

ToF 產品線全面升級， 最高支援 5 公尺測距

■作者：陳忱 / 艾邁斯歐司朗中國區資深應用工程師

吳立智 / 大聯大世平集團產品經理

「ToF 不僅是測距，更是一場關於『時間』與『空間』精準協同的系統工程。艾邁斯歐司朗所關注的，不只是雷射與感測器的堆疊，而是如何讓感知系統在高反射、強光干擾、結構遮蔽等複雜場景下，仍具備確定性輸出、毫秒級反應與微型化封裝的工程價值。」——陳忱，艾邁斯歐司朗中國區資深應用工程師。

當前 AI 邊緣化趨勢日益明顯，終端裝置不僅需要「看得到」，更要「看得準、反應快」，因此環境感知能力已成為智慧裝置的核心競爭力。但傳統感知技術如結構光、雙目視覺，在動態、低光或強反射環境中容易失效。飛行時間 (Time-of-Flight, ToF) 憑藉高精度、抗環境干擾、即時性與高度適應性的優勢，正快速成為實現三維感知與空間理解的關鍵技術。

ToF 核心原理與關鍵架構：一場關於「時間」的感知革命

ToF 是一種基於光脈衝傳播時間差進行測距的感測技術，其核心原理是透過測量光脈衝從發射器出發，到達物體後反射返回的「往返時間」，再乘以光速並除以 2，得出物體與感測器之間的距離。

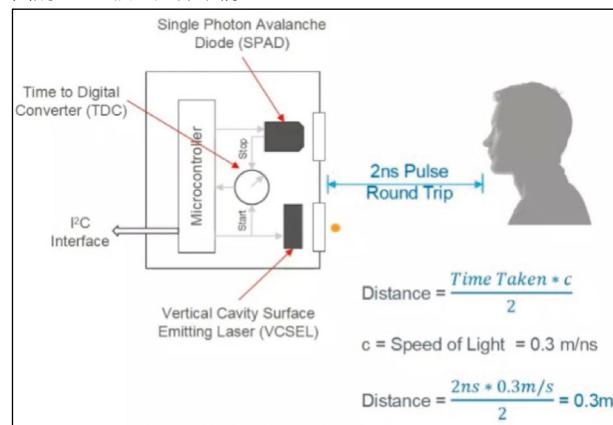
中心公式如下：

圖說：舉例來說，當一個光脈衝由 VCSEL 發射並在 2 奈秒內返回時，即表示物體距離約為 0.3 公尺 ($2\text{ns} \times 0.3\text{m/ns} \div 2 = 0.3\text{m}$)。

$$\text{Measured Distance} = \frac{\text{Photon Travel Time}}{2} \times \text{Speed of Light}$$

