



高解析實境顯示於智慧育樂
跨領域應用教學聯盟



高解析實境顯示基礎原理

Basic principles of high-resolution reality displays

莊智皓 助理研究員

陳建宇 教授

臺灣科技大學 色彩科技研究中心

臺灣科技大學 色彩與照明科技研究所



Chapter 11:智慧座艙的前瞻顯示



Outline

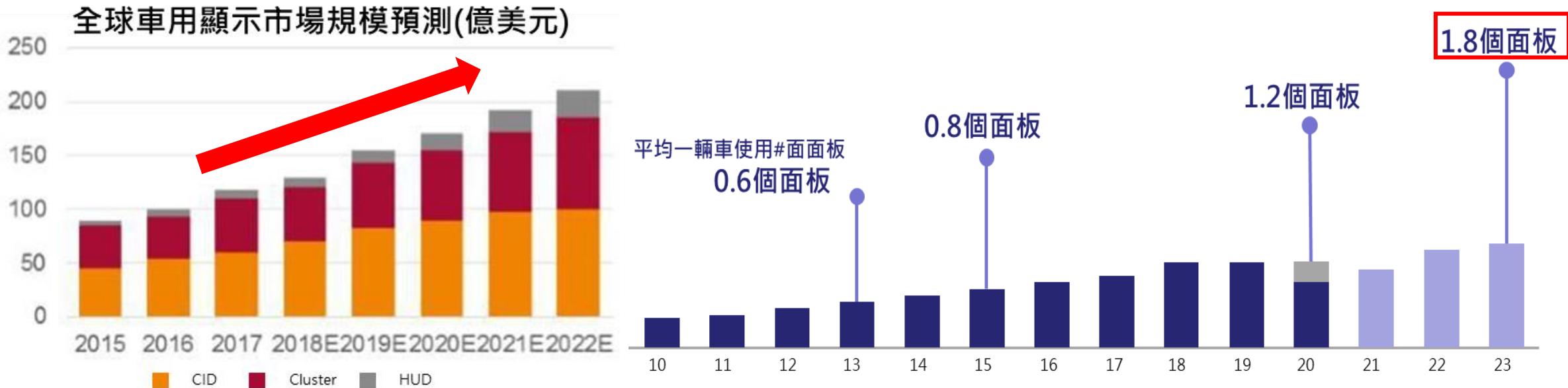
1. 智慧移動顯示發展趨勢
2. 智慧移動顯示方案
3. 座艙浮空投影顯示成果
4. 結語與未來展望



智慧移動顯示發展趨勢



智慧移動顯示發展趨勢(1/3)



→透過更先進顯示互動技術讓「面板產業」與「車電產業」共創雙贏!



智慧移動顯示發展趨勢(2/3)

直覺操控的智慧座艙時代來臨！

1. 駕駛人習慣：Foot off → Hand off → Minds off
2. 重新定義汽車：Automotive Interiors → The 3rd Living Space
3. 5G時代來臨：V2X(車聯網)

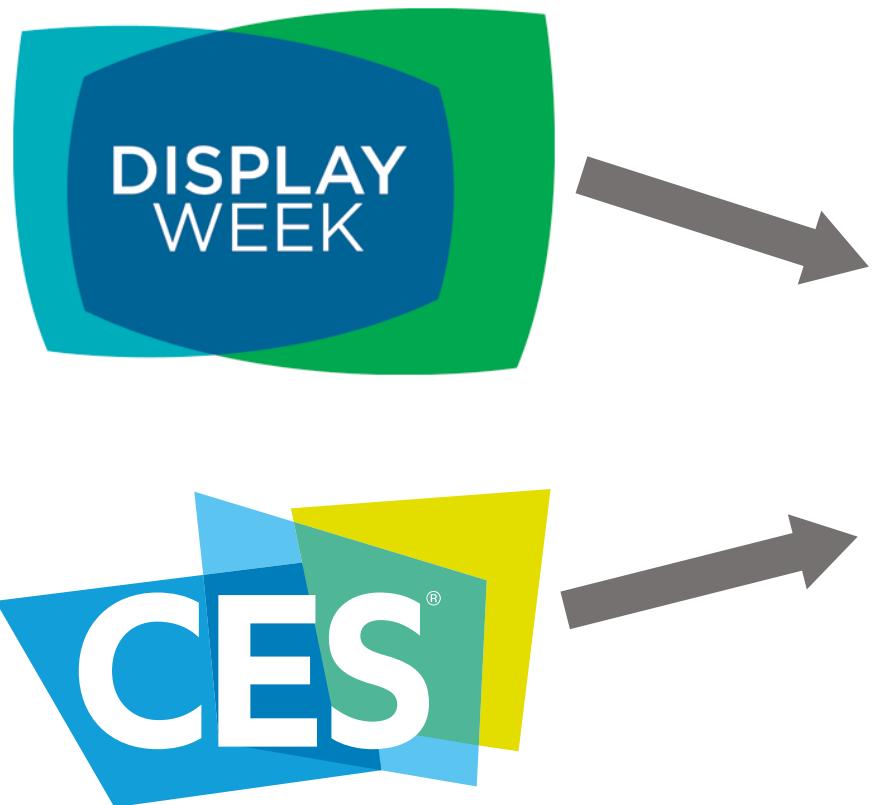
以上趨勢將帶動智慧移動對「顯示儀表」需求：

- a) 人機互動顯示：傳統實體按鈕 → 面板觸控 → 浮空按鈕互動
- b) 影音娛樂需求：高解析、大面積面板、Multi-display panels等
- c) 安全性輔助：電子後照鏡、數位A柱、AR-HUD等

以「前瞻顯示互動技術」帶動「智慧移動需求」發展新趨勢



智慧移動顯示發展趨勢(3/3)



市場趨勢一：安全性的提升

市場趨勢二：直覺操作及互動

市場趨勢三：娛樂及辦公需求



市場趨勢一：安全性提升(輔助駕駛)

智慧儀表



電子後照鏡



數位A柱



市場趨勢二：直覺操作及互動

人因中控台



3D投影結合手勢操作



車內3D顯示



市場趨勢三：娛樂及辦公需求

座艙內自成元宇宙



更多的面板需求



使用六螢幕顯示

大型曲面顯示&大型中控台

自駕車成移動客廳

自駕車成移動辦公室



智慧移動顯示方案



二、智慧座艙顯示互動應用開發-計畫團隊

依據行政院「智慧生活顯示科技與應用產業策略（SRB）會議」的策略方向
獲得科技部「前瞻智慧互動實境顯示科技」專案計畫支持

智慧座艙顯示互動介面開發與應用

共同主持人

總主持人
(臺科大)



陳建宇

電腦全像術/3D
顯示/人因研究

(臺大)



林晃巖

微光學, 繞射元件
設計/顯示技術

(陽明交大)



陳政寰

顯示光學系統/
光學系統設計

(陽明交大)



陳皇銘

光電元件與材料
/液晶元件

(臺師大)



鄭超仁

全像術/3D光學/
演算法

(臺科大)

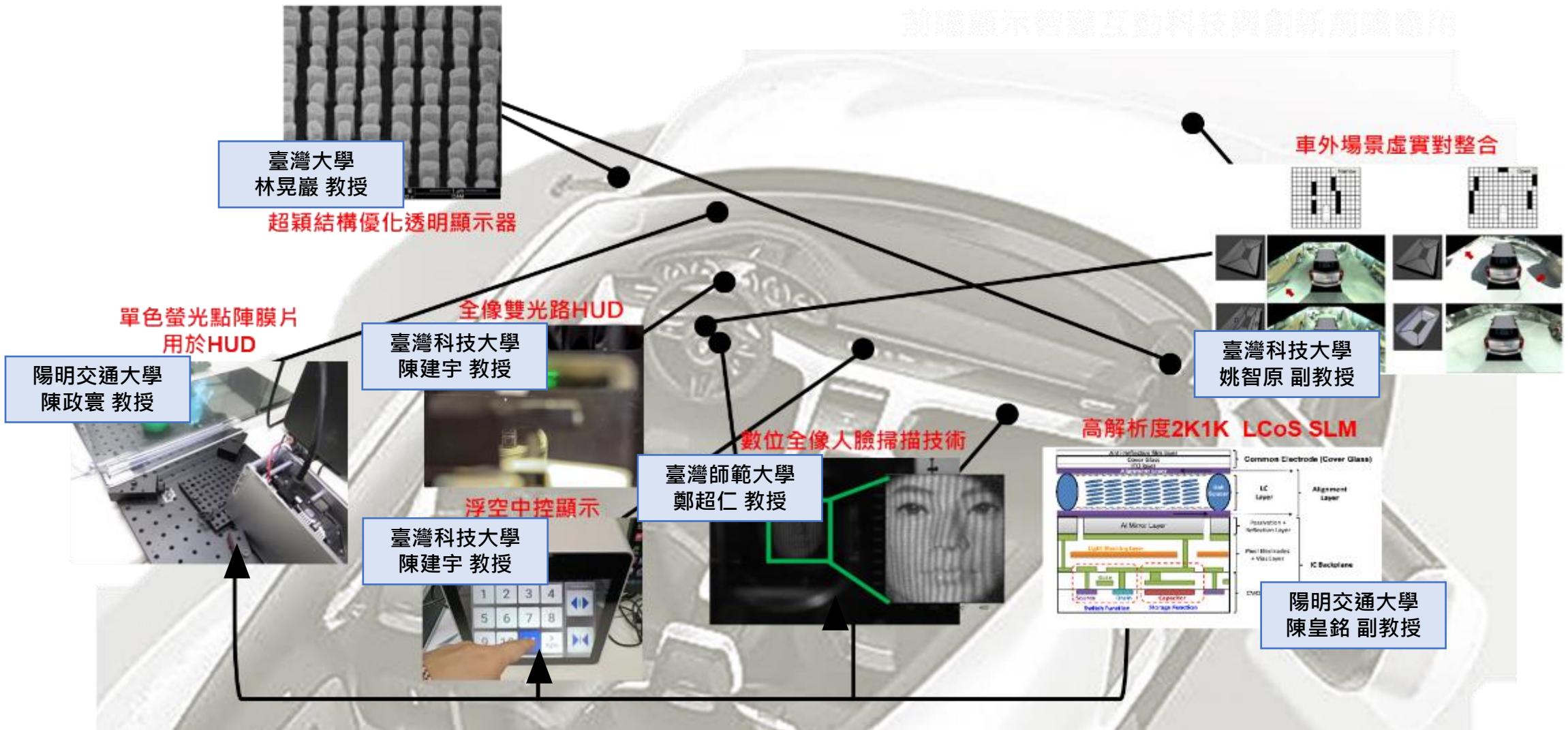


姚智原

電腦視覺/延展實
境/人機互動



二、智慧座艙顯示互動應用開發-技術內容

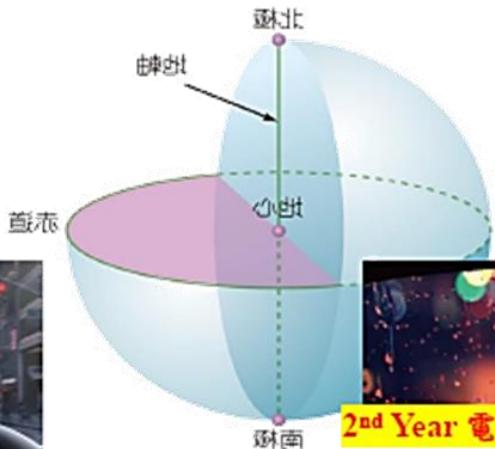
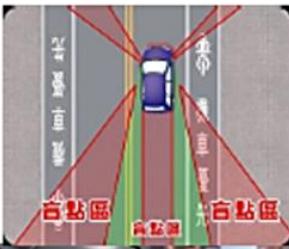


360度環景投影



360度車載環景顯示

- 與光學反射比較能減少車內人或物遮蔽；
- 達成非平面或簡單曲面貼合。



- 鏡像顯示；
- 直覺後照顯示。

- 直覺後視顯示；
- 減少風阻與天候影響。

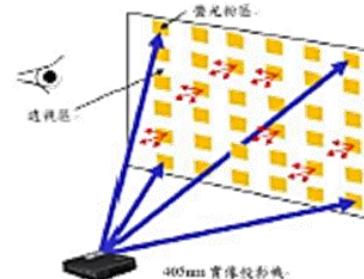
3rd Year 斜前方智慧A柱消除視線死角(模糊<10%)



4th Year 側邊電子後視鏡(左右後30度路況與行車資訊)

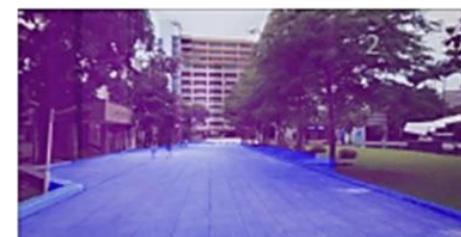


1st Year 智慧的抬頭顯示器(儀表與行車資訊)影像銳利化(模糊<10%)



