

顯示器效能標準： 為 OEM 與消費者釐清混淆

■作者：Roland Wooster / VESA 顯示器效能測量專案小組主席、英特爾顯示架構師及首席工程師

Dale Stoltzka / 三星電子加州聖荷西顯示實驗室資深首席研究員、VESA ClearMR 規格主要負責人

個人電腦顯示器市場近年來持續快速演進，高動態範圍 (HDR)、動態模糊降低技術與超高可變更新率等新興技術與功能，正以極快的速度推陳出新。然而，消費者在選擇顯示器時往往處於弱勢的一方。他們如何能夠更加瞭解每台顯示器的能耐，並信任製造商所提供的規格？對於顯示器 OEM 而言，一致、可測量的顯示器效能參數可以協助他們的產品取得合格認證並進行推廣，對於產品的開發與商業化也有所助益。

過去六年來，美國視訊電子標準協會 (VESA) 已發表多個螢幕前 (Front-of-Screen, FOS) 的效能標準，以協助消費者與 OEM 代工廠商滿足這些需求。本文將檢視數項標準的相容測試規格，包括 VESA 於 2024 年 5 月發表的最新 HDR 標準更新版本：DisplayHDR v1.2 版。

導言

VESA 制定顯示器標準已有 35 年歷史，以其放諸全球的顯示器安裝規格、DisplayPort 數位顯示器介面、以及各種平板顯示器尺寸規格而聞名。2017 年 VESA 展開螢幕前 (FOS) 效能評估作業，以降低消費者面對個人電腦與嵌入式顯示器如何選擇優質 HDR 的困惑。在那

之前，每家 OEM 代工廠商往往使用無法一對一比較的不同描述與評估方法。VESA 在 2017 年底推出了第一版 DisplayHDR 規格與標章計劃。在接下來的六年內，DisplayHDR 已經成為個人電腦 HDR 效能評估的實際標準，並於 2022 年達成取得認證裝置超過 1,000 款的里程碑。VESA 認為其它 FOS 顯示器特性也可以標準化為對消費者友善的標章計劃，因此於 2022 年推出了 Adaptive-Sync Display 與 ClearMR 規格及標章計劃，前者是用以測量可變更新率 (VRR) 的效能，而後者則是針對邊緣動態模糊打造一套強健的客觀度量。

本文檢視了 VESA 顯示器效能測量 (DPM) 專案小組最近完成的兩套 FOS 顯示器效能評估標準的發展，包括 (1) Adaptive-Sync Display 規格更新至最新的 v1.1a 版本，以及 (2) DisplayHDR 規格從 v1.1 更新到 v1.2 版本。

意識到量測需求，但更專注於為終端使用者帶來效益

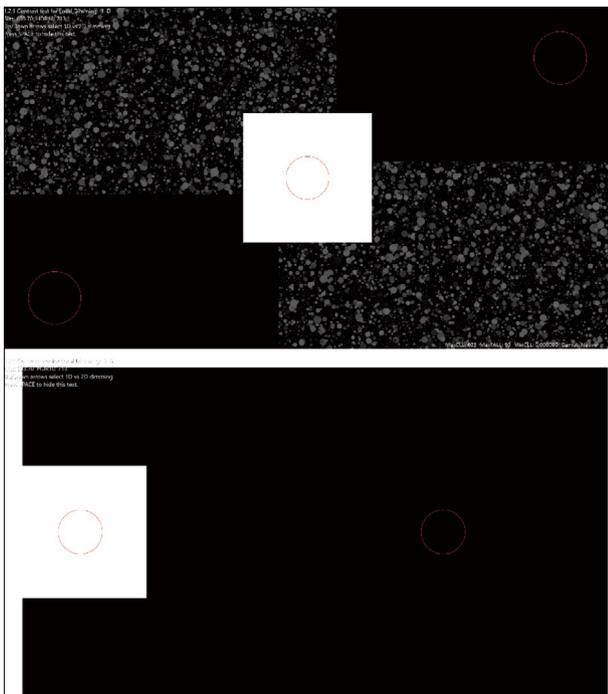
有別於開發自己的量測標準，VESA 運用其友好組織如國際資訊顯示器協會 (SID) 轄下的國際顯示器量測委員會 (ICDM)^{註1}，或 IEC 量測技術委員會 TC 110 的成果^{註2}。透過這種

