

顛覆 iToF 技術，如何突破 30 公尺深度感知極限？

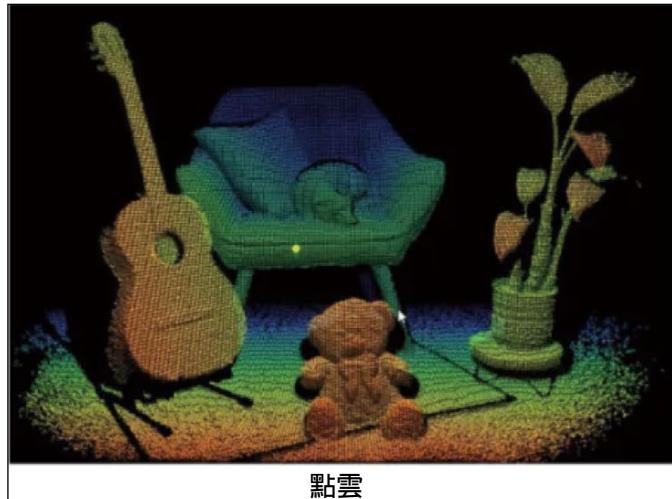
■作者：安森美

深度感知是實現 3D 測繪、物體識別、空間感知等高級認知功能的基礎技術。對於需要精確即時處理環境與物體的形狀、位置和運動的領域，這項技術不可或缺。通過深度感知技術，可以準確獲取目標物體的位置資訊，有助於實現自我調整和智慧化操作。

安森美的 iToF 方案：Hyperlux ID

常規的間接飛行時間 (iToF) 技術儘管潛力巨大，但在實際應用中仍面臨挑戰。為瞭解決這一難題，安森美開發了 Hyperlux ID 高性能 iToF 感測器系列。該系列運用先進的圖元和堆疊技術及多種特性，拓展了 iToF 方法的應用範圍。下面介紹 iToF 的原理和 Hyperlux ID 感知系列的主要特性。

圖 1:Hyperlux ID 獲取的深度點雲圖像



iToF 的原理

如前所述，間接飛行時間 (iToF) 法通過接收以特定頻率調製的照射光的反射波並計算相移來確定深度。為了確定相移，採用四個調製信號進行測量，其相位分別偏移 0° 、 90° 、 180° 和 270° 。因此，至少需要四次曝光才能獲得單個深度幀資訊。

iToF 根據相移來計算距離。相位週期由調

圖 2:iToF 計算

相移（四相測量）	由相位求深度
$\Delta\varphi = \text{atan} \left(\frac{S_0 - S_{180}}{S_{90} - S_{270}} \right)$	$D = \frac{c}{2} \left(\frac{\Delta\varphi}{2\pi f_m} \right)$
$S_0 = A \cdot \sin(\Delta\varphi) + C$	$C: \text{ } .$
$S_{90} = A \cdot \cos(\Delta\varphi) + C$	$f_m: \text{ } .$
$S_{180} = -A \cdot \sin(\Delta\varphi) + C$	
$S_{270} = -A \cdot \cos(\Delta\varphi) + C$	

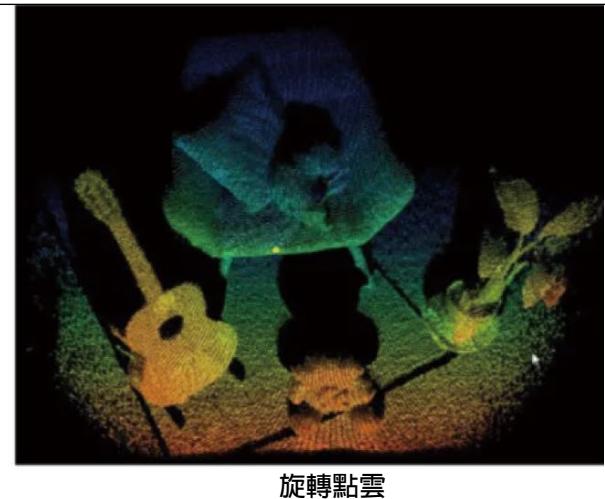
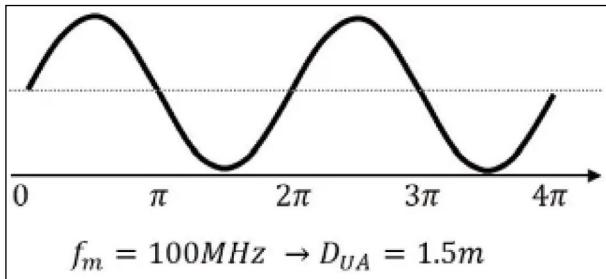