- 提升抬頭顯示影像亮度；
- 提升影像銳利化。

360度環景的視野與簡潔俐落的外觀是符合未來智慧移動需求的；開車時視線視朝前的，是故，前方的180度是本計畫開發的重點，也是未來智慧移動的需求。



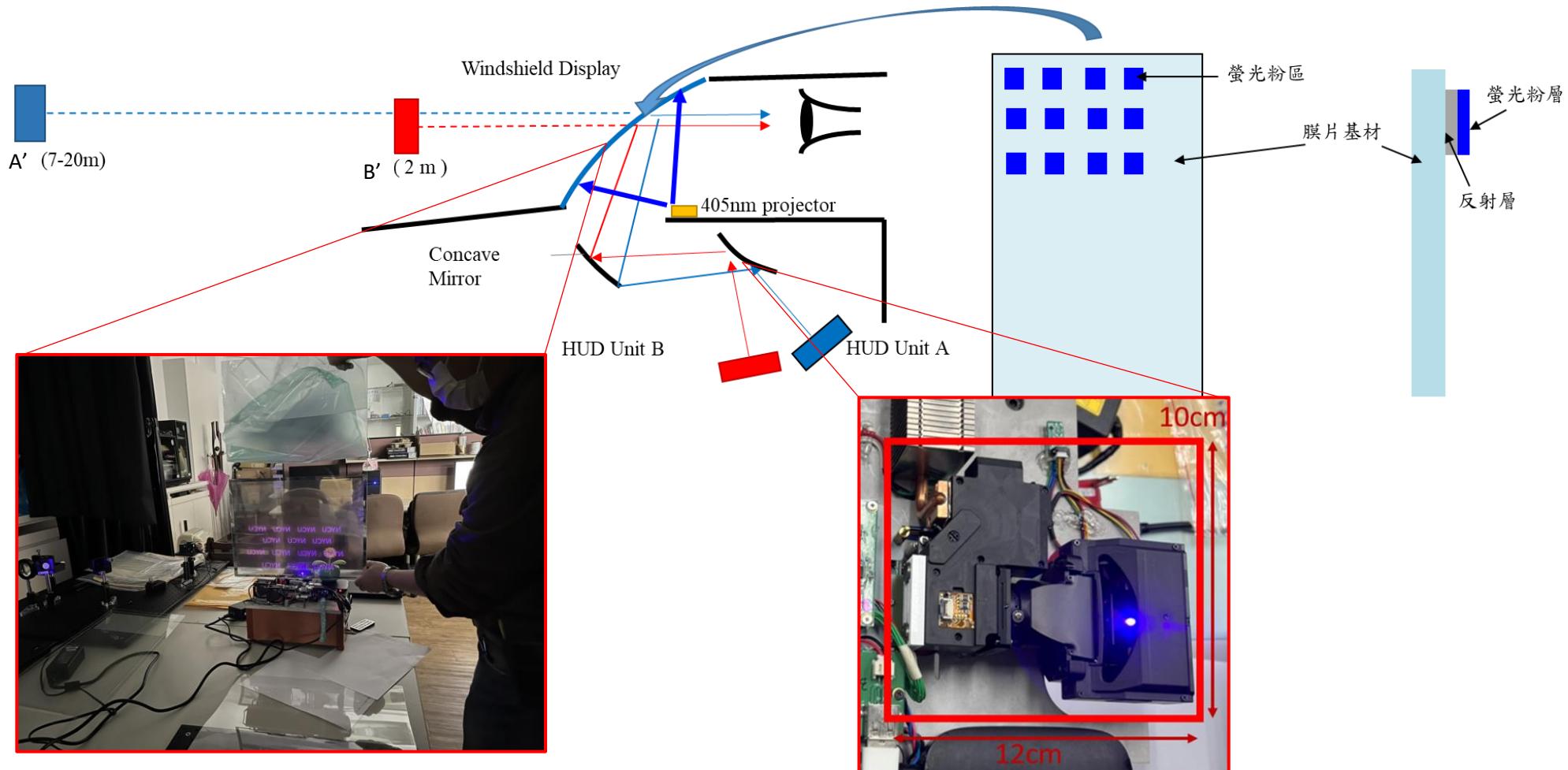
360度車載環景顯示光學

國立臺灣大學 林晃巖 教授

國立陽明交通大學 陳政寰 教授



廣視角 AR xW HUD 概念



360度車載環景顯示(Camera Mirror System)

電子後照鏡

- 車內空間受限
- 觀看上不夠直覺



Audi e-tron 全數位虛擬後視鏡

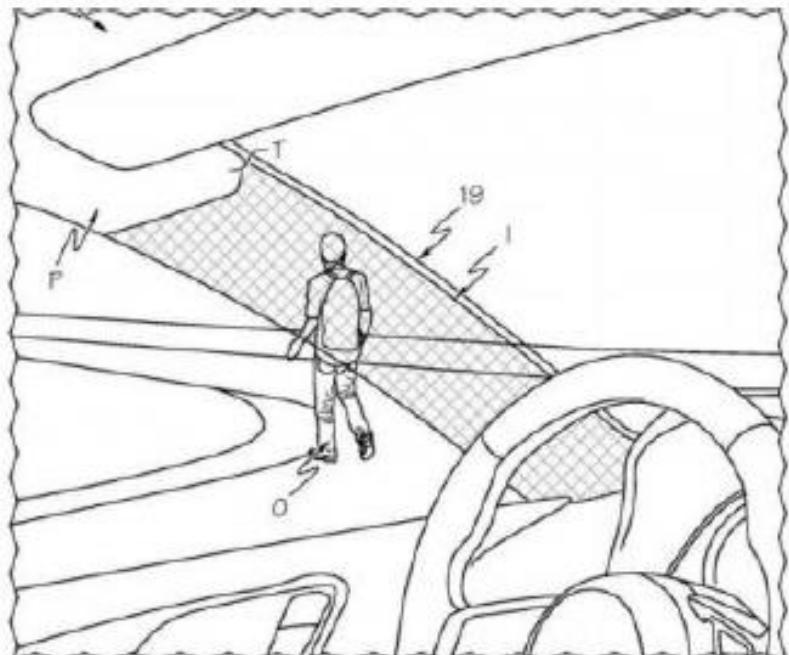


Lexus ES搭載「虛擬後視鏡」

360度車載環景顯示(智慧A柱)

- 消除駕駛視覺死角

Toyota 公司申請的專利 (字號US20170227781A1)



360度車載環景顯示(智慧A柱)

- 消除駕駛視覺死角

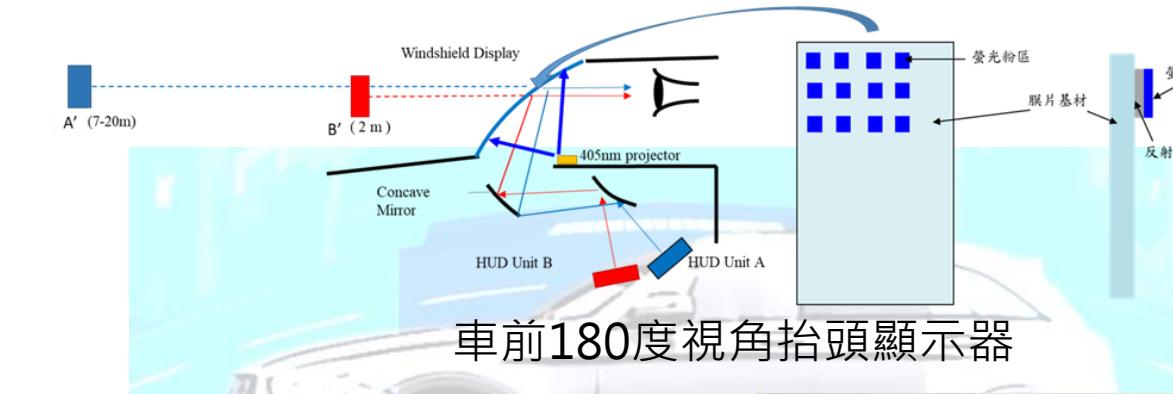
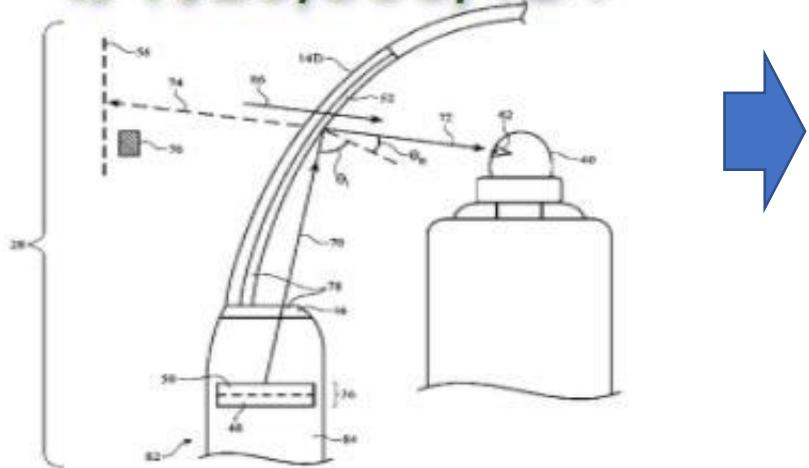
上海國際汽車工業展覽會上，「合眾」U 正式亮相



360度車載環景顯示(Mirrorless design)

- 以高效率透明顯示器技術，將 ABC 柱與可撓式顯示器結合。
- 並將所開發之繞射抑制技術與全彩螢光點陣膜片的優化。
- 將車外虛實整合資訊，藉由HUD系統與電子後照鏡、後視鏡、ABC柱隱形顯示器結合，實現360 度視野。

Apple車用抬頭顯示
專利10,866,414



車前180度視角抬頭顯示器



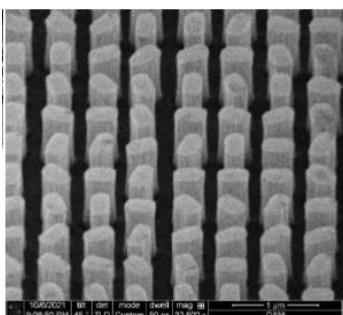
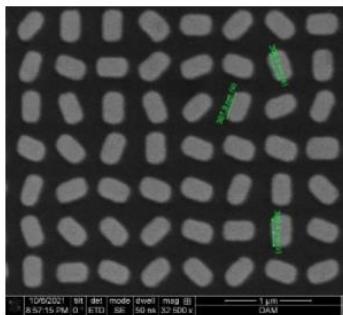
車後120度視角電子後照鏡



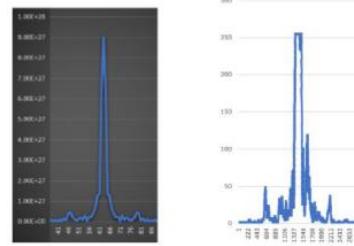
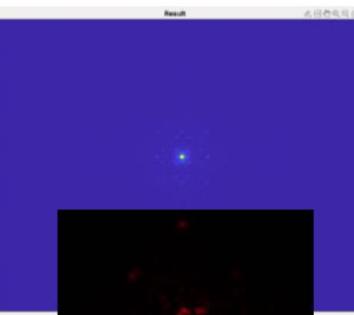
360度車載環景顯示

繞射抑制技術成果

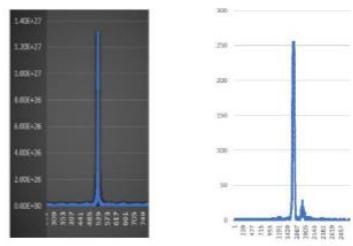
- 使用超穎材料實現影像品質Sharpness (line edge)：提昇20%。
- Spatial frequency response(SFR: 50%)：提昇66%。