方式，VESA 使用世界級專家審核過的技術來測量顯示器。VESA 為量測新增了不屬於上述組織作業內容的準則。ICDM 與 IEC TC 110 專注在如何進行測量，但並不會持續鑽研某一特定功能的好壞，但這往往是終端使用者關切的特性。因此，VESA 審核的標準成為螢幕前 VESA 相容測試規格 (CTS) 基礎的準則。

要決定測試準則，需要針對未來一至兩年所生產的顯示器可預期的功能與效能，進行一番調查。VESA 從制定適合市場上最頂尖消費級顯示器的準則開始著手，最終形成 CTS 實際標準，而這往往是過程中最耗時的一環，其間會員們會透過廣泛的測試來建立可實現量測值的資料庫。

VESA 會根據測試圖型的設計對量測進行創新。例如，測試模式將得出產品對主動調光或局部調光的支援能力，從而在 CTS 中引入新穎的圖型。在圖表 1 中，上方的圖型可以驗證 1D 的局部調光，而下方的圖型則可以驗證 2D

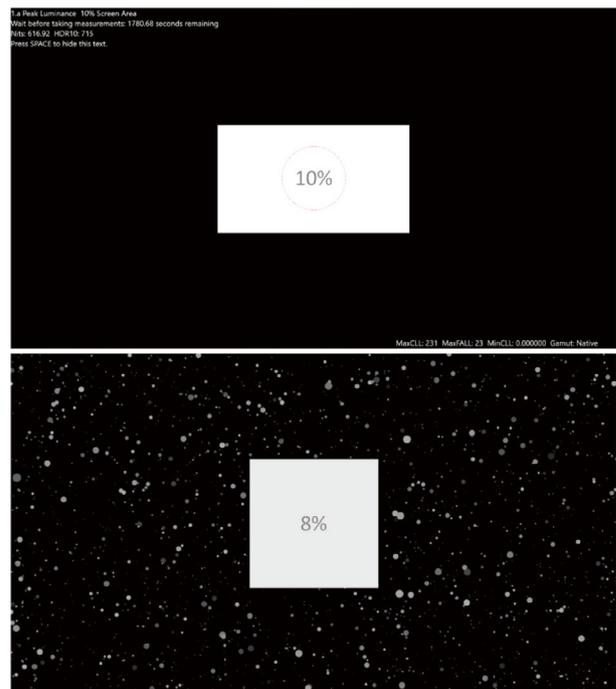
圖表 1：供 DisplayHDR 相容測試規格使用的局部調光圖型 — 1D (上)；2D (下)。為了這份報告的需要，我們開啓了測試導引。



的局部調光。左上與右下「象限」灰色的星空圖型，儘管被中央測試區塊部份掩蓋，但仍各佔據三成的螢幕面積。其圓點使用固定種子以達成重複性，且其大小、位置與亮度會隨機變化，亮度則介於 0 與 10 cd/m² 區間。