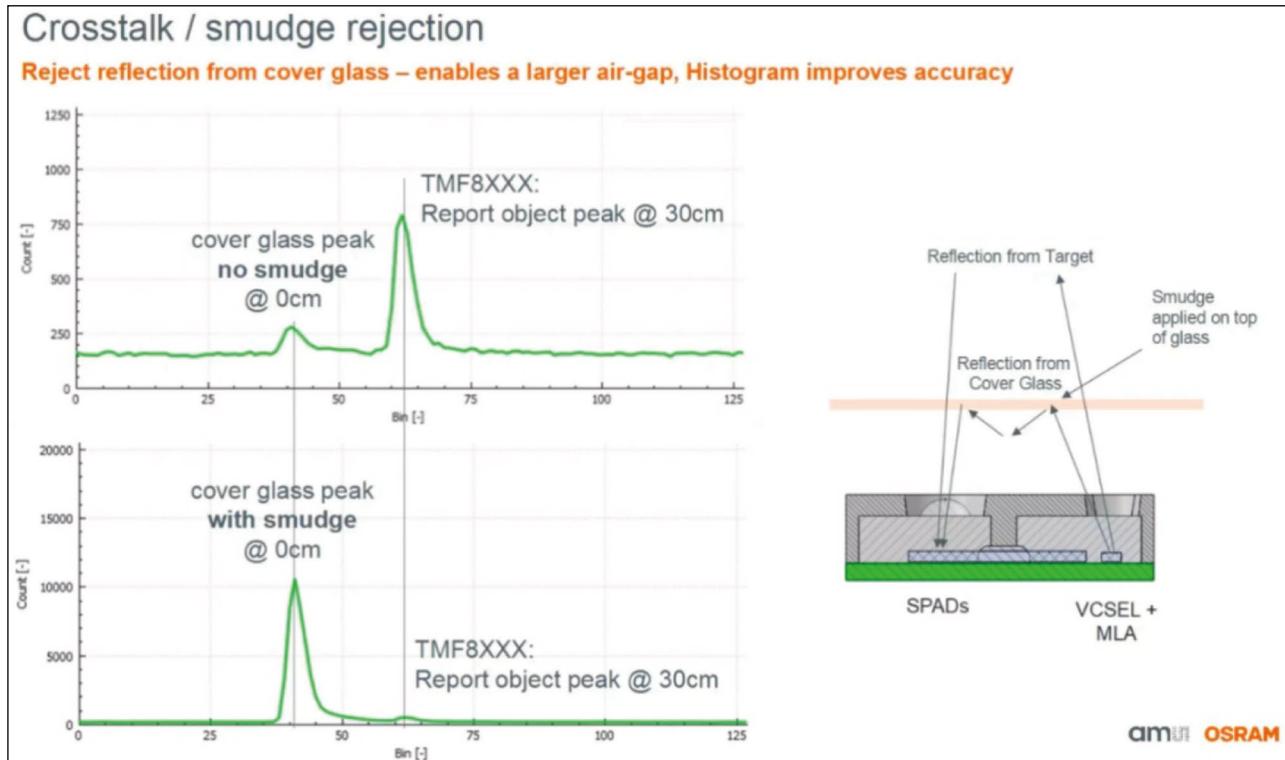
在艾邁斯歐司朗的直接飛行時間 (direct ToF, dToF) 架構中，這個過程由三大核心元件協同完成：VCSEL (垂直腔面發射雷射器) 發射高一致性、窄角度的紅外雷射脈衝；SPAD (單光子崩潰二極體) 以極高靈敏度捕捉回傳的微弱光子訊號，實現奈秒甚至皮秒級的檢測；TDC (時間 - 數位轉換器) 將返回時間數位化，輸出精準的測距數據。

圖說 : ToF 核心元件架構



在實際應用中，單次雷射發射可能因反射微弱或環境雜訊而難以判斷距離，此外，真實使用環境中還存在一類典型干擾——蓋板玻璃

圖說：即便在玻璃表面覆蓋髒污的極端條件下，系統依然能準確識別出目標物體的真實回波，並忽略干擾。



反射與髒污影響。因此，艾邁斯歐司朗的 dToF 方案採用了基於直方圖的時間統計機制，以增強系統的抗干擾能力。

具體原理方面，系統會以高重複率發射成千上萬個光脈衝，並記錄每次返回訊號出現的時間。所有命中事件依照時間先後被統計成一個直方圖，真實目標會在某個時間 bin 上形成明顯的「峰值」，代表目標反射光的集中命中；而玻璃蓋板反射、環境光干擾、訊號串擾等其他回波，則會在不同位置形成次要峰值或雜訊分布。系統透過內建的直方圖處理演算法，能夠準確識別主峰位置，實現可靠的距離輸出。

這種「多次測量 + 高頻迭代」的機制，不僅大幅提升了測量精度與可靠度，也讓系統能在存在多個反射源、複雜光學干擾或多路徑效應的環境中，準確辨識出主要反射目標，有效解決傳統 ToF 技術在複雜場景下容易出現「鬼影」或誤判的問題。