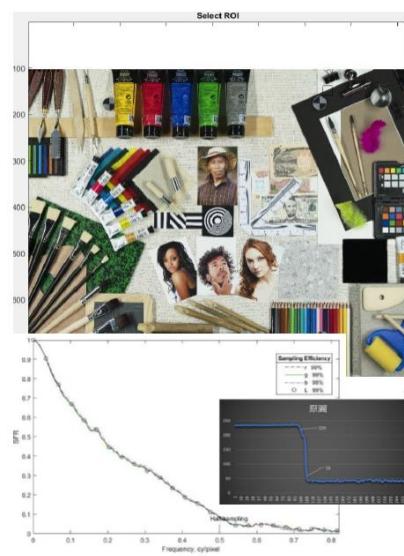
材料結構



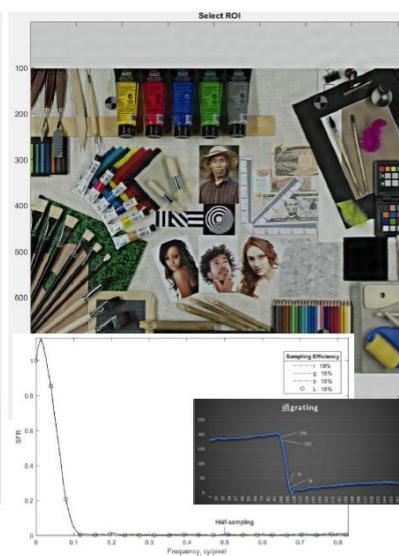
使用前



使用後



SFR測試圖
原始狀態



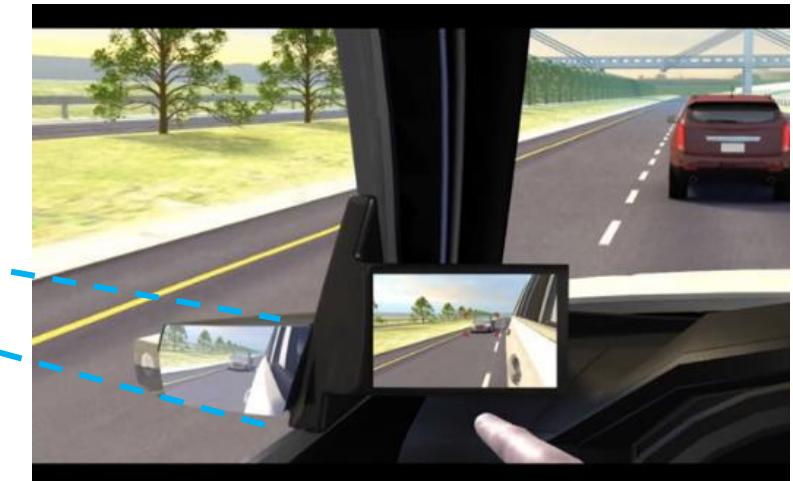
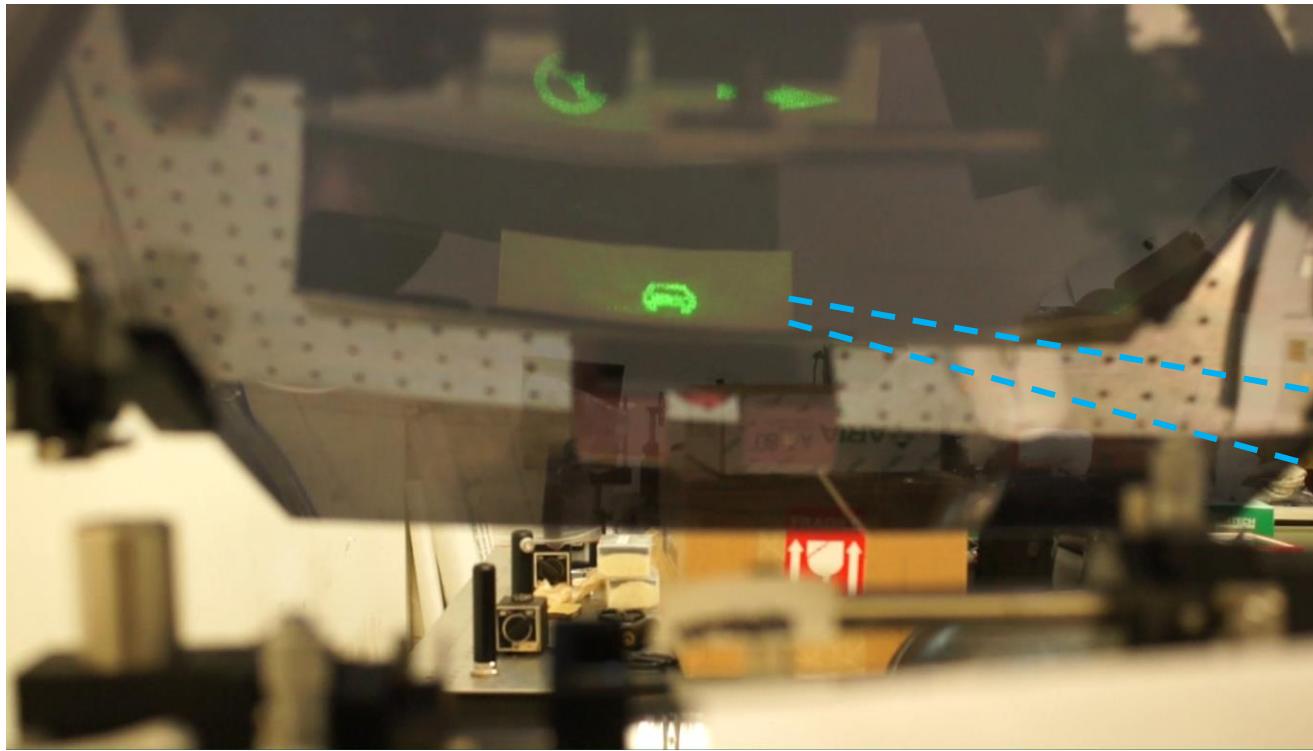
SFR測試圖
經過透明顯示結構
+ 超穎材料結構



SFR測試圖
經過透明顯示結構
+ 超穎材料結構

360度車載環景顯示

- 浮空顯示於電子後視 / 後照鏡應用



車外場景虛實整合技術

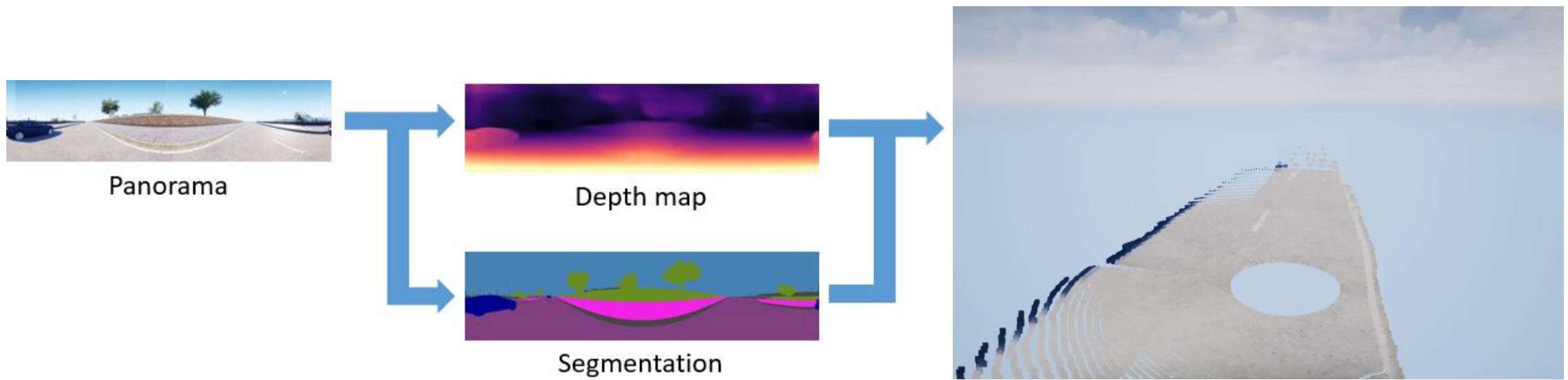
國立臺灣科技大學

姚智原 副教授



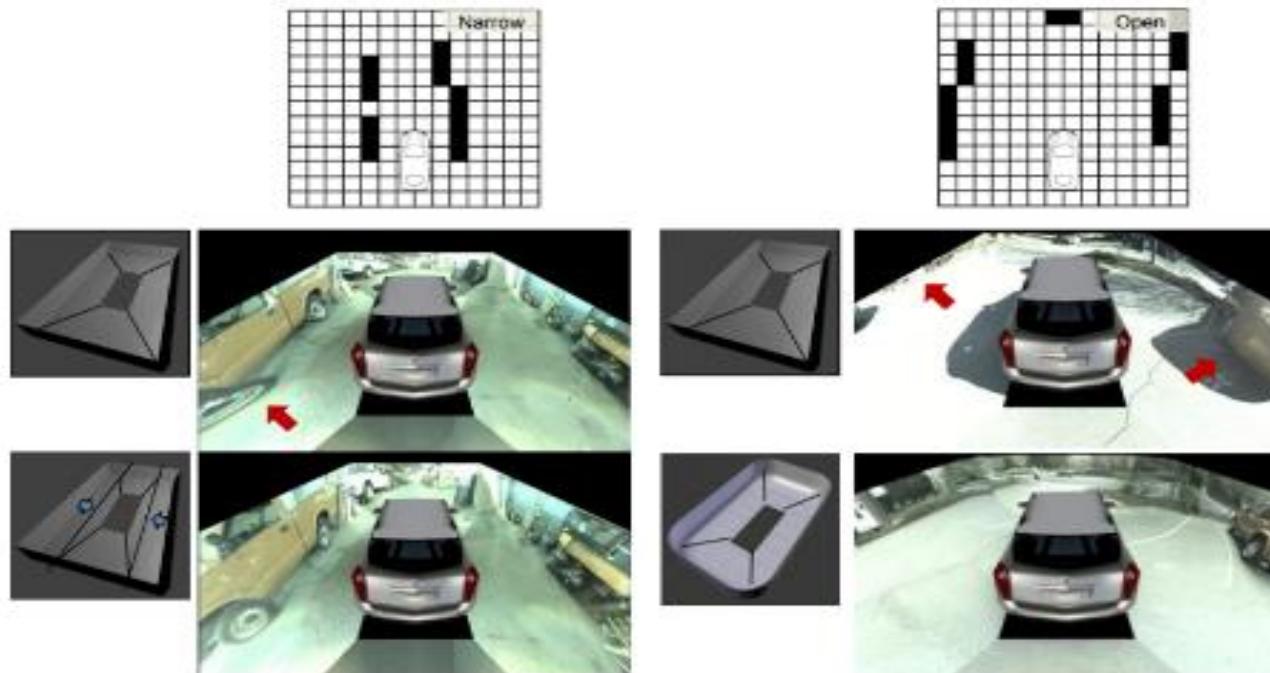
車外場景虛實整合技術(RGB影像結合深度資訊)

利用機器學習從360全景圖中預測深度獲取周圍3D環境資訊並進行3D重建



車外場景虛實整合技術(環景資訊與虛擬車輛整合)

依周圍狀況將空間拆分成水平與垂直的物件進行渲染



Panorama



Projective Texture



車外場景虛實整合技術(實際產出的結果)