圖 3: 相位週期由調製頻率決定



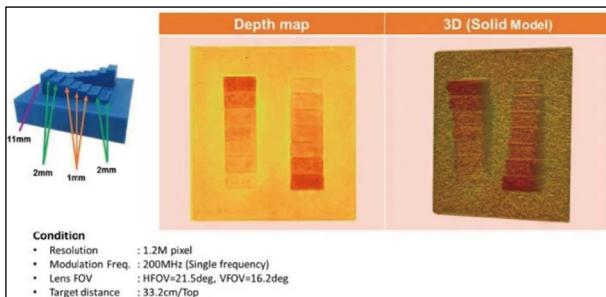
製頻率決定，相位具有週期性。當與目標的距離超過一個週期時，就會出現相位模糊問題，即無法判斷測得的相位屬於哪個週期。例如，若調製頻率為 60MHz，則一個週期為 2.5 公尺。在這種情況下，測量距離 3 公尺將被解釋為 0.5 公尺。因此，最大可測量深度一般在調製頻率的一個週期以內 (0 至 2π)。

提升解析度和距離精度

安森美開發了名為 Hyperlux ID 的 iToF 感測器系列。該系列包含 AF0130 和 AF0131 兩款產品，具有 120 萬圖元的高解析度。此解析度相當於目前市面上大多數 iToF 感測器解析度 (VGA) 的四倍，因而能夠實現更精確的測量。

此外，這些產品還支援圖元合併。如果 VGA 解析度足夠，那麼將 120 萬圖元進行圖元合併，可以提高 VGA 感測器的靈敏度。距離解析度取決於調製頻率。與市面上的常規方案相比，我們的產品可以使用相對較高的 200MHz 調製頻率。因此，我們的產品性能可擴展，既支援短距離、高精度感知，也支持長距離、高

圖 4: 近距離高精度感知示例



解析度感知。

集成深度計算功能（減小系統尺寸並降低成本）

常規 iToF 感測器不具備根據四個相位的曝光結果來確定深度距離的計算能力。確定深度距離的過程必須由外部 FPGA 或處理器執行。這些 FPGA 或處理器將 iToF 感測器輸出的每個相位的曝光結果存儲在幀記憶體中，並在收集到所有四個相位的資料後執行深度計算。因此，客戶需要確保系統具備足夠的處理能力和記憶體來支援 iToF 計算。

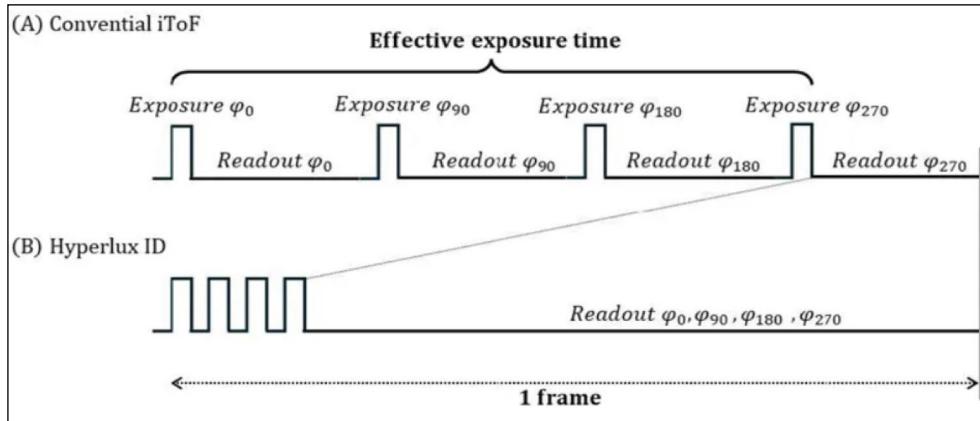
新產品 AF0130 集成了深度計算功能。客戶無需準備大量的處理資源，系統也得以簡化。如果之前使用了 FPGA 等專用計算器件，那麼現在可以移除這些器件，有助於減小攝像頭的外形尺寸。如果過去使用了高性能處理器，現在可以將計算資源配置給其他應用，或者換用更具成本效益的處理器。當解析度較高時，我們的新方案會更加有效。