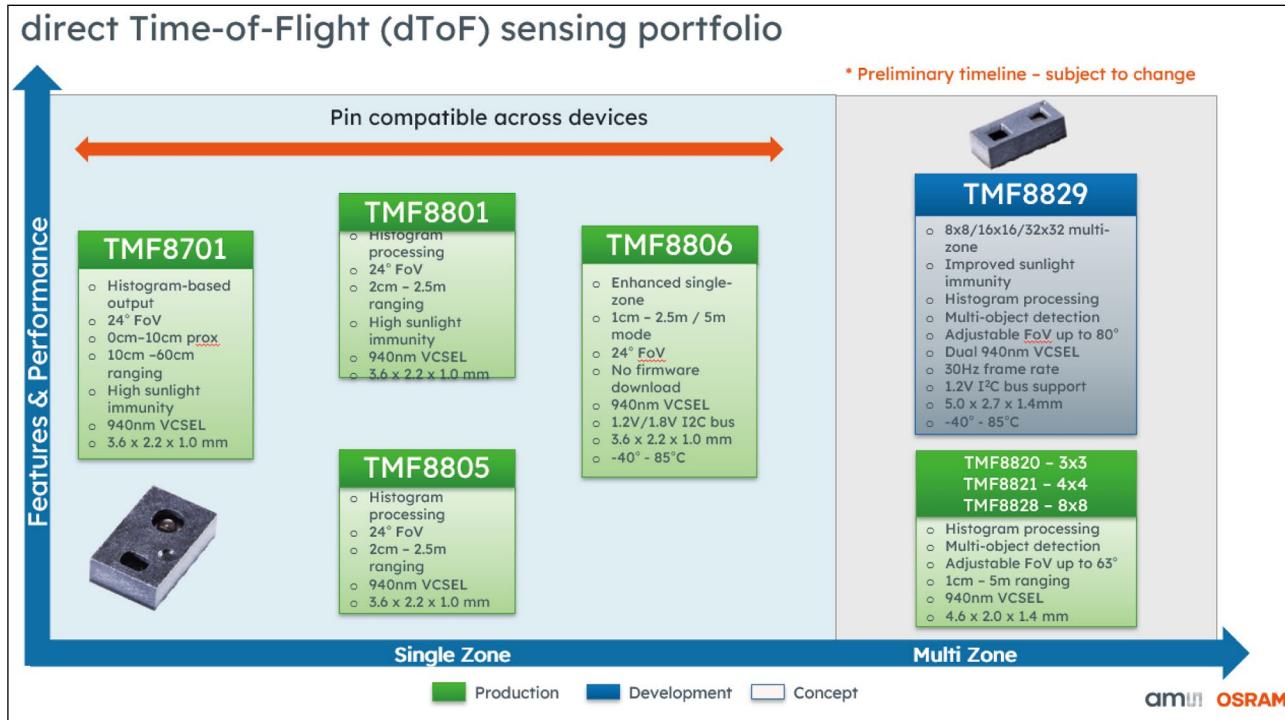
單區與多區 ToF 雙線並進

基於成熟的 dToF 技術平台，為了滿足不同垂直產業在距離、解析度、視場角以及抗環境能力上的多樣化需求，艾邁斯歐司朗打造了完整的 dToF 產品組合，劃分為 TMF880x (單區) 與 TMF882x (多區) 兩大產品系列，涵蓋從 1 公分至 5 公尺的測距範圍，能滿足消費級與工業級應用的多元場景。

■ **TMF880x** 系列是極致小型化的單點 ToF 感測器：支援 1 公分至 5 公尺的測距，採用單區 dToF 架構；高度整合，是業界最小的封裝之一，特別適用於對體積與功耗敏感的終端裝置。典型應用包括：智慧型手機雷射自動對焦 (LDAF)、液位監測、工業測距，以及停車／倉儲管理等。

■ **TMF882x** 系列則是高靈活性的多區 ToF 陣列方案：支援多區域測距與多目標偵測 (multi-object detection)；可動態調整視場角 (FoV)，