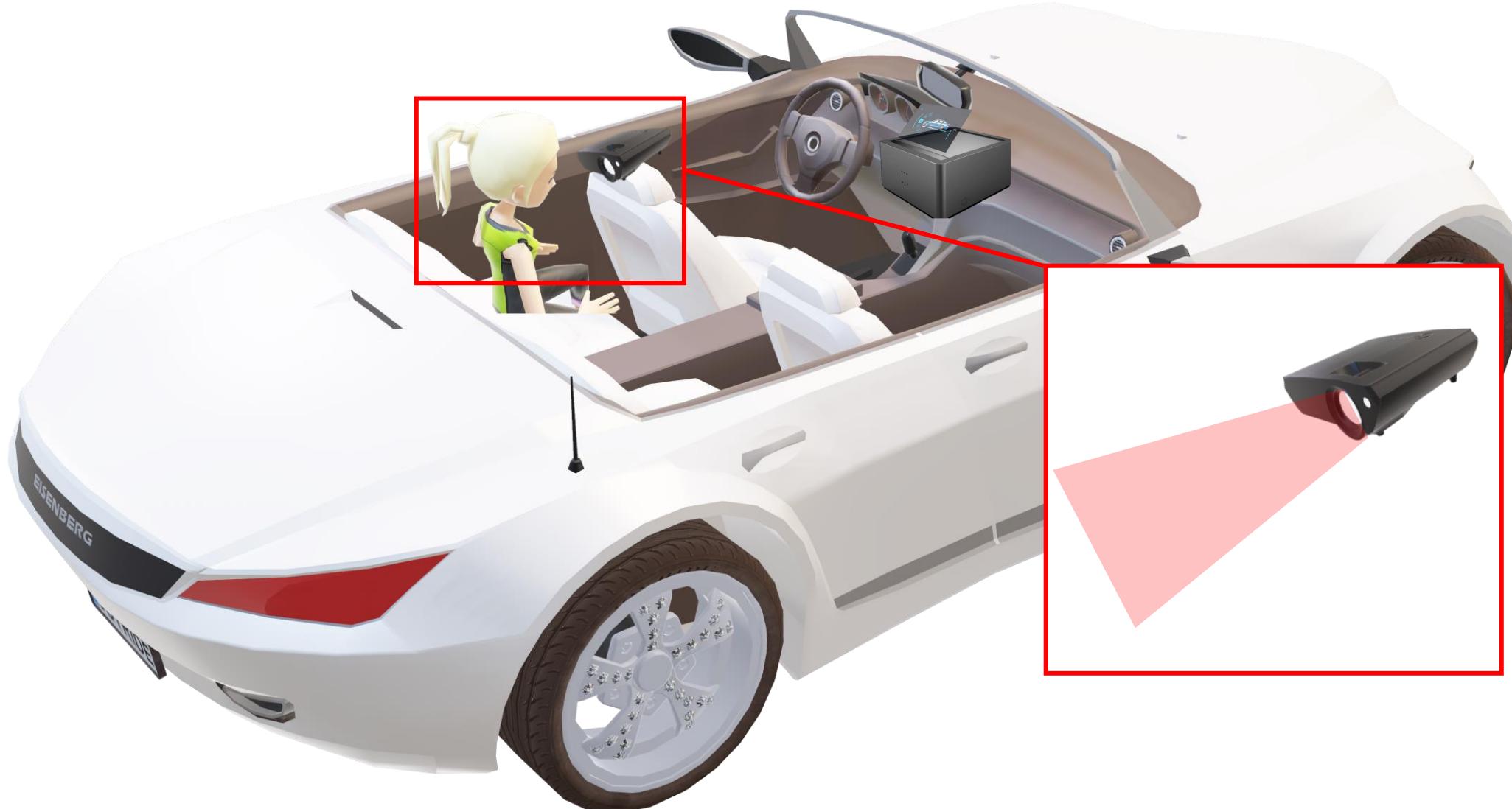
座艙3D浮空影像重建



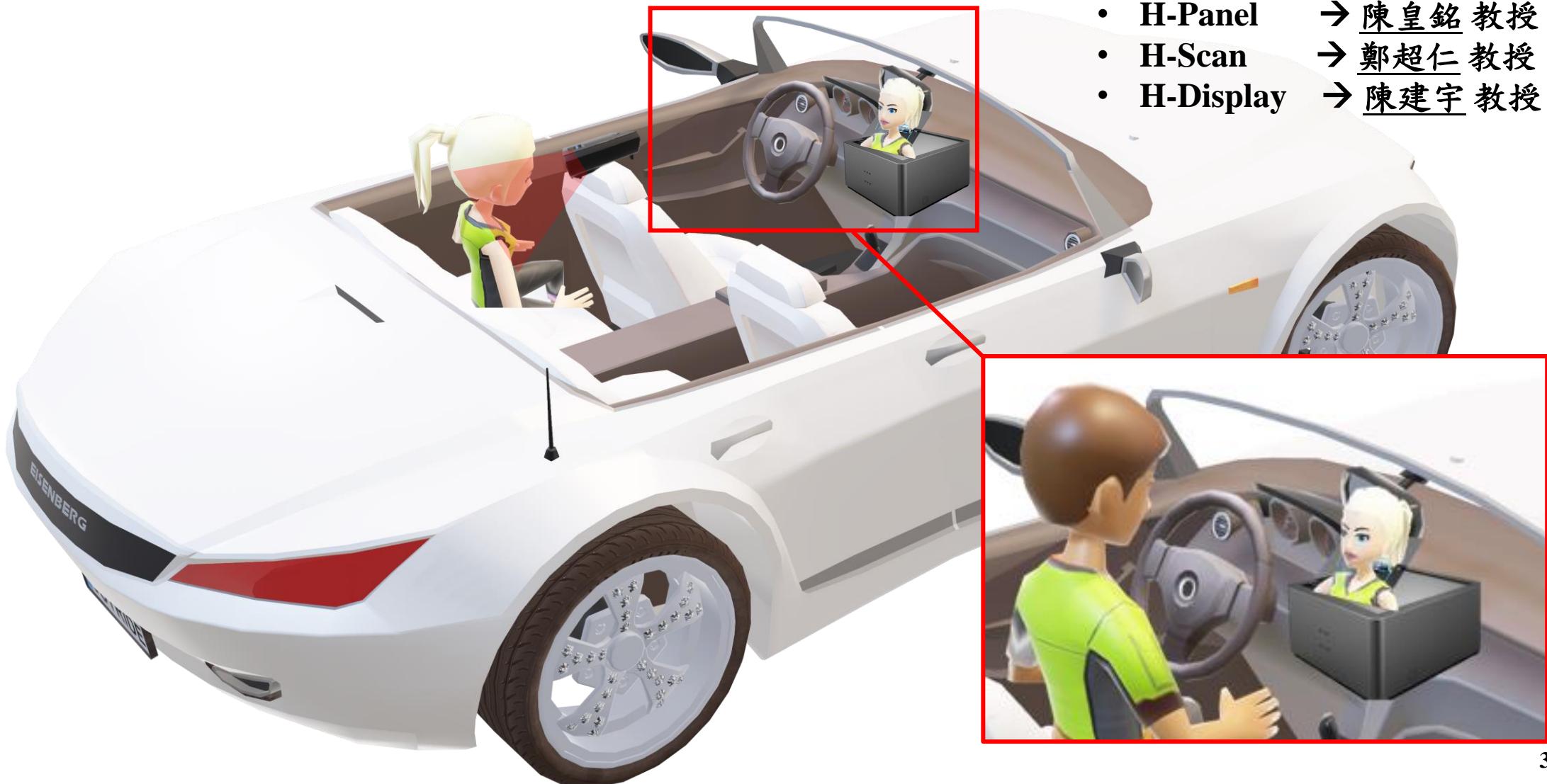
智慧H座艙



智慧H座艙



智慧H座艙



超高解析度面板式顯示關鍵技術

國立陽明交通大學

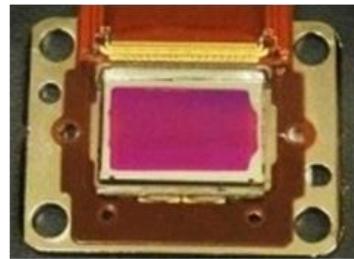
陳皇銘 副教授



超高解析度面板式顯示關鍵技術

High Uniformity 2k1k NCTU-LCoS SLM

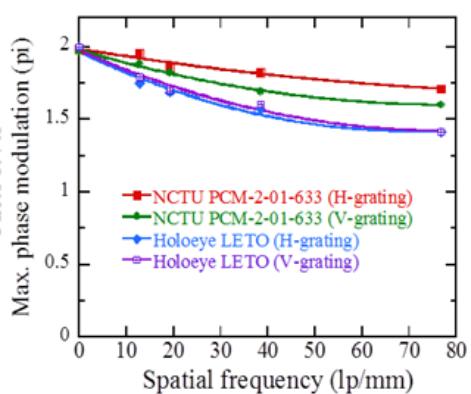
Cut-Die parameter	
Pixel pitch (μm)	6.4
Number of pixel array	1920 x 1080
Array size (mm^2)	12.5 x 7.1
Uniformity error in AA < 1.5%	



*Photo taken under polarizer

達4000PPI

(2). Pixel-level Phase Accuracy Error %



相位調製正確率高

Pixel-level APA error%	H-Grating Ave.	V-Grating Ave.	SF = 76.0 lp/mm
			H, V-grating Ave.
NCTU PCM-2-01-633	4.32 %	6.57 %	9.33 %
Holoeye LETO (2014 v2.0.1)	7.15 %	6.58 %	11.71 %

(1). LC Response Time 響應時間:3.37ms

LCoS-SLM	Cell Gap (μm)	Phase Shift 10% - 90%		RT (ms)	Temp. (oC)	Volt. (V)
		LC-Rising Time (ms)	LC-Falling Time (ms)			
NCTU PCM-2-01-633	1.76	0.87	2.50	3.37	35 ~ 38 °C	Vw = 6.00 Vb = 1.00
NCTU PCM-2-01-800	2.54	2.43	5.58	8.01	35 ~ 38 °C	Vw = 3.68 Vb = 1.30
Holoeye LETO (2014 v2.0.1)	~ 2.40	5.20	12.8	18.0	35 ~ 38 °C	Vw = 0.45 Vb = 1.55
		2.0	13.0	15.0	User Manual	High $\Delta V_{2\pi}$
Holoeye LETO (2017 v4.3)	User Manual	10.0	17.0	27.0		Min. $\Delta V_{2\pi}$
		~ 3.0	~ 17.0	~ 20.0		Max. ΔV

(3). Holographic Display (Zero-order R%)

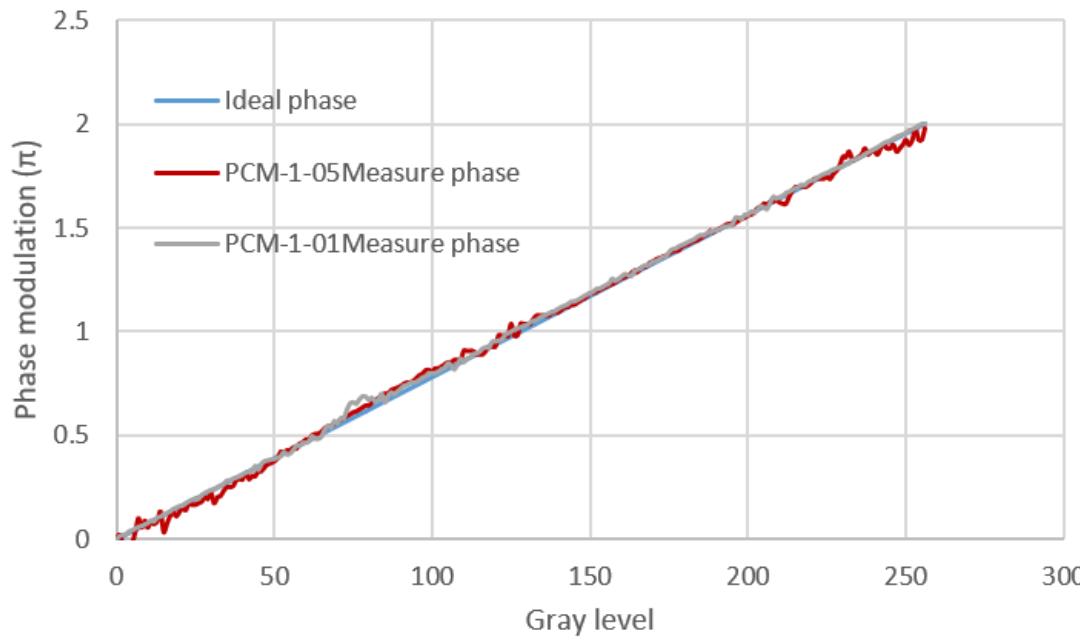
Zero-Order Test Reflectance %	Input GL-0 Frame (Al Mirror = 100 %)	Input CGH Frame (Al Mirror = 100 %)	Input CGH Frame (GL-0 Frame = 100 %)
NCTU PCM-2-01-633	81.6 %	6.7 %	8.21 %
Holoeye LETO (2014 v2.0.1)	70.36 %	7.47 %	10.62 %

- 未啟動時反射率極佳
- 啟動後零階光能量低，代表繞射效果更好



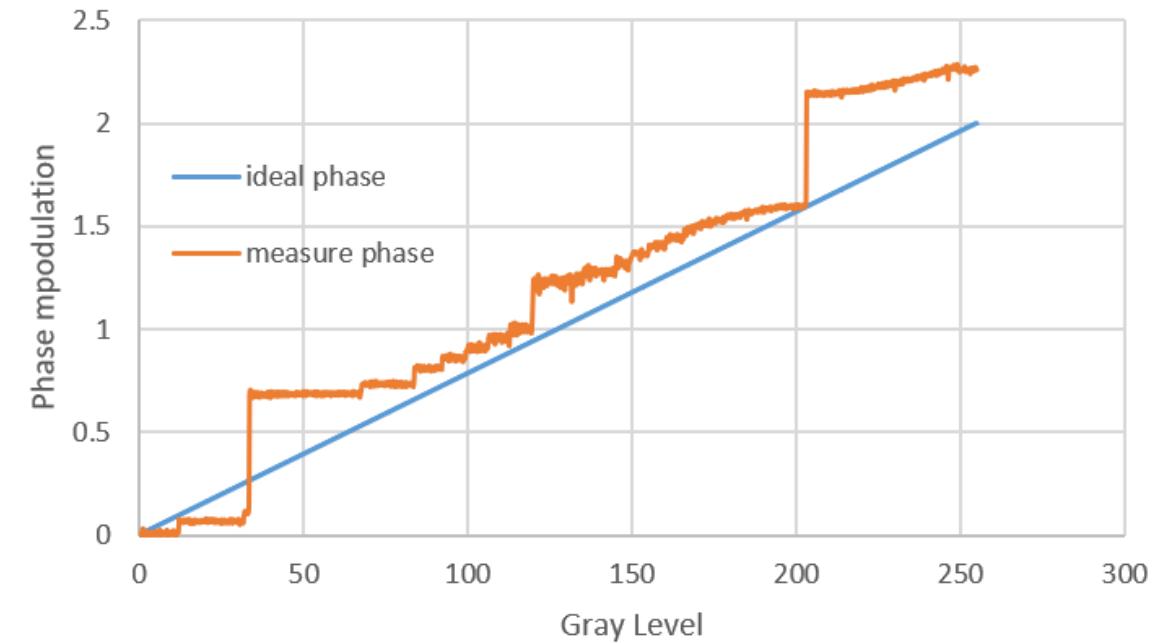
超高解析度面板式顯示關鍵技術

PCM-1-01 and PCM-1-05



10,000 USD

PCM-1-05



1000 USD

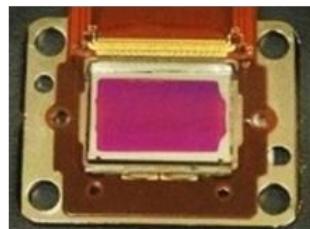


超高解析度面板式顯示關鍵技術

1. 面板製作建立完成，於(4000 PPI)2K1K的面板已可達到3 ms的響應時間，並可在 fresh rate 等於 120 Hz 下，進行 0-2 pi 全相位調變。
2. 已開始進行評估新液晶材料，預計製作 pixel pitch 1.6~1.8 μm 的 cell。

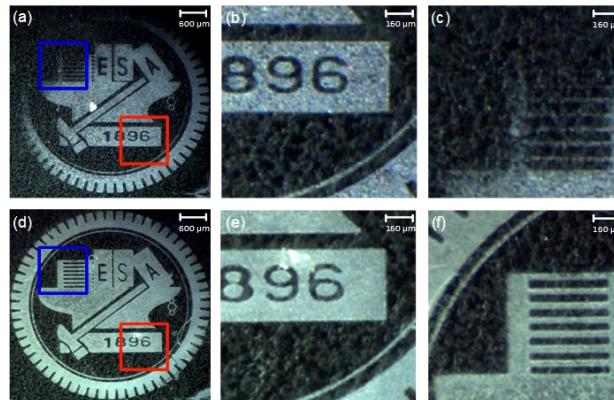
High Uniformity 2k1k NCTU-LCoS SLM for Phase Modulation Application

Cut-Die parameter	
Pixel pitch (μm)	6.4
Number of pixel array	1920 x 1080
Array size (mm ²)	12.5 x 7.1

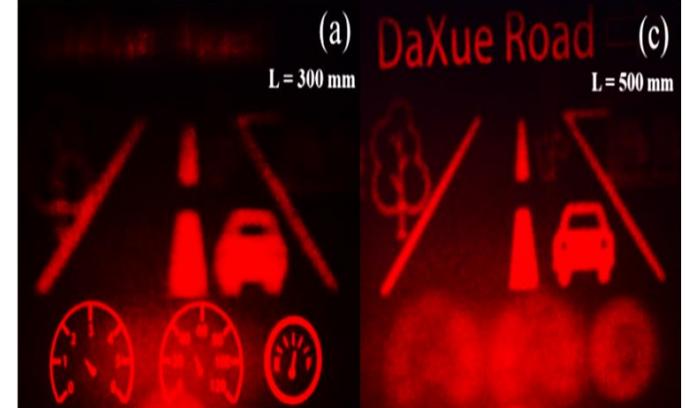


3 msec / 120 Hz

NUV/Deep-Blue Light Modulation



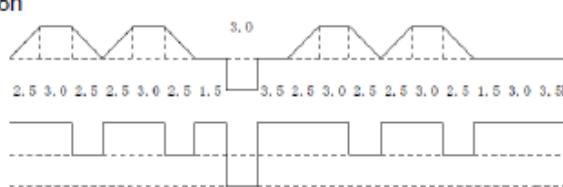
Visible Light Modulation



車規 Reliability 需求

4.5 Reliability Test

4.5.1 Environmental, Electrical and Mechanical Test

Items	Judgment Time	Note	
High temperature Operation	$T_a = 85 \pm 2^\circ\text{C}$, RH= 45% less than	192h	1
High temperature and high humidity operation	$T_a = 60 \pm 2^\circ\text{C}$, RH= 90±2%, No dewfall	500h	1
Low temperature Operation 1	$T_a = -30 \pm 3^\circ\text{C}$	192h	1
High temperature storage	$T_a = 95 \pm 2^\circ\text{C}$, RH= 45% less than	192h	1
Low temperature Storage	$T_a = -40 \pm 3^\circ\text{C}$	192h	1
Light stability (non-operating)	Sun shine carbon arc, Ta=63 +/- 2 °C	360 h	
Thermal shock (non-operating)	-30°C (30min.) \leftrightarrow 80°C (30min.)	300 cycle	2
Temperature and humidity cycling (non-operating)	1cycle=48h 	10 cycle	
Static discharge durability	C=200pF, R=0Ω, V=±200V Electric discharge between power supply terminals and other terminals. (non-operating)		
Surface electric Discharge durability	C=330pF, R=2kΩ, V=±15kV Electric discharge between LCD panel center and ground. (positive and negative) (non-operating)		

Note 1: These tests are continued until 500h.