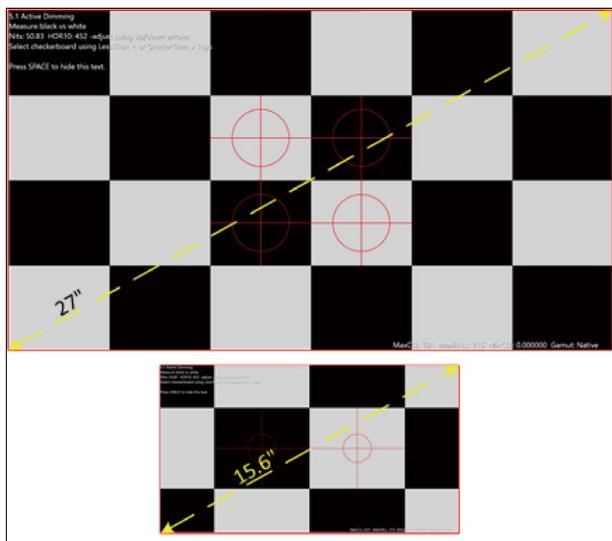
在對大多數 HDR 系統中的亮度測試進行合理觀察後，人們會想知道螢幕中央 10% 的白色區塊代表實際 HDR 負載的真實程度。研究結果顯示人工背景的效果很好，而且倘若我們運用圖形處理器 (GPU) 的能力，就可以在不使用影像播放器的情況下即時產出^{註 3}。VESA 根據亮度選擇了把平均圖像等級 (APL) 維持在 10%，但把單一測試方塊 2% 的亮度分散至其它的背景區域，詳見圖 2。

圖 2 上：DisplayHDR 10% 的測試方塊 (2018)，顯示提示已開啓；下：全新 8% 的測試方塊與 10% 的 APL 負載。



VESA 同時制定公平且簡單測量小型顯示器的方法。以 DisplayHDR 相容測試規格測量亮度時，VESA 並未針對筆電的平板大幅縮小測試方塊的面積；請見圖 3。

圖 3: 棋盤式圖型 (按比例) 公平地設定螢幕尺寸; 對角線大於 20 吋的顯示器則使用 DisplayHDR CTS 的 6x4 圖型設計



Adaptive-Sync Display V1.1a 版本

VESA 在 2022 年 5 月導入原始 V1.0 版的 Adaptive-Sync Display 規格，並以開放標準架構的方式為搭載可變更新率功能的顯示器，除去相關的混淆情況。此規格特別專注在改善灰階 (G2G) 的時序量測，以及排除過度驅動、顯示器閃爍、幀數下降，並把播放電影時可見的畫面抖動情況降至最低。

VESA 利用標章化的認證計劃推出了 Adaptive-Sync Display 規格，並公開發表相容測試規格與效能準則。關鍵的準則如表 1。

市面上許多聲稱具有 1 毫秒 G2G 的顯示器並未符合 VESA 的規範。其中一個原因可能是 VESA 並未挑選其作為測試，或者是最簡易的漸變可以是 1 毫秒。此一 G2G 測試反而把

表 1: Adaptive-Sync Display 相容測試規格的關鍵準則

VRR 範圍，最大值	≥ 144 赫茲
VRR 範圍，最小值	≤ 60 赫茲
過度驅動，最大值	見圖表 3 與 4
9x9 的 G2G 平均值	≤ 5 毫秒
JEITA 閃爍，最大值	-50 dB (JEITA)
幀到幀抖動	±0.5 毫秒

許多漸變的量測值平均加總起來，而這個平均值必須小於 5 毫秒。儘管總計有超過 65,000 種的可能漸變，此 G2G 測試矩陣 (圖 3) 與 ICDM 的一個推薦值彼此匹配，並且與產品評測者使用的數值類似。VESA 會員研議並進行廣泛的主觀與客觀產品測試後，最後產出了 5 毫秒的測試限制。

另一個原因可能是 G2G 在使用過度驅動後，效能可能會大幅提升，G2G 反應時間最多可以縮短 80%，等於是提升了 5 倍。不過，這種提升的代價是出現會破壞影像品質的可見假影。經過多次分析後，VESA 最後決定相容測試規格 1.0 版本只允許 20% 的過衝與 15% 的下衝。

第三個關鍵因素則是測試時的溫度。VESA 發現在許多情況下，平板顯示器的溫度若出現華氏 10 度的變化，可能讓 G2G 的反應時間減半，但如果開啓過度驅動，過衝與下衝的情況都會增加。因此，VESA 針對周遭溫度定義出一個極為緊湊的範圍，並要求必須進行整整一個小時的暖機，以確保測試開始時產品已達成熱平衡。