圖：直接飛行時間 (dToF) 感測產品組合



最大可達 63°。拓展應用

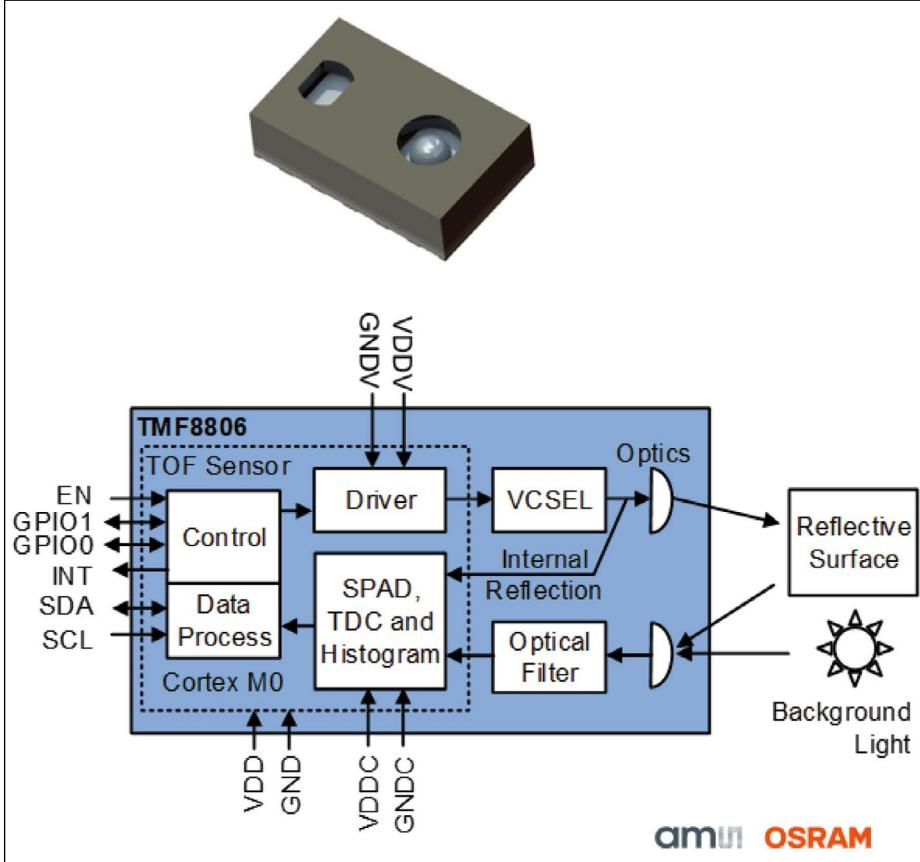
圖說：艾邁斯歐司朗單區 ToF 產品 TMF8806

包括角度檢測、空間感知、手勢互動、存在感測、虛擬安全線，以及室內人數估算等。

這兩大產品系列所有晶片共享同一核心架構與演算法平台，具備一致的資料介面與軟體支援，讓 OEM 廠商能在不同層級的產品上快速導入並保持統一技術基礎，進一步降低二次開發成本。

單區 ToF 產品 TMF8806

在單區 dToF 領域，艾邁斯歐司朗推出了多款針對不同測距需求的晶片，包括適合近距偵



表：TMF8806 的核心優勢特性如下：

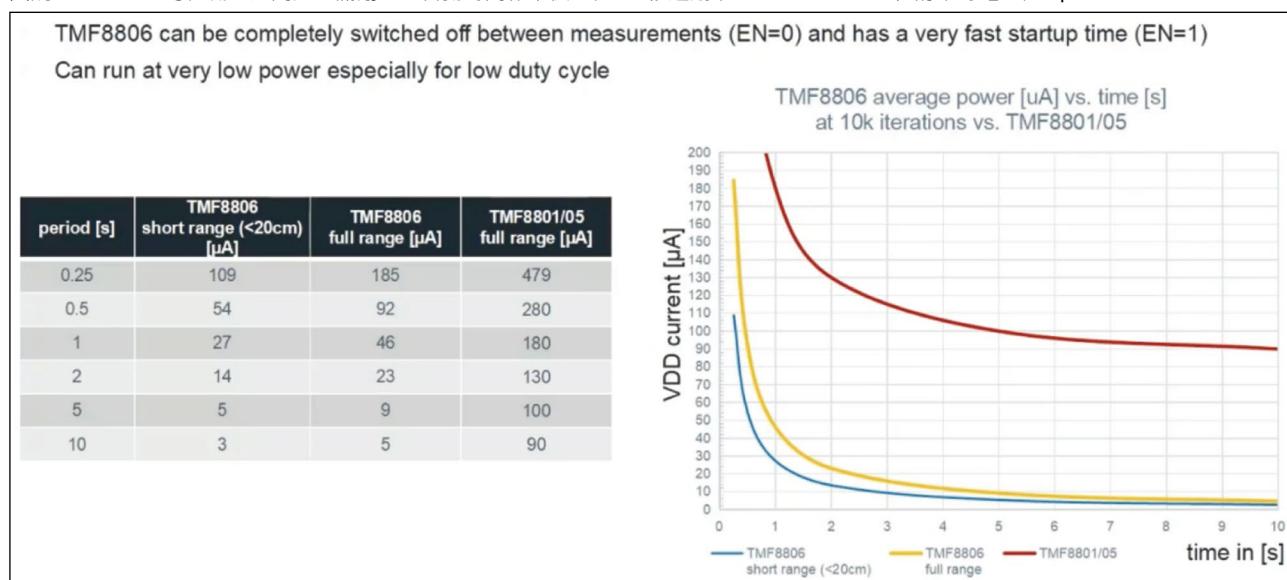
功能項	說明
免下載韌體	上電即用，簡化終端產品設計流程，提升啓動速度與系統可靠度
低功耗架構	支援 1.2V/1.8V 雙供電，系統整體功耗顯著降低
測距範圍 1cm~5m	滿足從近場手勢辨識到遠場目標偵測的廣泛需求
高容差結構設計	支援大氣隙 (airgap) 與厚蓋板，能適應多樣化的結構與外殼設計
電磁相容性增強	提升 EMC 表現，符合工業應用需求
中斷抑制機制	適用於邊緣 MCU 或 SoC 處理平台，降低誤觸發率
工作溫度 -40°C~85°C	可支援嚴苛的環境，涵蓋戶外、倉儲、冷鏈等特殊場景
供電範圍至 3.5V	提升與不同主控平台的電源相容性