Note 2: This test is continued until 500cycles.

4.5.2 Reliability test criteria

Items	Specification				Note
	Contrast Ratio	Transmittance	Response Time	Supply Current	
High temperature Operation	100 ≤ CR	≤20%	≤20%	≤40%	2, 3
High temperature and high humidity operation	"	"	"	"	2, 3, 4
Low temperature Operation 1	"	"	"	"	2, 3
High temperature storage	No abnormal function or indication				2, 3, 4
Low temperature Storage	100 以上	±20%以内	±20%以内	+40%以下	2, 3
Light stability (non-operating)	"	"		"	2, 3
Thermal shock (non-operating)	"	"	"	"	2, 3
Temperature and humidity cycling (non-operating)	"	"	"	"	2, 4, 5
Static discharge durability	No abnormal function or indication				
Surface electric Discharge durability	"				

Note 1: The Change quantity for initial value.

Note 2: Screen quality should not have distinguished unevenness.

Note 3: Measured after 2 hours storage in room temperature.

Note 4: Degradation due to the degradation of polarizer is excluded.

Note 5: Measured after 24 hours storage in room temperature.

- 陽光直射、溼度、高/低溫度、溫度變化等都是車規LCoS需要克服的重點



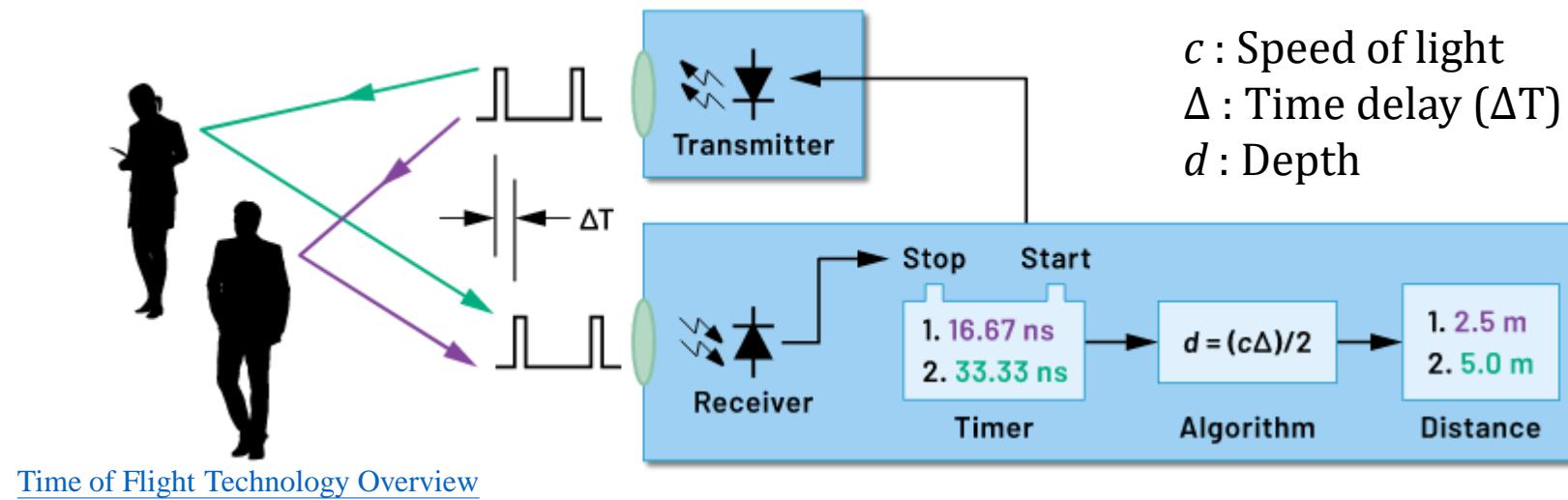
數位全像三維感測與造影

國立臺灣師範大學

鄭超仁 教授



Time of Flight (ToF) - 飛時測距



Benefits of ToF:

- Quick and simple
- High directivity (z-axis)
- Cost-effective
- Compatible with VCSEL

Limitations of ToF

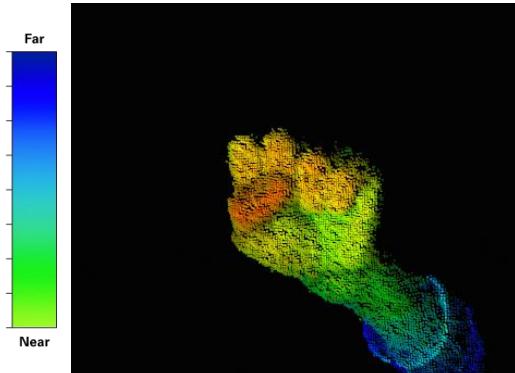
- Low spatial resolution (light source)
- Scanning mechanism (point-to-point)
- Difficult to near field (source/detection)
- Eye safety

People classification and range detection



Time of Flight Technology Overview

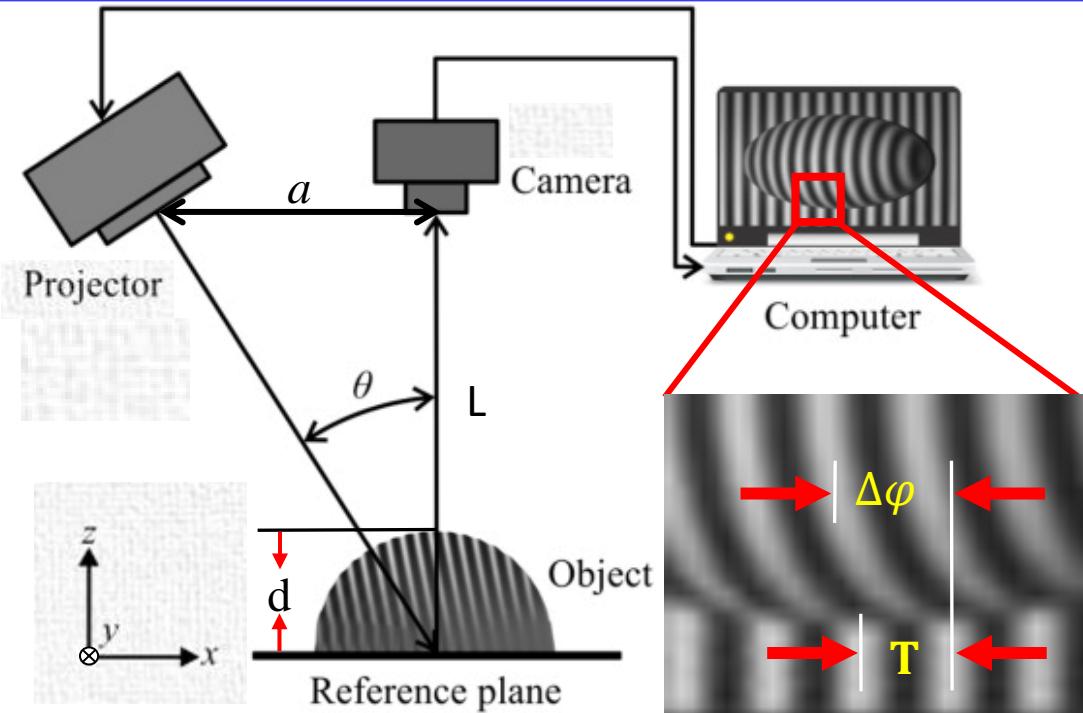
Dynamic detection



False-color 3D image of a hand taken from pmdtec.com on April 29, 2019.



Structured Light (結構光)/ Fringe Projection Profilometry (FPP/條紋投影量測技術)



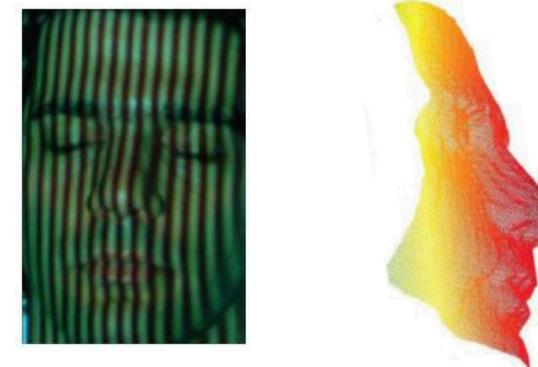
[Antonio Muñoz et al., Appl. Opt. 59, D31-D38 \(2020\)](#)

Distorted fringes

$$d = \frac{\Delta\varphi LT}{\Delta\varphi T + 2\pi a}$$

d : Depth
 L : distance between camera and object
 a : distance between camera and projector
 T : period of displayed grating

S. S. Gorthi et al., Opt. Lasers Eng. 48, 133 140 (2010).



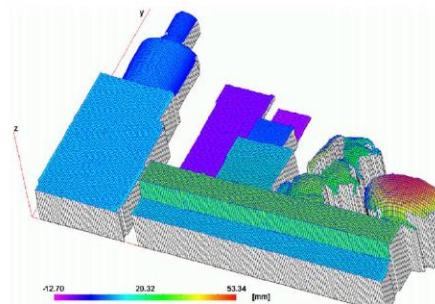
S. S. Gorthi et al., Opt. Lasers Eng. 48, 133 140 (2010).

Benefits of FPP

- High spatial resolution
- One shot available

Limitations of FPP

- Need a reference plane for depth cue
- Sensitive to surface properties
- Complicated alignment and calibration