iToF 需要至少四個相位的資料，因此與常規圖像感測器相比，它會產生四倍以上的資料輸出。由於計算在 iToF 感測器端進行，資料速率可以顯著降低。它還能提升電路板設計的靈活性。此外，如果客戶希望使用自己的計算演算法，我們還提供未集成計算功能的 AF0131。

減少運動偽影

常規 iToF 感測器在每次相位曝光後，都會將資料讀出到外部處理器。從第一次 $\phi 0$ 曝光到 $\phi 270$ 曝光完成，需要一定的時間。如果目標物體在此期間移動，則感知結果中會出現運動偽影。Hyperlux ID 內置記憶體，可以保留必要的相位資料。這裡的技術突破在於，所有四相資訊都直接存儲在圖元中。曝光結果原封不

圖 5: 減少運動偽影機制 (1 帧)



動地存儲在圖元記憶體內。因此，下一相位曝光可以在很短的時間內開始，從而減少了四個相位的總曝光時間，運動偽影得以大幅減少。

長深度距離和高環境光抑制

■雙頻模式：常規 iToF 感測器的典型感知範圍為 5 到 10 公尺左右，而且由於易受環境光幹擾，因此通常僅限於室內使用。前面提到過，iToF 可測量的深度範圍一般為調製頻率的一個週期。為了擴大測量範圍，可以使用融合兩種調製頻率的方法。由於使用兩個調製頻率，因此可以區分的最大距離為這兩個頻率

的最小公倍數。這種方法由來已久，但常規 iToF 感測器處理四個相位時，要求每幀改變一次調製頻率，再由系統合併。結果，最終的畫面播放速率會減半，創建單個深度幀的曝光時間會延長。Hyperlux ID 有能力在單幀內處理兩個調製頻率，因此無需外部處理，畫面播放速率不會降低。此外，通過使用圖元記憶體，兩個調製頻率的八個相位曝光所需的時間可以縮短。因此，不僅感知範圍得到擴大，而且運動偽影也得以有效減少。(不過，此款產品使用雙頻時的最大解析度為 VGA。)

■提高靈敏度：假設用於發射的鐳射是 940nm 波段的鐳射。在該頻段，常規 iToF 產品的典型 QE (量子效率) 為 20% 至 30%，但 Hyperlux ID 得益于安森美先進的圖元技術，已達到 40% 以上。隨著測量距離增加，反射波的能量減小，因此

靈敏度的改善非常有助於提高深度測量距離和精度。此外，在雙頻下，由於圖元合併，最大解析度變為 VGA，但這也改善了感測器靈敏度，有助於提高深度測量距離和精度，就像 QE 一樣。

■增強環境光抑制：一般來說，iToF 容易受

圖 6: 雙頻模式

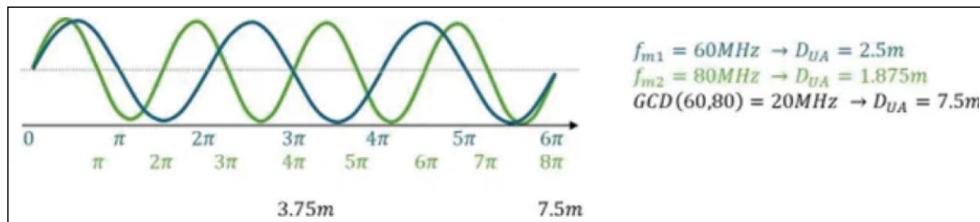
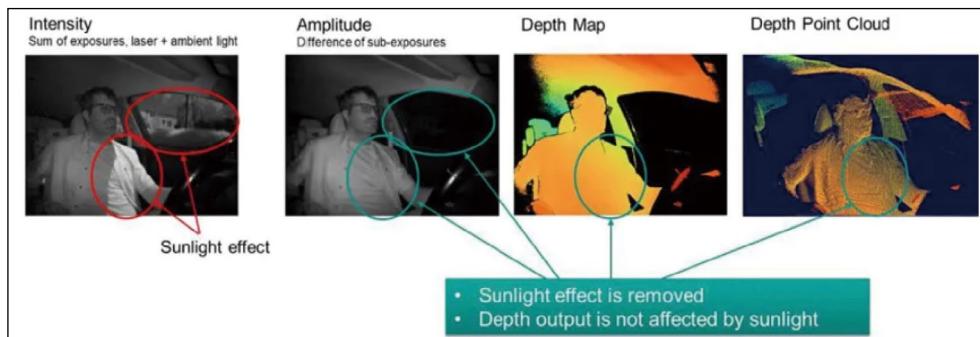