測的 TMF8701 (最大 60 公分)、中距離的 TMF8801(最大 250 公分)，以及最新的遠距產品——TMF8806。它的測距範圍高達 5 公尺，成為 ToF 模組中遠距應用的首選。

TMF8806 的模組尺寸僅為 2.2mm × 3.6mm × 1.0mm，Z 向容差高 ($\pm 70\text{~}80\mu\text{m}$)，有助於高密度封裝或貼合設計。它內建 Class 1 等級的 940nm VCSEL 雷射器，具備 IEC 60825 眼睛安全認證；同時整合太陽光抑制濾波器，可在強光背景下維持穩定的測距表現。

作為 TMF8805 的升級版本，TMF8806 保留了前代產品的尺寸與腳位相容性，同時

圖說：TMF8806 可在測量之間完全關閉，且啓動時間非常快。在 10 秒週期下，TMF8806 全量程的平均電流僅 5 μA 。



在多項技術指標上全面優化。與 TMF8805 相比，TMF8806 最大的不同之一是支援 1.2V I/O 供電，進一步強化對新一代 SoC 平台 (如 QCOM) 的相容性。

另一項重要提升是支援超低功耗模式，具備快速喚醒、低工作週期與減少重複測量，能大幅降低運作功耗，特別適合電池供電的裝置應用。在 10 秒週期下，TMF8806 全量程的平均電流僅 5 μA ，相較前代 TMF8801/05 的 90 μA ，功耗降低約 95%。

此外，TMF8806 提供可配置的測量週期 (measurement repetition period)，讓開發者能

圖說：三種光學棧結構配置

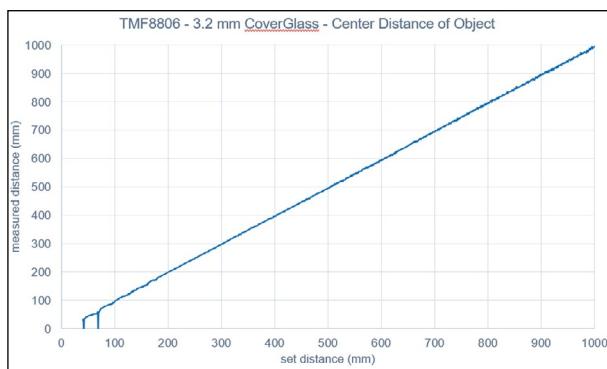
Type	Airgap*	Cover glass*	Selected by register	Use case
Default optical stack	0.4 mm	0.55 mm	<i>spadSelect</i> = 0	Reference – any application with a thin cover glass e.g. mobile phones
Large airgap	1 mm	0.55 mm	<i>spadSelect</i> = 1	Distance between device and cover glass extended
Thick cover glass	0 mm	3.2 mm	<i>spadSelect</i> = 2	White goods, stoves, appliances, vending machines