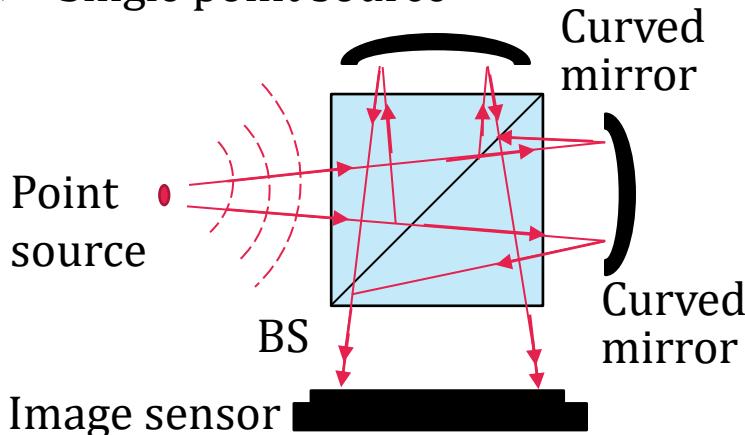


Z. Wang et al., Opt. Lasers Eng. 48, 218-225 (2010).

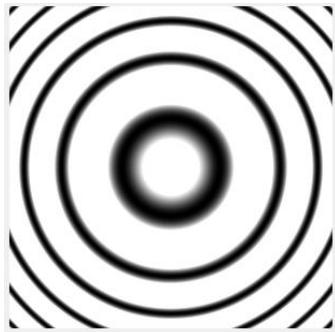


Incoherent Digital Holography (IDH) — Working Principle

- Single point source



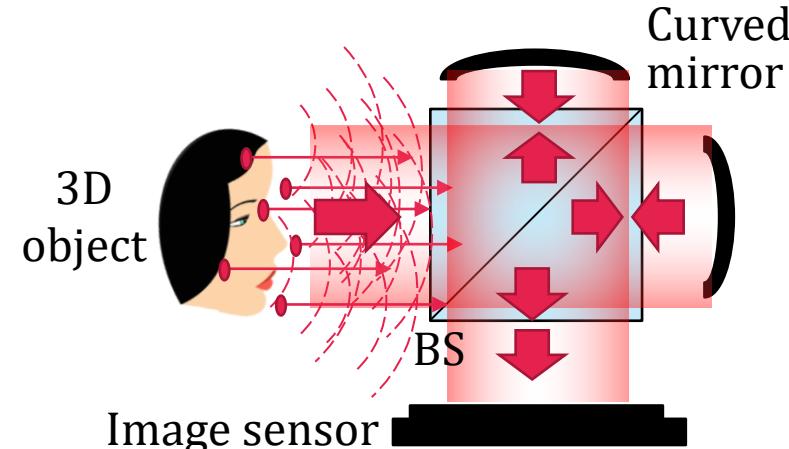
Hologram



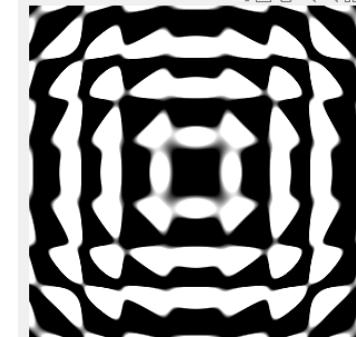
Reconstruction



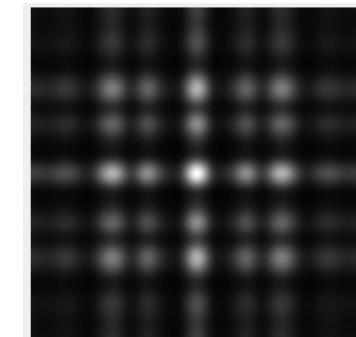
- Real object



Hologram



Reconstruction



Benefits of IDH

- Incoherent/Natural light source
- Numerical focusing
- High spatial resolution

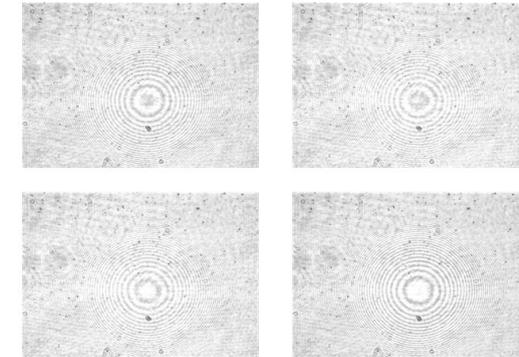
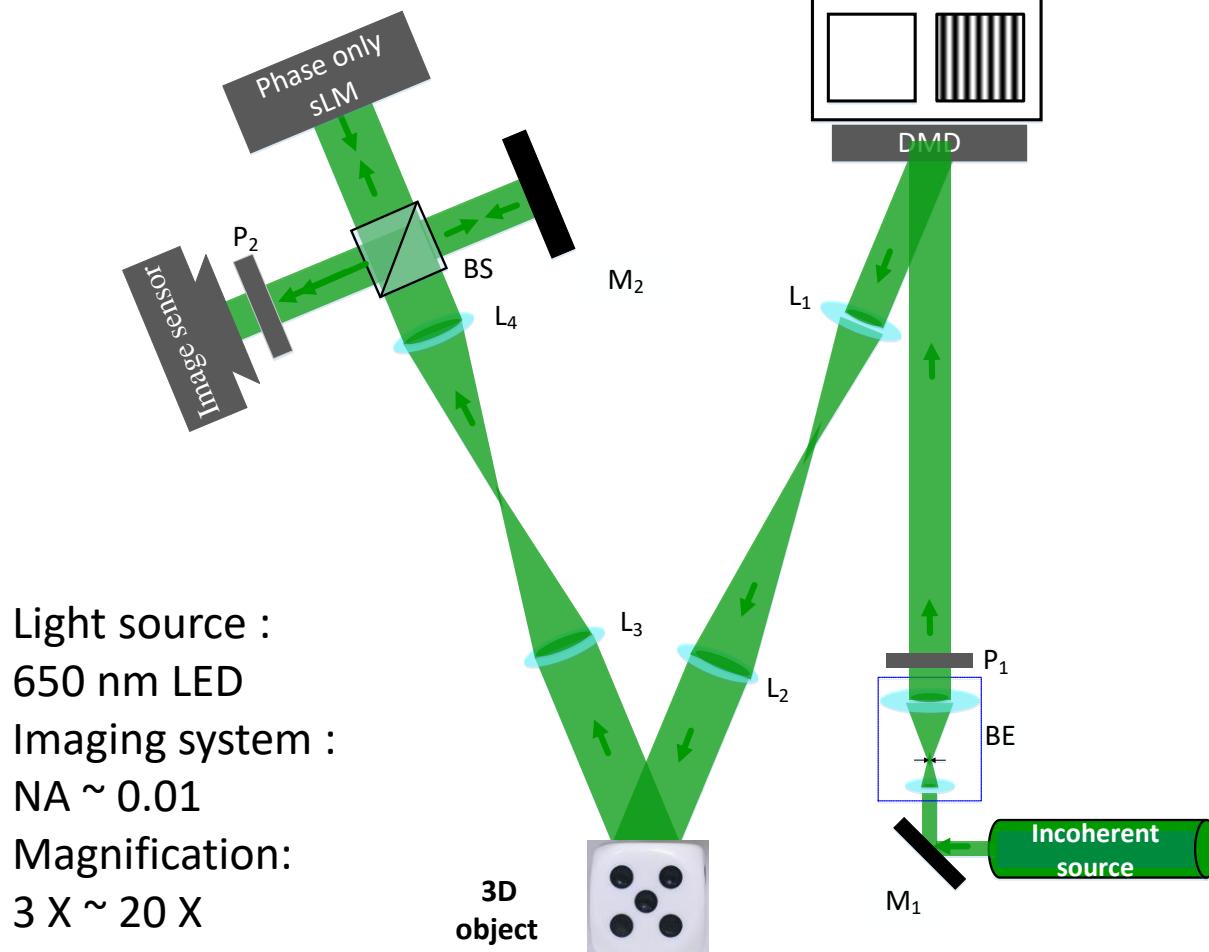
- One shot available ($\sim \mu\text{s}$ @ one shot)
- Information security



Development of FPP+IDH system

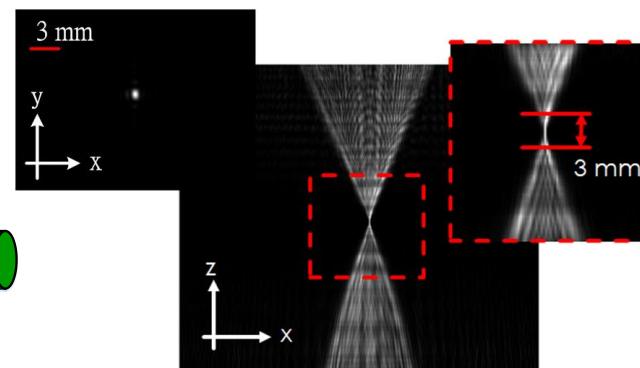
—Phase I (2021~22)

Phase-shifted holograms



Light source: 650 LED
NA (imaging system): 0.001
Magnification: 10 X

Axial Resolution

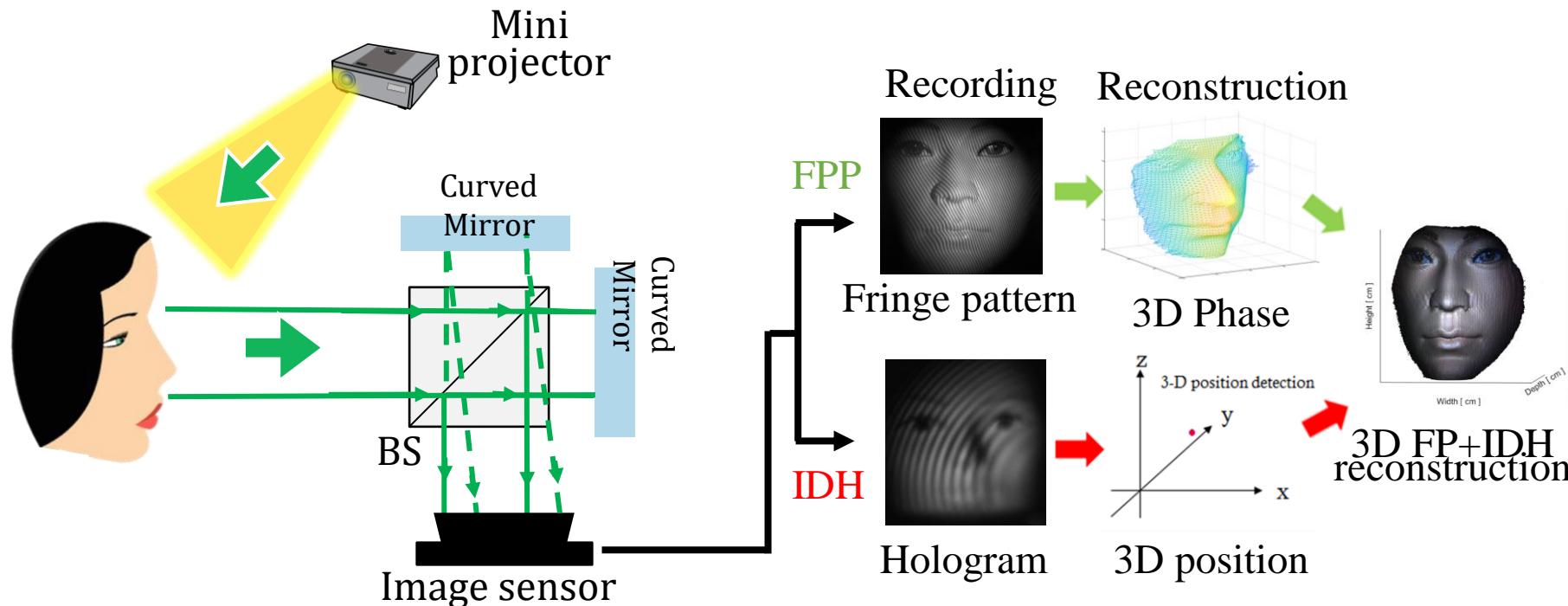


Object : 20 μ m point source
Resolved (lateral) : 1mm
(axial) : 3 mm



數位全像三維感測與造影

Development of FP+IDH system—For 3D sensing and imaging



Features:

- Incoherent/Natural light source
- High resolution 3D position detection
- 3D profile with physical coordinates

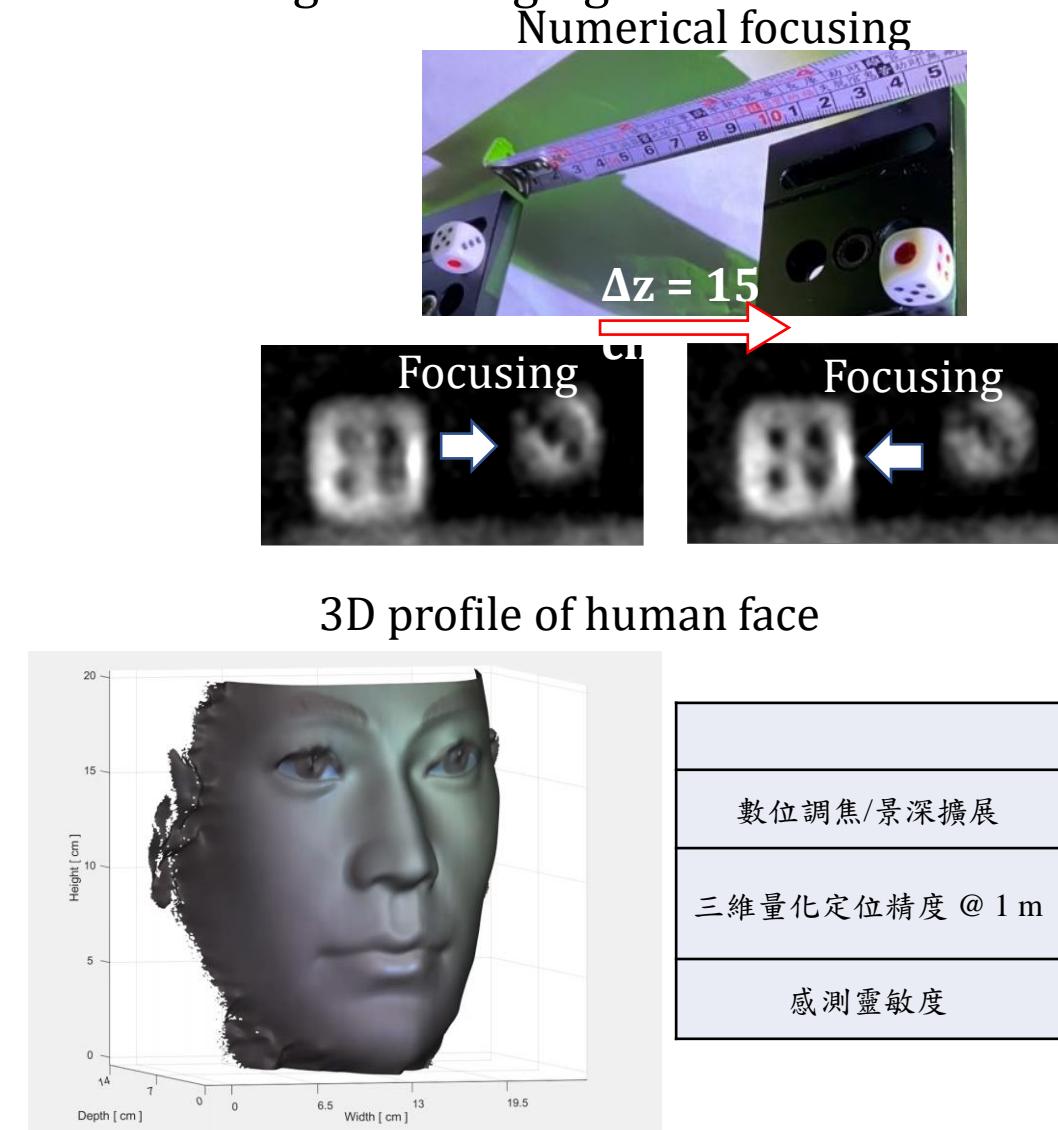
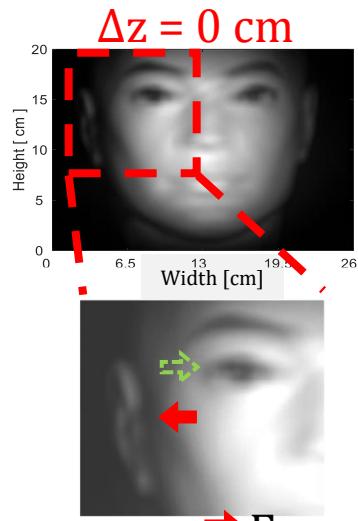
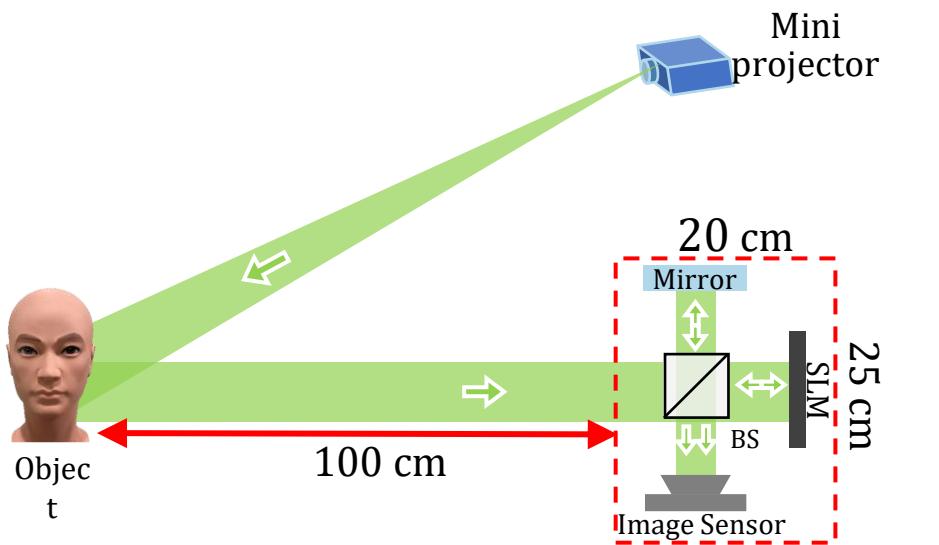
Challenges:

- System integration and automatic complex image processing
- Single shot and compact design



數位全像三維感測與造影

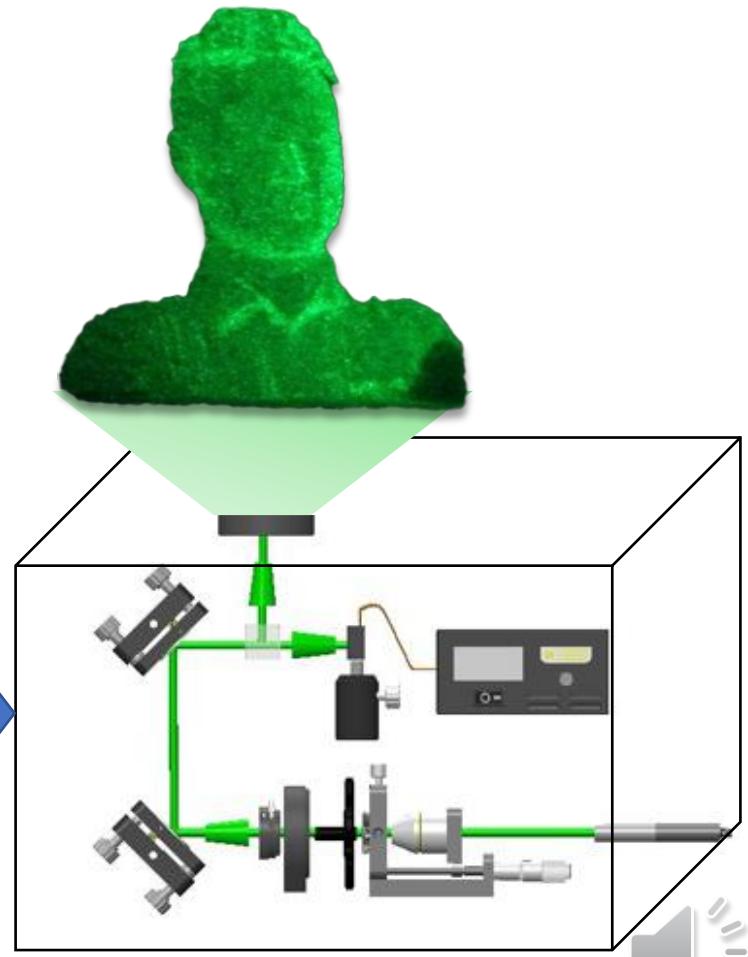
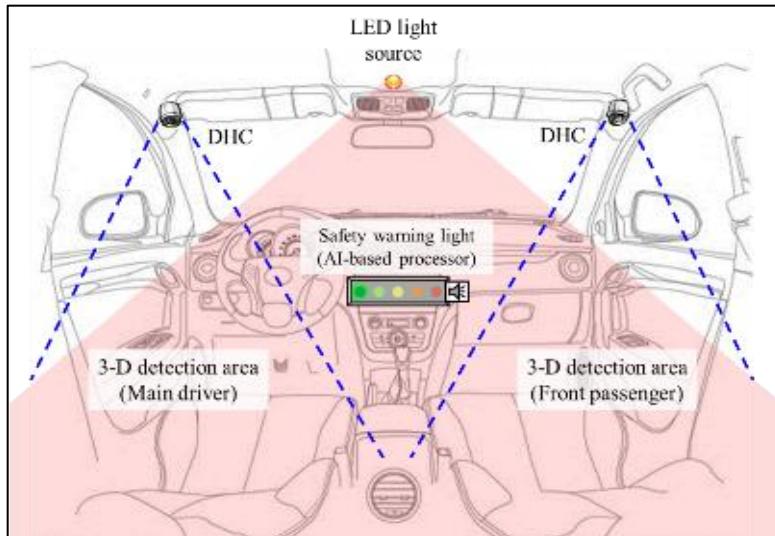
Development of FP+IDH system—For 3D sensing and imaging



座艙浮空投影顯示方案(1/2)

車內外影像即時互動

1. 全方位浮空顯示減少視覺死角
2. 視覺人因設計減少分心駕駛
3. 車內外影像即時監控
4. 前後座資訊即時顯示



座艙浮空投影顯示方案(2/2)

智慧行動辦公室(座艙內自成元宇宙)

1. 鎖定高階座艙裝設(汽車、輪船、飛機)
2. 結合5G網路實現即時會議



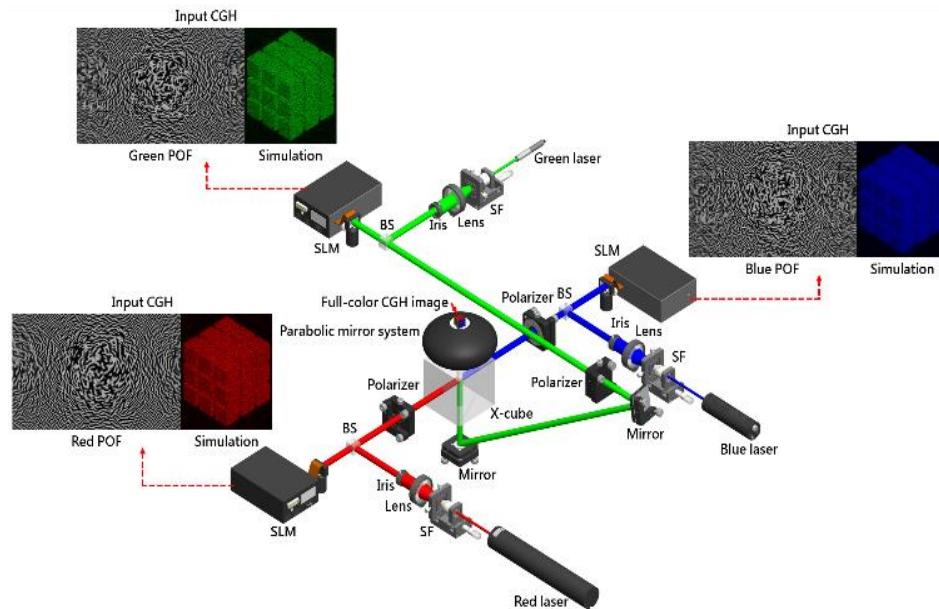
座艙浮空投影顯示成果



現階段成果(1/8)

全像浮空投影-雙拋物面鏡系統(2015)

陳建宇教授所研製之浮空全像顯示投影系統，藉由雙拋物面鏡系統的設計。成功實現360度的視野觀看，以及使影像放大1.5倍。並透過MGSA演算法中的空間多工方法，進行色彩修正，成功實現全像浮空顯示的色彩再現。



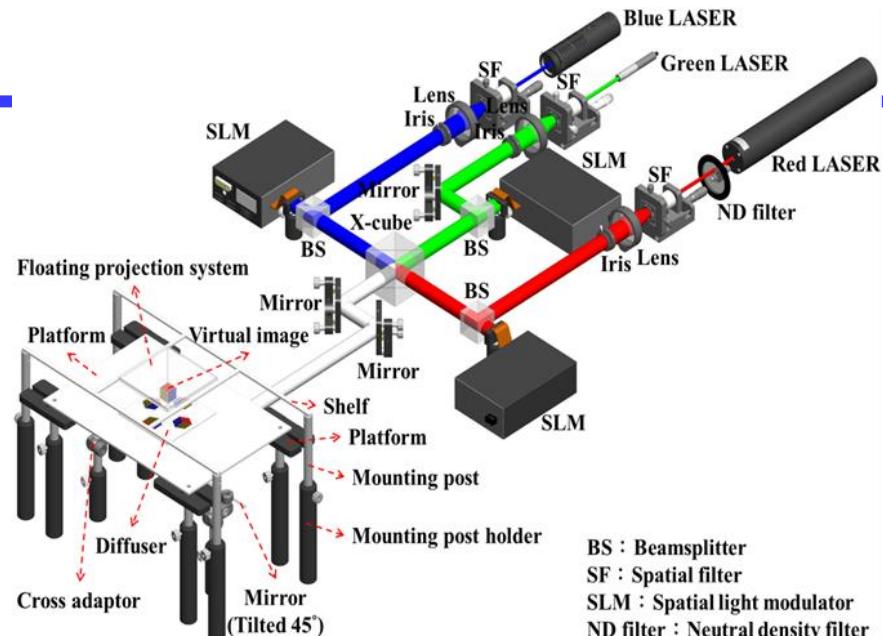
雙拋物面鏡型全像浮空投影系統



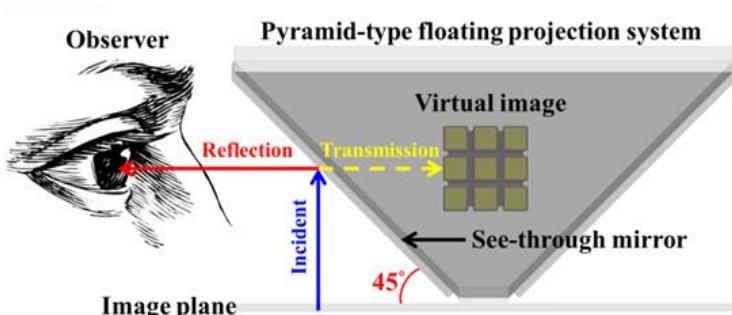
現階段成果(2/8)

全像浮空投影-四面體系統(2016)

- 四面體系統的結構設計。
- 實現360度的視野觀看。
- 可進行同時不同混色呈現，以及可針對需求可進行同步不同面向資訊的輸出切換。
- 並透過MGSA演算法中的空間多工方法，進行色彩修正，成功實現全像浮空顯示的色彩再現。



四面體型全像浮空投影系統



四面體元件



白色貓咪



第四面

第三面

第二面

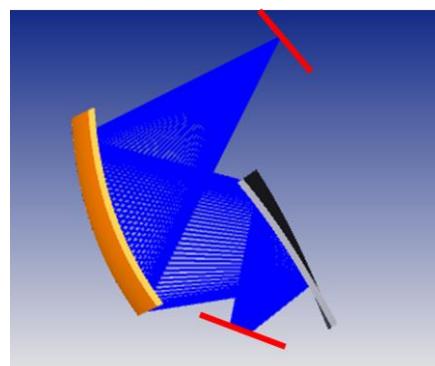
第一面



現階段成果(3/8)

全像浮空投影-車載顯示應用

- 基於汽機車儀表系統，進行全像浮空投影之設計。使用多種複合材料、特殊加工元件、自由曲面設計等組件，實現一車載顯示全像浮空顯示系統。並已獲得校內「111年度研發成果雛形化補助專案」。



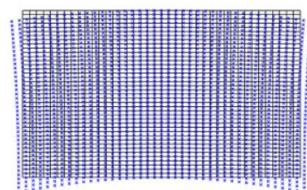
自由曲面設計系統



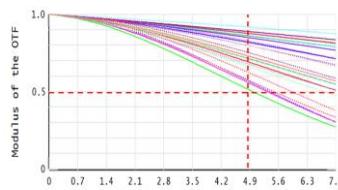
輸入圖像



輸出結果



TV Distortion : 1.4%



4.9cycles/mm以下(MTF>0.5)