VESA 原本選擇使用 Adaptive-Sync Display v1.0 版本的 5x5 G2G 矩陣，以測試 20 種漸變情況 (圖 4)。v1.0 版本發表一年後，VESA 根據評測者的回饋並找出之前相容測試規格 (圖 5) 的缺點，推出了 v1.1 的更新版，把測試矩陣擴大為 64 個測試的 9x9 修正版測試矩陣。VESA 並未對以 31 碼值結尾的結果進行測試，原因是感測器在亮度水平低於 2 cd/m² 的情況下，要精準測量過衝與下衝極為困難。儘管如此，更新版的測試矩陣與 v1.0 版本相比，測試的涵蓋範圍大上三倍以上。有了 v1.1 的更新版，VESA 把過衝/下衝容差表切換成 Delta-PQ 模型，不但捨棄線性百分率計算使用

圖 4: Adaptive-Sync Display 過度驅動限制 (v1.0 版)

	0	31	63	95	127	159	191	223	255
0			20%		20%		20%		20%
31									
63					20%		20%		20%
95									
127			15%				20%		20%
159									
191			15%		15%				20%
223									
255			15%		15%		15%		

圖 5: Adaptive-Sync Display PQ 架構的限制 (v1.1 版)

To/End		0	31	63	95	127	159	191	223	255
From/Start	0			18	18	18	18	18	18	15
	31			15	15	18	18	18	18	10
	63				13	15	15	15	18	10
	95			20		10	15	15	15	10
	127			20	20		10	10	10	10
	159			20	20	15		8	10	10
	191			30	20	20	13		8	10
	223			30	20	20	20	12		5
	255			30	30	20	20	10	10	

PQ EOTF^{註4} 並將人類的感知納入考量，更針對 64 個測試案例個別考量，並訂出平均比 1.0 版本更嚴格的 v1.1 版目標。

針對會員提供的新功能，VESA 致力於更新其 FOS 測試套件。最新的 v1.1a 更新版更讓會員們可以加入超頻的功能；例如，一款顯示器只要達到 VESA 標準的開箱即用相容規格，即可根據標章計劃標示其運作頻率為 280 赫茲，而非 240 赫茲。其次，對於以最適合的組態接受 Adaptive-Sync Display 效能測試的顯示器，VESA 仍會考量到容許值，即使該顯示器

可能需要處於開箱即用的省電模式下。

七年磨一劍：DisplayHDR 1.2

VESA 有關 DisplayHDR 相容測試規格的目標，就是為顯示器開發出一個完全開放且公用的 HDR 標準。它優先考量到個人電腦產業，並瞭解個人電腦的使用常產生靜態的內容，甚至可能長時間顯示非常亮的靜態內容，且超出一般認為典型的影像內容播放亮度。不過，VESA 以儘量開放的方式打造 DisplayHDR，並且不會不必要地排除任何外型與螢幕尺寸。個

表 2: DisplayHDR v1.0 版準則 (2019 年 1 月)