依照不同場景調整測量頻率，實現效能與能效的最佳平衡。

在實際產品設計中，ToF 感測器的效果不僅取決於電性表現，也高度依賴其與結構件的耦合方式。TMF8806 支援三種可選的光學堆疊結構，並可透過暫存器控制動態調整接收視場角 (FoV)，確保在不同物理結構下仍能達到最佳化的 ToF 訊號路徑。

下圖展示了 TMF8806 感測器在 3.2mm 厚蓋板玻璃下的測量數據。從圖表中可以看出，測量的距離與設定的距離呈現出近乎完美的線性關係，這表明在使用了 3.2mm 厚的蓋板玻璃後，TMF8806 感測器依然能夠準確地測量物體的距離，且測量結果非常可靠。

圖說：TMF8806-3.2mm 蓋板玻璃 – 物體中心距離的曲線圖



TMF8806 特別適合需要中遠距離、低功耗、結構容錯能力強的 ToF 應用。該產品提供三種開發板選擇，包括基於樹莓派 Zero 的 EVM 開發板 (Q65113A8263)、SHIELD (Q65113A8265)Arduino 擴充板，以及通用 GUI 獨立開發板 (與 TMF8806 通用 GUI 相同)。在軟硬體整合方面，艾邁斯歐司朗聚焦驅動模

型、通訊介面、開發環境相容性等支援，為產品落地提供完整的技術支援鏈。

多區 ToF 產品 TMF882X

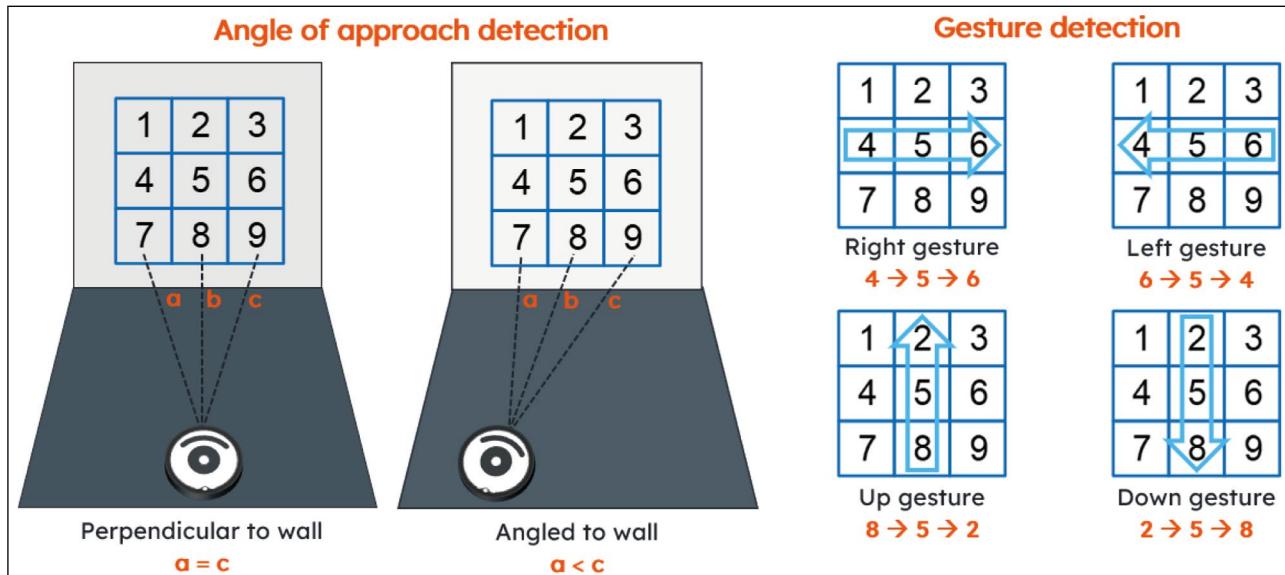
艾邁斯歐司朗新推出的三款多區 dToF 產品——TMF8820、TMF8821 和 TMF8828，為客戶提供了依據解析度與測量距離需求進行選擇的多樣化方案。這三款產品都支援最遠 5 公尺的檢測距離，但在分區配置上各有特色。

