器基本上無法察覺任何的信號活動。

MegaZoom IV - 是德科技獲得專利的擷取和顯示技術，可提供極快的波形和串列匯流排解碼速率。InfiniiVision 3000 X 系列和 4000 X 系列示波器的更新率大於每秒 1,000,000 個即時波形，而可同時自動最佳化記憶體深度和取樣速率。

亞穩態 (Metastable state) - 數位電路的一種不穩定輸出情況，通常會以突波的型態出現，是因為輸入信號違反設定 / 保持時間的條件所致。

MSO 混合信號示波器 (Mixed signal oscilloscope) - 一種多了邏輯時序分析通道的示波器，可同時對類比和數位輸入信號進行直接的時間關聯量測及設定組合式邏輯 / 碼型觸發條件。

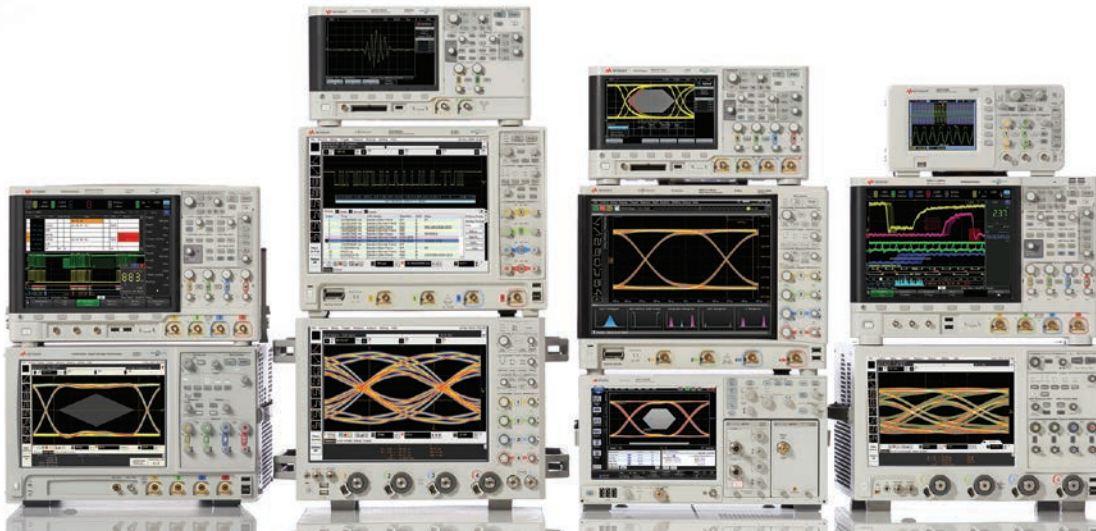
波形更新速率 (Waveform update rate) - 示波器在一秒內可擷取及顯示的波形數量。

相關文件

檔案名稱	文件類型	英文版編號
InfiniVision 2000 X 系列示波器	產品規格書	5990-6618EN
InfiniVision 3000 X 系列示波器	產品規格書	5990-6619EN
InfiniVision 4000 X 系列示波器	產品規格書	5991-1103EN
InfiniVision 6000 X 系列示波器	產品規格書	5991-4087EN
InfiniVision 系列示波器探棒和配件	產品規格書	5968-8153EN
示波器取樣率 vs 取樣保真度	應用說明	5989-5732EN
評估示波器垂直雜訊特性	應用說明	5989-3020EN
針對您的應用評估示波器頻寬	應用說明	5989-5733EN
示波器顯示品質將影響您是否能檢視精細的信號細節	應用說明	5989-2003EN
評估示波器以對混合信號設計除錯	應用說明	5989-3702EN

詳細資訊

欲瞭解最新和最全面的應用和產品資訊，請至是德科技網站：www.keysight.com/find/infiniivision



是德科技全系列示波器

備有從 20 MHz 到 > 90 GHz 等不同頻寬的機型 | 領先產業的規格 | 強大的應用軟體

myKeysight

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight

透過個人化頁面查看與您息息相關的資訊

AXIe

www.axiestandard.org

AdvancedTCA[®] Extensions for Instrumentation and Test (AXIe) 是基於 AdvancedTCA 標準的開放標準，將 AdvancedTCA 標準延伸到通用測試和半導體測試領域。是德科技之前身安捷倫 EMG 是 LXI 聯盟的創始會員。

LXI

www.lxistandard.org

LXI 是繼 GPIB 之後推出的區域網路 (LAN) 標準，可提供更快速、更有效率的網路連結方式。是德科技之前身安捷倫 EMG 是 LXI 聯盟的創始會員。

PXI

www.pxisa.org

PCI eXtensions for Instrumentation (PXI) 模組化儀器提供堅固耐用的 PC 式高效能量測儀器與自動化系統。



三年保固

www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty

除了享有卓越產品規格外，還可獲得與眾不同的產品擁有體驗。是德科技是全球所有量測儀器廠商中，唯一保證所有儀器皆享 3 年保固的廠商。



五年保固延長計劃

www.keysight.com/find/AssurancePlans

是德科技提供經濟實惠的五年保固保證，確保儀器的運作達到規格要求，您可持續信賴儀器的量測準確度。



www.keysight.com/quality

是德科技—DEKRA Certified ISO 9001:2008 品質管理系統。

是德科技銷售夥伴

www.keysight.com/find/channelpartners

兩全其美：是德科技專業的量測技術與齊備的產品，搭配是德科技銷售夥伴的服務與彈性價格。

有關是德科技電子量測產品、應用及服務的詳細資訊，可查詢我們的網站或來電洽詢

聯絡窗口查詢：

www.keysight.com.tw/find/contactus

台灣是德科技網站：

www.keysight.com.tw

台灣是德科技股份有限公司

免費客服專線：0800-047-866

104 台北市復興南路一段 2 號 7 樓

電話：(02) 8772-5888

324 桃園縣平鎮市高雙路 20 號

電話：(03) 492-9666

802 高雄市四維三路 6 號 25 樓之 1

電話：(07) 535-5035