- 目前已與「品睿綠能科技股份有限公司」、「金鑽馳科技股份有限公司」等公司進行車用顯示系統之開發。



ottobike



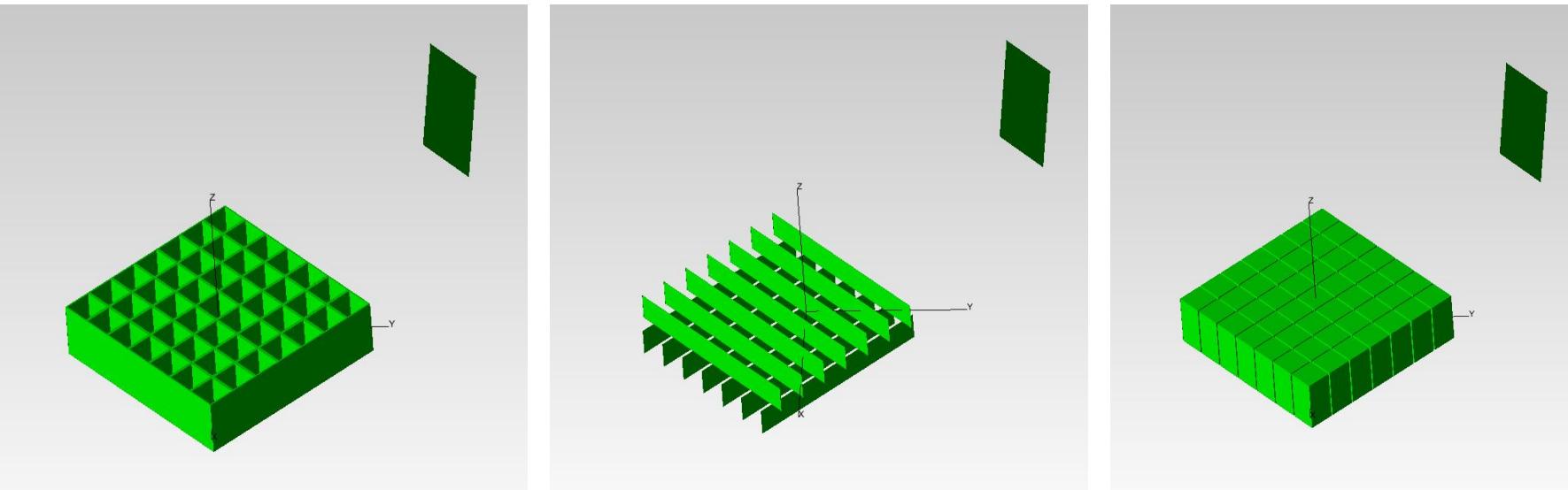
金鑽馳科技



現階段成果(4/8)

雙面角型反射結構陣列浮空顯示

1. 具備雙面角型反射結構陣列設計能力。
2. 已與台灣儀器科技研究中心、同步輻射中心簽署開發合作備忘錄。
3. 新結構開發與前瞻浮空顯示系統設計。



雙面角型反射結構陣列系統



NARlabs 國家實驗研究院
台灣儀器科技研究中心
Taiwan Instrument Research Institute

財團法人國家實驗研究院台灣儀器科技研究中心暨

國立臺灣科技大学色彩科技研究中心

合作備忘錄

立備忘錄人：

財團法人國家實驗研究院台灣儀器科技研究中心(以下簡稱「甲方」)
國立臺灣科技大学色彩科技研究中心(以下簡稱「乙方」)

第一條 合作目的

緣甲乙兩方為顯示光學微結構精密加工研製合作，特簽訂本合作備忘錄。

第二條 合作辦法

雙方同意本備忘錄為雙方表達共同合作之意願，基於本備忘錄而擬進行之詳細具體合作項目、方式及其費用等條件，應就個案訂立詳細之合作計畫，並協議訂定正式式書面契約，以保障雙方之權利。

雙方合作成果之智慧財產權歸屬及其衍生之權利，應依具體個案另訂之。

第三條 保密義務

雙方未來合作期間如有交換機密資訊之必要，雙方同意採個案方式另行簽署保密契約後，再進行機密資訊之交換，以確保提供資訊或技術一方之應有法律保障。

第四條 合約期限

本備忘錄自中華民國 111 年 05 月 01 日起生效，有效期為三年，得經雙方同意後提前終止，惟已在執行中計畫之書面協議效力不受影響；如任一方欲終止本備忘錄應於 2 個月前以書面通知他方。本備忘錄期滿前，雙方任一方未以書面提出合作終止之要求，則視為本備忘錄繼續有效，自動延長執行三年。

第五條 合約份數

本合作備忘錄壹式二份，由雙方各執一份為憑。

立備忘錄人：

甲 方：財團法人國家實驗研究院
台灣儀器科技研究中心
代表人：楊耀州 主任

乙 方：國立臺灣科技大学
色彩科技研究中心
代表人：陳建宇 主任

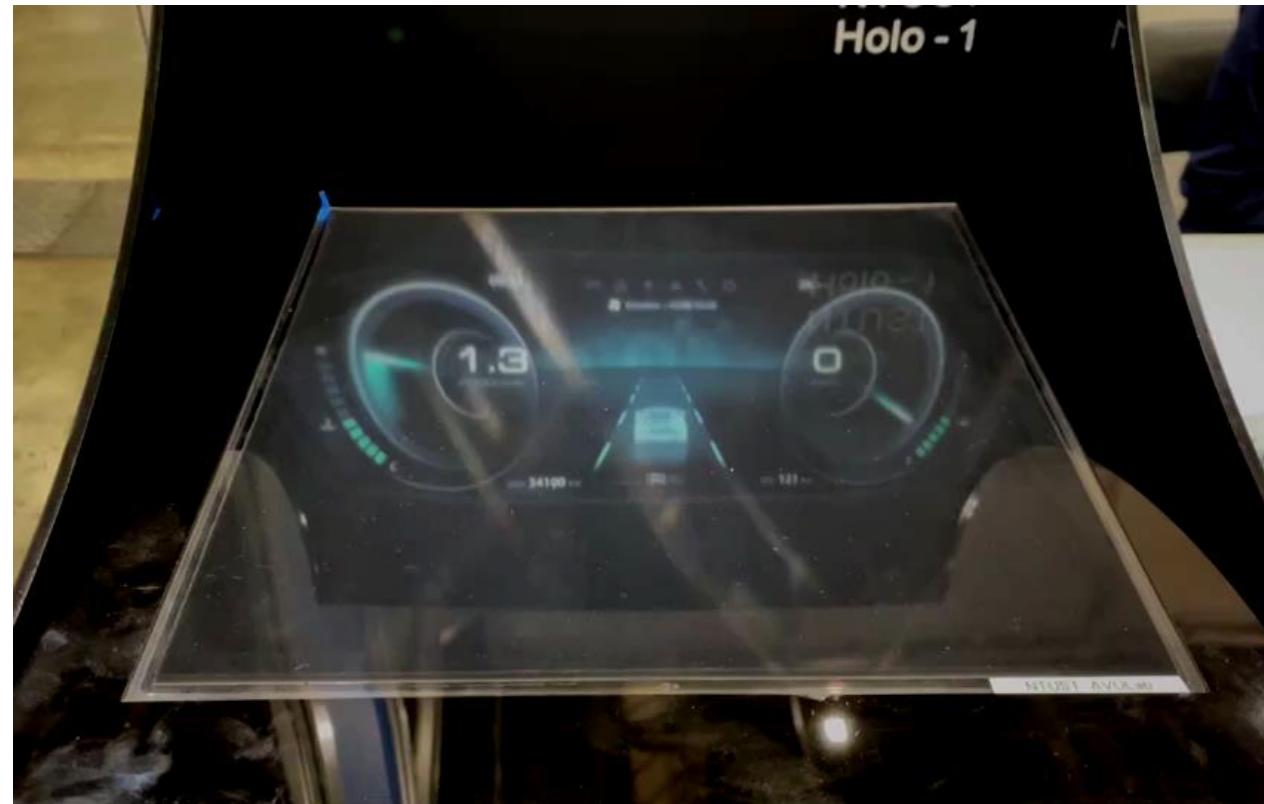
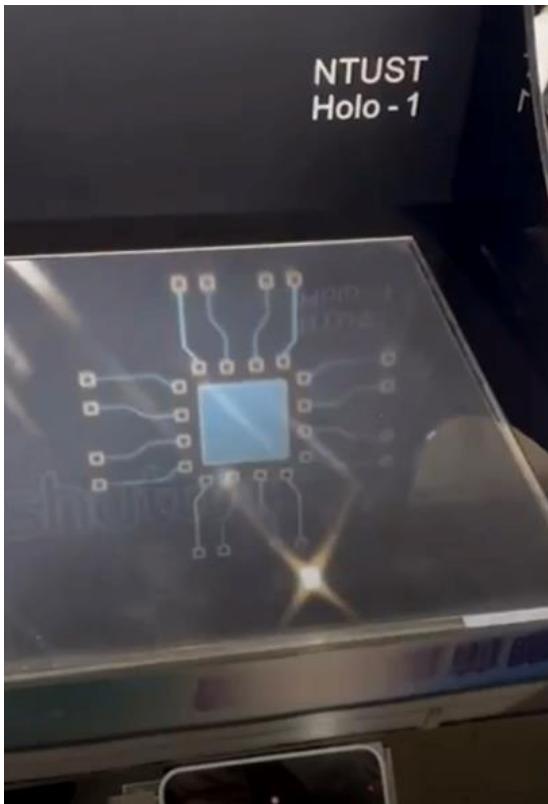
中華民國一一一年三月三十一日

第1頁,共1頁



現階段成果(5/8)

雙面角型反射結構陣列浮空顯示成果



現階段成果(6/8)

電腦全像演算法的重大突破

使用自創DL-GSA演算法大幅提升全像影像計算速度。



演算法	影像格式	箭頭方向圖	里程數字圖	速限指示圖	警告標誌圖
MGSA	1024×1024 迭代30次	31.87s	31.87s	32.78s	32.26s
DL-GSA	1024×1024	✓ 12.89ms	✓ 9.8ms	✓ 9.91ms	✓ 11.59ms



現階段成果(7/8)

顯示內容的優化

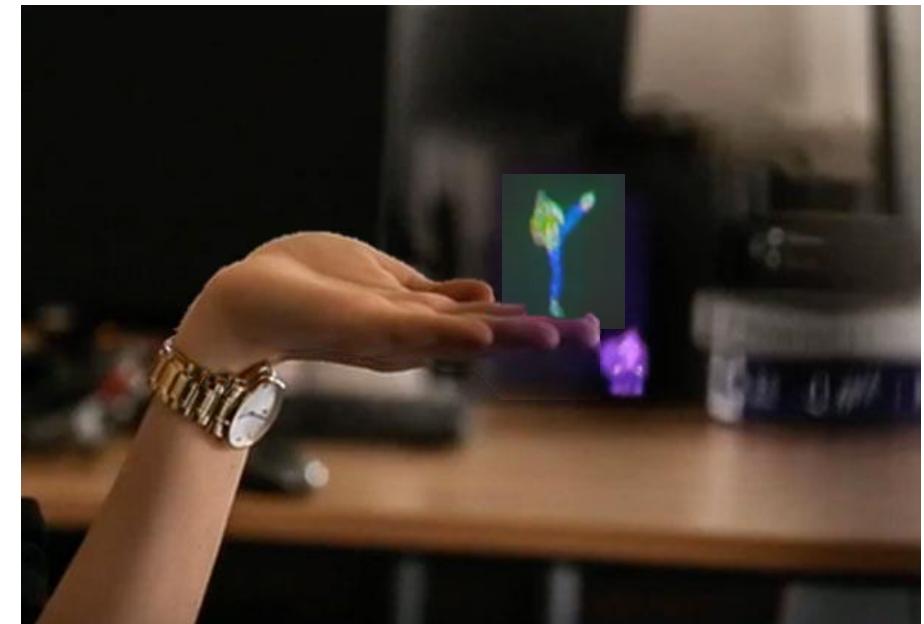
1. 客製化浮空顯示系統。
2. 可針對不同顯示型態進行元件優化整合。



2D面板



3D面板



全像顯示

*Chih-Hao Chuang, Chien-Yu Chen, Siao-Ting Li, Hsuan-Ting Chang, and Hoang-Yan Lin, "Miniaturization and image optimization of a full-color holographic display system using a vibrating light guide," Opt. Express 30, 42129-42140 (2022).
**Milne, Darran F. "Vividq: indistinguishable from reality: overcoming key challenges in highly realistic holographic display for ar and beyond." Spie avr21 industry talks II. Vol. 11764. SPIE, 2021.



現階段成果(8/8)

雙深度抬頭顯示器(專利M630306)

1. 抬頭顯示器雙深度調整的必要性:

- 年長者觀看影像位置於擋風玻璃前小於 2.5m 的HUD時，眼睛的調節時間增加，容易造成危險。
- 眼睛中央凹(foveal vision) 距離視線 2m 有最快及最敏銳的感知速度(2 ~ 12 ms)。

2. 以實驗室DL-GSA演算法的空間多工方式結合自行設計的光機系統，可將目標影像調節不同深度。
(2 m~10 m)

3. 將原先18L的體積微型化至2.7 L，整體縮小至1/6。



* Y. Inuzuka, Y. Osumi, and H. Shinkai, "Visibility of Head up Display (HUD) for Automobiles," Proc. Hum. Factors Soc. Annu. Meet., vol. 35, no. 20, Art. no. 20, Sep. 1991, doi: 10.1177/154193129103502033.

**R. F. Schmidt and G. Thews, Physiologie des Menschen. Springer-Verlag, 2013.

***Tzu-An Chou, Tzu-Han Pan, Chih-Hao Chuang, Bohr-Ran Huang, Chien-Yu Chen*. "AR HUD System Realized By Holographic Display Technology." Society for Information Display (SID), San Jose USA, (Vol. 53, No. 1, pp. 1185-1187). (2022, June).



結語與未來展望



結語與未來展望

製造整合

1. 浮空關鍵元件製程技術困難。
 - 鍍膜技術困難
 - 元件尺寸需達100μm以下
 - 需搭配半導體製程
2. 車規面板需求(AEC-Q)
3. 全像演算法的IC實現(AEC-Q)
4. 系統微型化整合不易

產品驗證

1. 如何使技術符合工規→車規?
2. 尋求檢測與認證
 - 車電零組件可靠度驗證(AEC-Q)-台灣檢驗科技SGS
 - 車輛安全審驗中心認證(VSCC)-台灣車測中心ARTC

應用與推廣

1. 由座艙延伸至多種智慧移動載具
2. 自駕車市場?

以「前瞻顯示互動技術」帶動「智慧移動」發展新趨勢

智慧
移動



智慧
育樂

智慧
醫療



智慧
零售





Thank you for your attention