- **TMF8820**：提供最多 9 個分區 (3×3 多區) 配置，以較低的解析度換取最遠的測距能力，適合需要長距離偵測的應用。
- **TMF8821**：可配置 18 個分區，在解析度與測距距離之間取得平衡，適用於多種中距離、中等解析度的應用場景。
- **TMF8828**：最高可支援 18 個或 64 個分區，提供最細緻的解析度，雖然測距距離相對較短，但在需要高精度、細節豐富的近距離偵測應用中表現出色。

這個系列感測器的核心特點包括高靈敏度 SPAD 偵測技術、多區與多物體偵測能力，以 1 公分至 5 公尺的廣泛測量範圍。它能支援高達 63° 的動態可調整視場角，並整合片上直方圖處理功能，確保在各種光照條件下仍能獲得高精度數據。此外，940nm VCSEL 雷射光源符合 Class 1 人眼安全標準，搭配低功耗待機模式，以及僅 $4.6\text{mm} \times 2.0\text{mm} \times 1.4\text{mm}$ 的緊湊封裝，使其成為窄邊框設計的理想選擇。

TMF882X 多區 ToF 感測器能解決應用場景中如部分區域存在高環境光、運動偵測或視野局部被遮蔽等挑戰。它不僅可以透過比較不同區域的距離資訊來判斷物體在空間中的角度或方向，實現複雜的環境感知；還能透過追蹤物體在預設分區中的移動軌跡，實現直觀、非

圖說：TMF882X 多區傳感器的環境感知能力

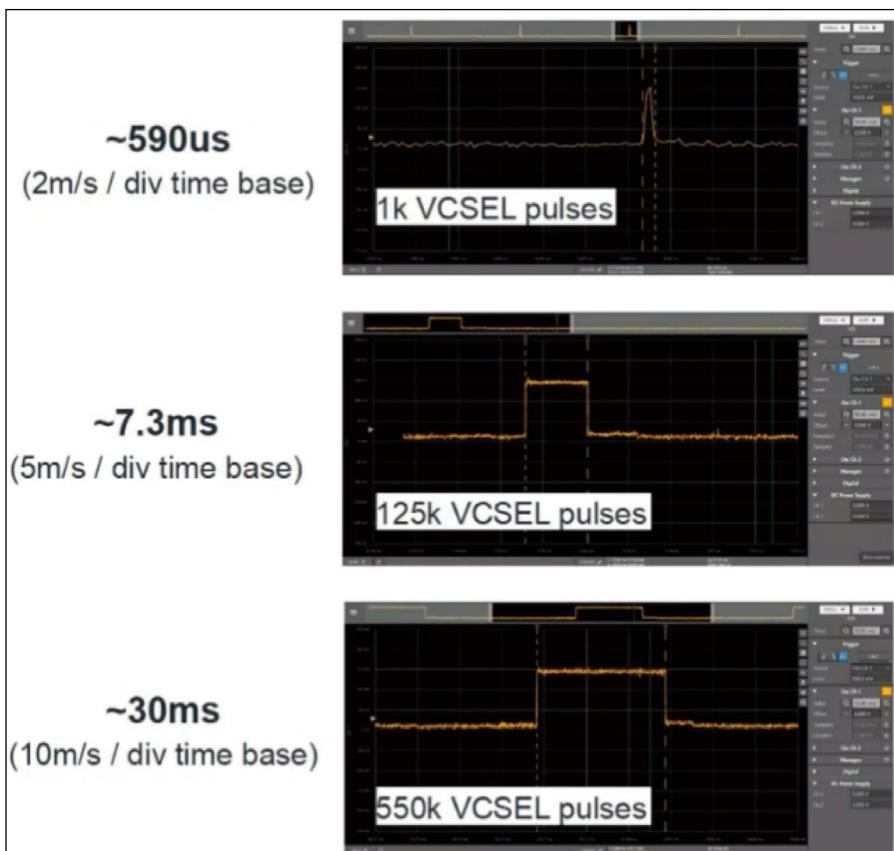


接觸式的手勢控制。

在數位投影機的應用案例中，TMF882X 可以提供自動對焦與梯形校正的輔助功能：在自動對焦方面，TMF880x 單區 dToF 裝置能快速且精確地測量投影機與螢幕之間的距離，讓投影機能即時調整焦距，確保影像始終清晰；在更複雜的梯形校正應用中，TMF882X 的多區功能能精確測量螢幕上不同區域（如上、中、下）的距離差異。透過這些多區數據，投影機的影像處理系統便能進行智慧縮放與校正，有效消除梯形效應，還原方正的投影畫面。