圖 7: 環境光抑制效果



到陽光等環境光的幹擾。發射鐳射以外的光源也會影響測量，導致結果不準確。因此，iToF 通常僅限於室內使用。我們的產品增強了環境光抑制能力。即使在陽光下，它也能獲得準確的深度結果。

■混合模式：常規 iToF 感測器使用調製的連續光波，要求快門在測量期間保持打開，而這會導致環境光成分不斷在圖元中積累。此外，若要測量更遠的目標，必須提高鐳射功率。在這種情況下，鐳射能量非常強，會照射到附近的目標上，產生強烈的反射光，可能導致圖元飽和。因此，進行大範圍測量非常困難。Hyperlux ID 採用了安森美的全域快門技術和專利混合技術。它使用基於測量距離的

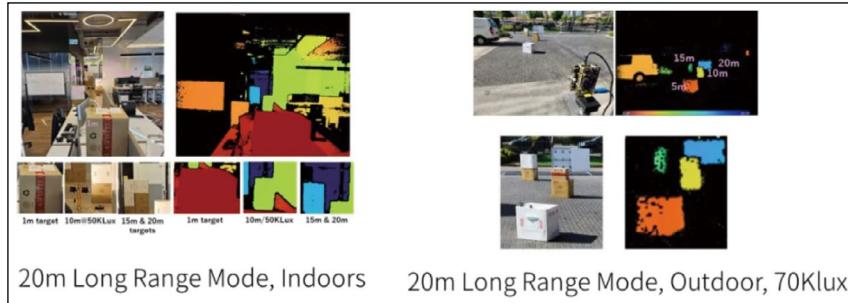
專門調製，並且僅在必要時打開全域快門，從而有效減少了環境光成分的積累。這樣可以最大限度地利用圖元靈敏度，實現從近距離到遠距離的寬範圍測量。目前，室內和室外都能獲得超過 30 公尺的測量結果。

Hyperlux ID 間接飛行時間 (iToF) 技術的應用

Hyperlux ID 提升了距離感知的解析度和精度，無論近距離還是遠距離（最遠 30 公尺），都能實現更準確的測量，通過應用於工業、商業、消費領域的各種深度感知場景，有助於提高深度感知性能。

綜上所述，安森美的高性能 iToF 產品系列作為全新 Hyperlux ID 系列的一部分，顛覆了關於 iToF 方法的傳統觀念。該系列產品拓寬了 3D 感知的應用範圍，並有助於提升工業自動化、機器人、安防等衆多領域的自動化水準。[CTA](#)

圖 8:30 公尺長距離模式，室內和室外場景



20m Long Range Mode, Indoors

20m Long Range Mode, Outdoor, 70Klux

圖 9: 應用示例

Industrial Automation	Future Retail	Access Control	Robotic Vision	Intelligent Logistics	Metaverse
Depth sensing used for ranging, detection, identification, guidance, and positioning	Combining w/AI, depth improves AI precision to give real time analytics and enhanced customer experience	3D depth data provides range and anti-spoofing accuracy for face ID	Robotic vision requires depth data for visual navigation, SLAM, obstacle avoidance & positioning	Autonomous navigation and obstacle avoidance need short to medium accurate depth data to make possible	Depth sensing enables immersive AR/VR experience w/SLAM, gesture and ranging