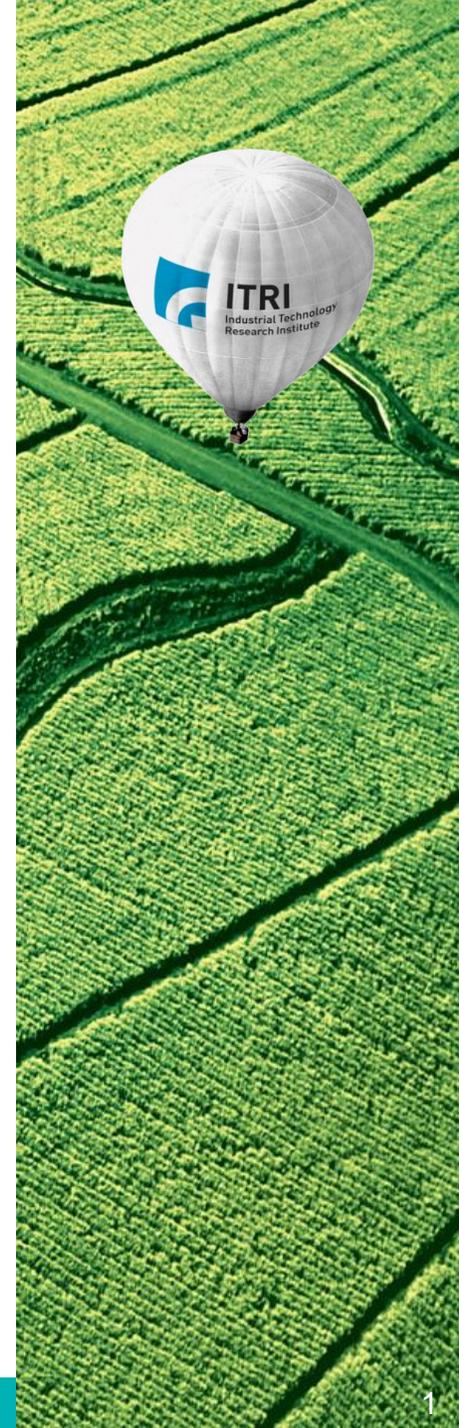


工業技術研究院

Industrial Technology
Research Institute

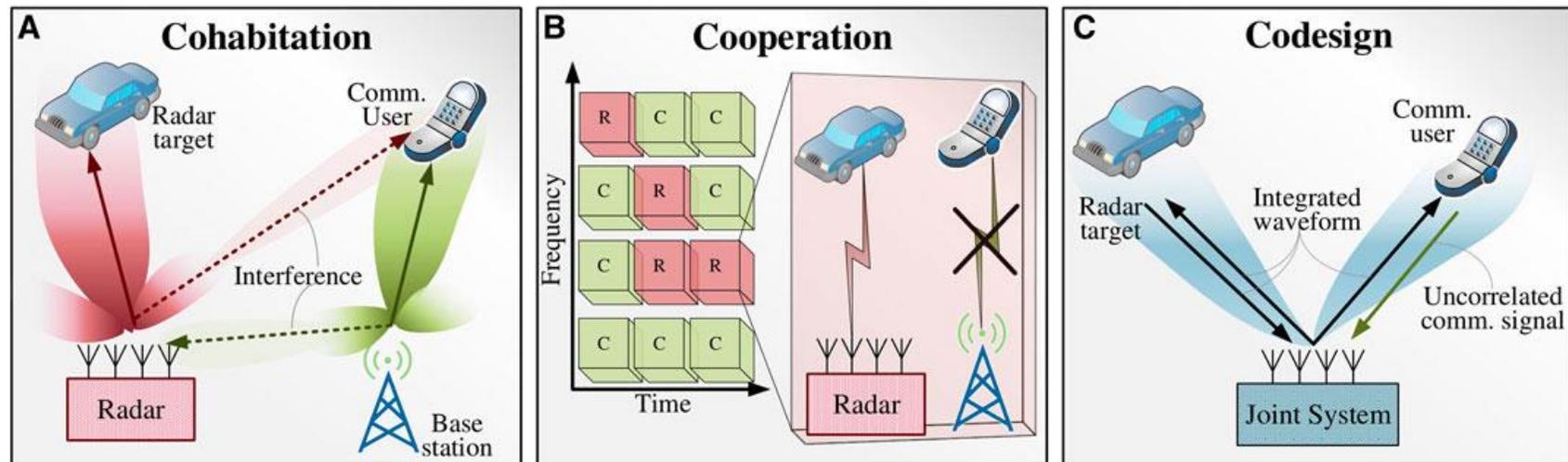
Introduction to 6G ISAC Technology 6G通感融合技術簡介