DisplayHDR v1.0 Criteria		Classic					TRUE BLACK			Units
		400	500	600	1000	1400	400	500	600	
MINIMUM LUMINANCE LEVEL										
10% Center Patch Test Luminance	Min	400	x	600	1000	x	400	500	600	cd/m2
Full-screen Flash Test Luminance	Min	400	x	600	1000	x	250	300	350	cd/m2
Full-screen Long-time Test Luminance	Min	320	x	350	600	x	250	300	350	cd/m2
BLACK LEVEL										
Dual Corner Box Test Luminance	Max	0.4		0.1	0.05	x		0.0005		cd/m2
TUNNEL TEST ACTIVE DIMMING										
Tunnel test	Min	0.1	x	0.1	0.1	x		N/A		cd/m2
COLOR GAMUT AND MINIMUM LUMINANCE SPECIFICATIONS										
ITU-R BT.709 Coverage for Both 10% and Full-screen	Min	95%		99%		x		99%		coverage
DCI-P3 (D65) Coverage for Both 10% and Full-screen	Min	N/A		90%		x		90%		coverage
Additive RGB Color Luminance @10% (Lr + Lg + Lb)	Min	400	x	600	1000	x	400	500	600	cd/m2
Additive RGB Color Luminance @ 100% (Lr + Lg + Lb)	Min	320	x	350	600	x	250	300	350	cd/m2
MINIMUM BIT-DEPTH SPECIFICATIONS										
10-bit Video Signal, per Channel		✓	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	Y/N
Minimum Driver-IC Bit Depth (+2b Dithering)	Min	8b		8b+2		x		8b+2		bits
Minimum 8-bit Digital-to-analog Conversion		✓	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	Y/N
Backlight Control 8-bit Accuracy		✓	x	✓	✓	x		N/A		Y/N
DISPLAYHDR RISE-TIME SPECIFICATIONS										
Rise from Black to Max, Luminance	Max			8		x		2		frames

人電腦業以外，DisplayHDR 除了為最大達到 65 吋的電視螢幕提供認證，還獲得汽車界與大型戶外顯示看板商家的青睞。

有機發光二極體顯示器 (OLED) 2018 年開始在筆電市場獲得更大規模的採用。OLED 的顯示特性與 LCD 不同，但同樣適合 HDR 標準。因此為了支援 OLED 顯示器的測量，VESA 開發出 DisplayHDR True Black 400 與 500 標準。關於 True Black 準則，請參考表 2 (最右欄目)。

隨後在 2019 年，VESA 為 DisplayHDR 推出重大更新版本 (v1.1)，內容包括量測的改變以及針對 DisplayHDR (1400) 與 True Black(600) 更高的全新效能層級。DisplayHDR v1.1 版本最重要的是讓測試準則變得更加嚴密，讓它專注在顯示器於 HDR 模式下連接 Windows 時的表現。在 v1.1 版中，顯示器 EDID 或 DisplayID 中填入元數據值必須準確，原因是導致終端使用者效能不佳的不準確元數據，會反映在測

試結果上。DisplayHDR v1.1 增加了新的測試，以鼓勵並促使顯示器代工廠商提升他們 HDR 顯示器的主動調光範圍，以顯示更深邃的黑階。

表 3: DisplayHDR v1.2 版與先前版本的比較

DisplayHDR CTS	v1.0 與 v1.1 版	v1.2 版
峰值亮度與色域	黑色背景上的 10% 區塊	帶有 2% 星空背景的 8% 區塊
最小位元度	8 位元	8+2 FRC
只有 DisplayHDR 400	8+2 FRC	8+2 FRC
所有其它		
DCI-P3 色度	無法使用	90%
只有 DisplayHDR 400	90%	95%
所有其它		
BT.709 色度	95%	99%
DisplayHDR 400	99%	99%
所有其它		
WP 準確性	只有 v1.1 版	準確性提升
Xrite 色標	不適用	已測試
靜態對比	不適用	已測試
暗部細節丟失	不適用	已測試
字幕閃爍	不適用	已測試
SDR vs HDR 黑階	不適用	已測試

表 4: DisplayHDR v1.2 版本準則 (2024 年第 2 季)