TMF882X 系列感測器的優勢在於，它能提供高訊雜比、寬動態範圍且不受多路徑反射影響的可靠測量。使用者可根據應用需求自由配置分區數量，並聚焦於特定

圖說：TMF8821 感測器在 3x3 配置下，不同的 VCSEL 脈衝數量對測量時間和功耗的影響



感興趣的區域。其強大的抗串擾與髒污去除功能，確保測量的高精度；靈活的電源模式則有助於延長電池壽命。此外，內建的人眼安全電

路會在硬體故障時自動關閉 VCSEL 驅動器，進一步確保產品安全性。

TMF8821 感測器透過超短脈衝技術，能在複雜環境中實現高精度與高可靠度。同時，它提供靈活的效能調校選項：使用者可透過調整 VCSEL 脈衝的數量，在效能與功耗之間取得平衡。脈衝數量越多，效能越佳，但功耗也會相應增加。

感測器的功耗亦可透過調整幀率與每幀的測量次數進行靈活設定。高幀率與高次數測量會帶來更高的效能與功耗（如 30Hz、550k 次迭代，功耗為 141mW）；若降低這些參數，則能顯著減少功耗，以滿足電池壽命需求更高的應用情境。

TMF882X 傳感器有四種工作模式。其中，Power Down 模式是最低功耗但會清除所有記憶體資料；而 Standby 模式是低功耗睡眠模式，能夠保留記憶體狀態，非常適合快速喚醒應用。Wait 和 Ranging 模式則分別用於配置和實際測

表：與 TMF8801 相比，新一代 8821 多區產品在功耗優化方面顯著進步，尤其在待機功耗上大幅降低

Mode	Average Power TMF8820/TMF8821	TMF8801
30Hz frame rate, 3x3 mode, 550k iterations	141mW	Single zone: 81mW
30Hz frame rate, 3x3 mode, 50k iterations	19mW	Single zone: 14mW
10Hz frame rate, 3x3 mode, 550k iterations	57mW	Single zone: 27mW
TMF8821: 30Hz frame rate, 4x4 mode, 275k iterations	140mW	N/A
Standby (keep memory)	30µW	240µW

表：TMF882X 感測器的四種工作模式

TMF882X operating modes					
Memory Lost	Mode	Typical Current consumption	Enter	Leave	Comment
	Power Down	2 µA	Pin ENABLE=0	Pin ENABLE=1	Hardware power down, all memory is lost
Retain Memory	Standby	8 µA	pon=1 (I2C Register)	pon=0 (I2C register)	Low power sleep mode, keep memory and state
	Wait	216 µA	Application running, but not measuring	pon or measurement command	Recommended to use only for configuration or short duration, otherwise use Standby or Ranging
	Ranging	Depends on configuration - up to 45 mA	CMD_MEASURE - I2C measurement command	CMD_STOP – I2C command	Normal ranging operation

距。

廣泛的應用場景

艾邁斯歐司朗的 dToF 感測器在非行動裝置市場中有著廣泛的應用，ToF 正逐漸成為幫助設備理解空間、理解人的核心技術：

- PC：人體存在偵測、手勢辨識
- 投影機：自動梯形校正、自動對焦
- 陪伴型機器人：障礙物偵測
- 直播攝影機／智慧門禁攝影機：自動對焦
- 智慧電視：人體存在偵測
- 會議平板 (PAD)：人體存在偵測
- 行動支付裝置：手部偵測
- 吹風機：自動距離檢測
- 掃地機器人：障礙物偵測
- 智慧門鎖 (E-lock)：人體存在偵測
- 智慧水杯：水位檢測
- 學習平板 (PAD)：學生接近度偵測

結語

在 AI 加速普及、互動需求不斷多元化的今天，ToF 技術正邁向更智慧、更實用、更貼近應用場景的階段。艾邁斯歐司朗的產品策略不僅回應了業界痛點，更為設備廠商提供了通用性強、高度整合且開發友善的 ToF 感測平台，加速實現「裝置懂空間、互動更自然」的智慧未來。