Presenter: Wei-Cheng Wang



Integrate Sensing and Communication (ISAC)

- With the evolution of 4G to 5G, and now to 6G, the spectrum allocations have expanded towards higher frequencies. With the introduction of **higher frequencies**, the potential for very **accurate sensing** based on radar-like technology arises
- Sensing capabilities as an integral part of the network is identified as a **new feature of future 6G systems**
- Main advantage of ISAC is that **most of the infrastructure is already in place with transmit/receive nodes**, providing full area coverage. Hence, the sensing can be provided almost “for free”



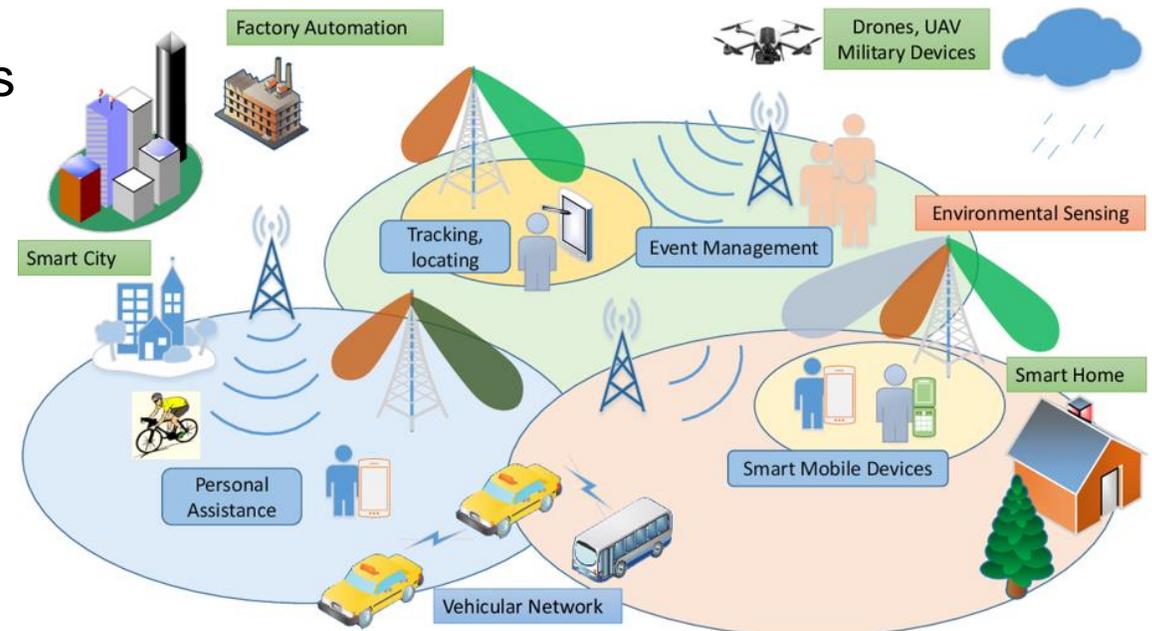
Integrate Sensing and Communication (ISAC)

■ Why ISAC?

- Better utilization of the spectrum
- Reduction in hardware cost & power consumption
- Sensing and communication functions can benefit each other