DisplayHDR v1.0 Criteria		Min/Max	CLASSIC					TRUE BLACK			Units
			400	500	600	1000	1400	400	500	600	
MINIMUM LUMINANCE LEVEL											
New 1.2	8% Center Patch Test Luminance with 2% APL background	Min	400	500	600	1000	1400	400	500	600	cd/m ²
	Full-screen Flash Test Luminance	Min	400	500	600	1000	1400	250	300	350	cd/m ²
	Full-screen Long-time Test Luminance	Min	320	320	350	600	900	250	300	350	cd/m ²
BLACK LEVEL											
	Dual Corner Box Test Luminance	Max	0.4	0.1	0.05	0.02		0.0005			cd/m ²
ACTIVE DIMMING/CHECKERBOARD TEST											
	Active Dimming – Ratio of maximum white to black @ 50cd/m ²	Min	11	11.6	12	13	13.5		N/A		stops
	Active Dimming – Ratio of maximum white to black @ 5cd/m ²	Min	12	12.6	13	14	14.5		N/A		stops
	Checkerboard – Max Black Level Luminance	Min			N/A			0.0005			cd/m ²
COLOR GAMUT AND ADDITIVE MINIMUM LUMINANCE SPECIFICATIONS											
New 1.2	ITU-R BT.709 Coverage for Both 10% and Full-screen	Min	99%				99%				coverage
New 1.2	DCI-P3 (D65) Coverage for Both 10% and Full-screen	Min	90%				95%				coverage
	Additive RGB Color Luminance @10% (Lr + Lg + Lb)	Min	400	500	600	1000	1400	400	500	600	cd/m ²
	Additive RGB Color Luminance @ 100% (Lr + Lg + Lb)	Min	320	320	350	600	x	250	300	350	cd/m ²
MINIMUM BIT-DEPTH SPECIFICATIONS											
	10-bit Video Signal, per Channel		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Y/N
New 1.2	Minimum Driver-IC Bit Depth (+2b Dithering)	Min					8b+2				bits
	Minimum 8-bit Digital-to-analog Conversion		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Y/N
	Backlight Control 8-bit Accuracy		✓	✓	✓	✓	✓		N/A		Y/N
DISPLAYHDR RISE-TIME SPECIFICATIONS											
	Rise from Black to Max, Luminance	Max			8				2		frames
LUMINANCE AND WHITE POINT ACCURACY											
New 1.2	ΔITP error for tests at 1 and 5 cd/m ²	Max					20				ΔITP
	ΔITP error for tests at 15 cd/m ²	Max					15				ΔITP
	ΔITP error for tested luminances at 50 and above cd/m ²	Max					10				ΔITP
STATIC CONTRAST RATIO											
	1D backlights	Min	1300:1	7000:1	8000:1		N/A		N/A		ratio
	2D backlights	Min		N/A		30,000:1	50,000:1		N/A		ratio
XRITE® COLOR TEST PATCHES											
	ΔTP color error test at 50, 100 and 50% of tier	Max		8			6		8		ΔTP
HDR VS SDR BLACK LEVEL											
		Max					CR _{HDR} > 0.9 x CR _{SDR}				
BLACK CRUSH											
	Display luminance increasing, 0, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5 cd/m ²	Min									Measure and view monotonically increasing luminance cd/m ²
SUBTITLE FLICKER											
	Luminance of patch when subtitle is ON vs OFF	Max		13%			10%		10%		Diff

除了仰賴 EDID/ DisplayID 準確性的全新色彩測量模型，v1.1 版同時也新增白點與亮度準確性測試，以確保顯示器能以正確的 6500K 白點色溫，正確追循 PQ 曲線。

最後在 2024 年 5 月，VESA 發表了 DisplayHDR v1.2 版規格。表 3 總結它與較早版本在規格上的改變之處，比較後可發現目標效能水準顯著變得更加嚴謹。

最後得出的 DisplayHDR v1.2 版本的相容設定請見表 4，其中包括上列的各項升級部份。比較後可以發現目標的效能水準都變得更加嚴謹，其目的是為了提升消費者對桌上型電腦與筆電裝置 HDR 的滿意度。

結論

個人電腦顯示器市場近年來快速演進，而 DisplayHDR 相容測試規格從 2018 年起，持續推進此一演進，並以提升消費者對 HDR 產品的信心為優先要務。在這個成功的基礎上，VESA 發表了兩套額外的螢幕前品質標章計劃：Adaptive-Sync Display 與 ClearMR。這兩項計劃儘管推出迄今只有兩年，但它們的成功在許多方面都是顯而易見的。首先，B2B 的裝置供應商處於 OEM 代工廠商旁，為規格做出了積極的貢獻。此外，這兩項計劃與 DisplayHDR 標章計劃的前兩年相比，通過認證的顯示器款式數量都更多。這不但證明兩項計劃極為成功，

同時也證明 DisplayHDR 相容測試規格與標章計劃確實奠定了成功的基礎與成長的動能。

VESA 接下來將持續針對各種技術在各個市場提升 DisplayHDR 的普遍性，並從 IT 市場開始朝汽車業等其它市場發展。針對所有的螢幕前標準，VESA 與受國際認可的 ICDM 及 IEC TC 110 顯示器量測專家協同合作。此外，VESA 根據業界的回饋持續精進各種標準，並將持續與會員合作，以便支援搭載全新顯示器技術與功能的消費新品的推出。

致謝

本文基於 SID Display Week 2024 會議上發表的一篇論文。作者感謝 VESA 顯示器效能測量專案小組對本文所討論的規格之啟發，同時感謝 VESA 委員會自 2017 年以來的支持。最後，感謝文案編輯、Open Sky Communications 的 David Moreno，為本文的定稿提供了仔細的審查和建議。

註 1 : <https://www.sid.org/Standards/ICDM>.

註 2 : IEC TC 110 Dashboard. https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:7:316501572927097:::FSP_ORG_ID:1313.

註 3 : T. Kunkel and F. Friedrich, "Utilizing advanced spatio-temporal backgrounds with dynamic test signals for high dynamic range display metrology". J. Soc Inf. Disp., 30, pp 423-432 (2022).

註 4 : SMPTE ST-2084:2014 – High Dynamic Range Electro-Optical Transfer Function of Mastering Reference Displays.

作者：



VESA 顯示器效能測量專案小組主席、英特爾顯示架構師及首席工程師 / Roland Wooster



三星電子加州聖荷西顯示實驗室資深首席研究員、VESA ClearMR 規格主要負責人 / Dale Stoltzka 

AMD 為 ADAS 系統及數位座艙推出車規級 FPGA 系列

在汽車感測器和數位座艙中，尺寸更小的晶片元件越來越盛行。根據市場研究機構 Yole Intelligence 的資料，先進駕駛輔助系統 (ADAS) 攝影機市場規模在 2023 年估計為 20 億美元，預計到 2029 年將增長至 27 億美元。

為了滿足這些市場需求，AMD 推出 AMD 車規級 XA 系列的最新成員：Artix UltraScale+ XA AU7P。這款成本最佳化的 FPGA 通過車規標準認證，並為 ADAS 感測器應用和車載資訊娛樂系統 (IVI) 進行最佳化。

全新 Artix UltraScale+ XA AU7P 採用 9x9 毫米封裝，是 AMD 16 奈米 FPGA 或自行調適 SoC 中最小的封裝。此款輕薄型元件非常適合攝影機視覺或車載顯示應用。採用晶片尺寸封裝，設計旨在提升 I/O 的路由／訊號密度，提高焊接接頭的可靠性和增強電氣效能。

Artix UltraScale+ 元件是安全且高度可擴展的 AMD 車規級 FPGA 和自行調適 SoC 產品組合中的最新系列，該產品組合還包括 AMD Spartan 7、Zynq 7000 和 Zynq UltraScale+ 產品系列。

客戶已將 Artix UltraScale+ AU7P FPGA 設計至其 ADAS 邊緣裝置中，例如熱成像和紅外線攝影機。汽車設計人員可以利用這些元件進行邊緣感測器的資料採集和圖片／影片處理。此外，這些元件可以連接到車載顯示器，以增強資訊娛樂功能。

AMD Artix UltraScale+ XA AU7P FPGA 以 AMD 汽車產品組合中最小的尺寸規格提供高訊號運算密度和最佳化的 I/O。Artix UltraScale+ 元件助力客戶憑藉 DSP 頻寬在成本敏感且低功耗的 ADAS 邊緣應用中最大化系統效能，包括網路、視覺和影片處理，以及實現安全連接的安全功能。