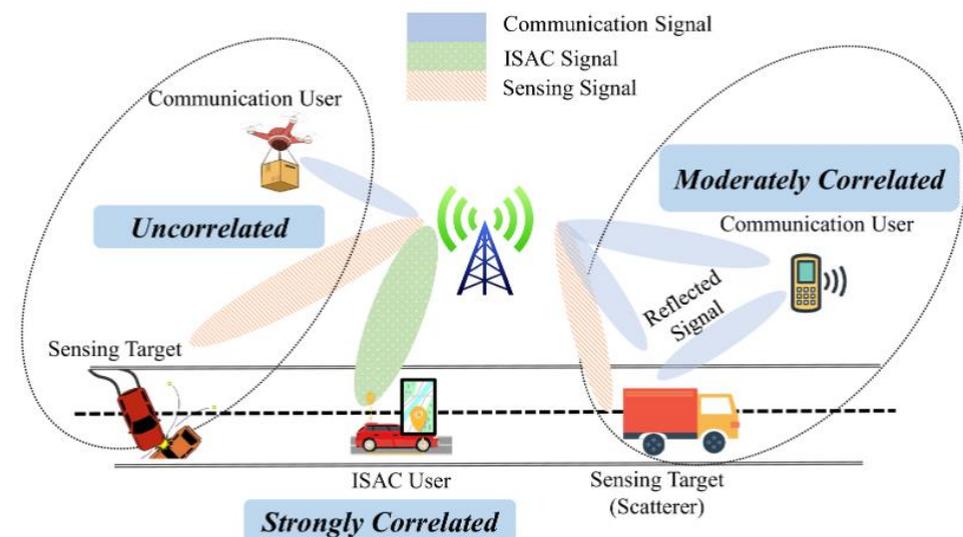
■ Wide usage scenarios

- 3GPP.R19.TR22.837 defines 32 applications
 - Object/intruder detection
 - Collision avoidance
 - Trajectory tracking
 - Automotive navigation
 - Health and sports monitoring



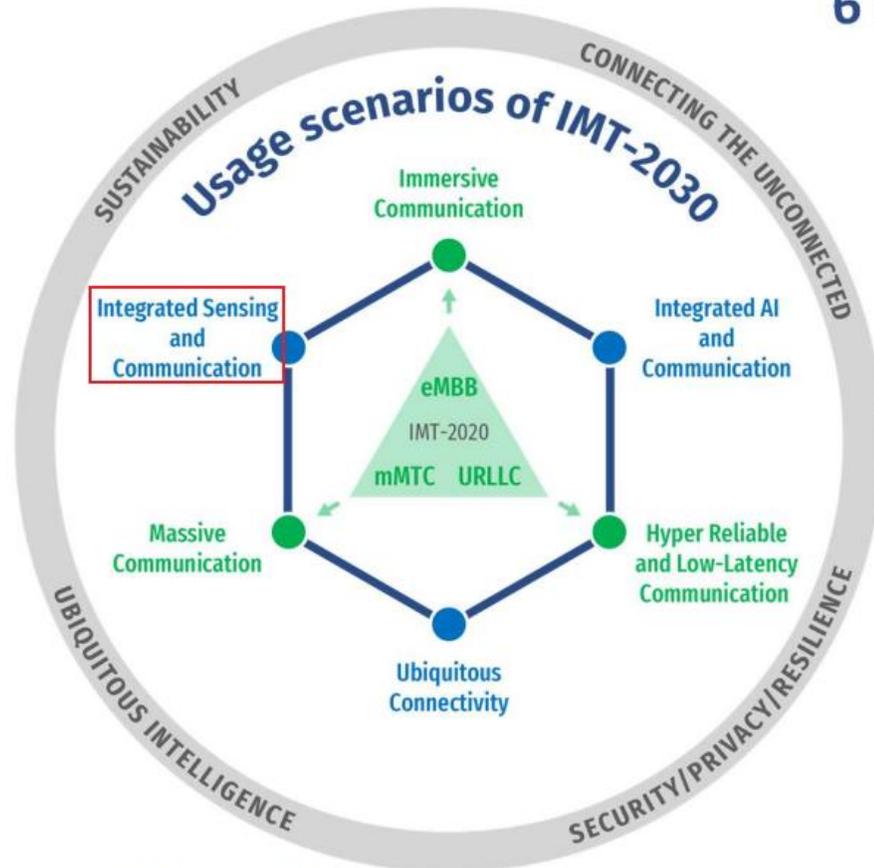
ISAC Development Trends

| 趨勢 | 說明 |
|--------|---------------------------------------|
| 技術融合 | 結合無線通訊和感知技術，在5G和6G協同下，提高數據共享及處理效率。 |
| 應用場景擴展 | 擴展到智慧交通、智慧城市、無人駕駛、工業自動化等，提升系統智能化和自動化。 |
| 智慧化提升 | 利用人工智慧和機器學習技術，分析及處理高階數據，提升感知準確性和通訊效率。 |
| 標準化推進 | 參與國際標準組織，加速推動ISAC標準化，促進系統相互操作性和兼容性。 |
| 安全性增強 | 著重網絡安全和數據隱私，研究相關的安全技術和策略。 |
| 市場需求上升 | 智慧應用需求增長，商業市場潛力逐步釋放，推動相關產業發展。 |



Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2030 and Beyond

Usage scenarios



So called "Wheel diagram"

6 Usage scenarios

Extension from IMT-2020 (5G)

eMBB → Immersive Communication

mMTC → Massive Communication

URLLC → HURLLC (Hyper Reliable & Low-Latency Communication)

New

Ubiquitous Connectivity

Integrated AI and Communication
Integrated Sensing and Communication

4 Overarching aspects:

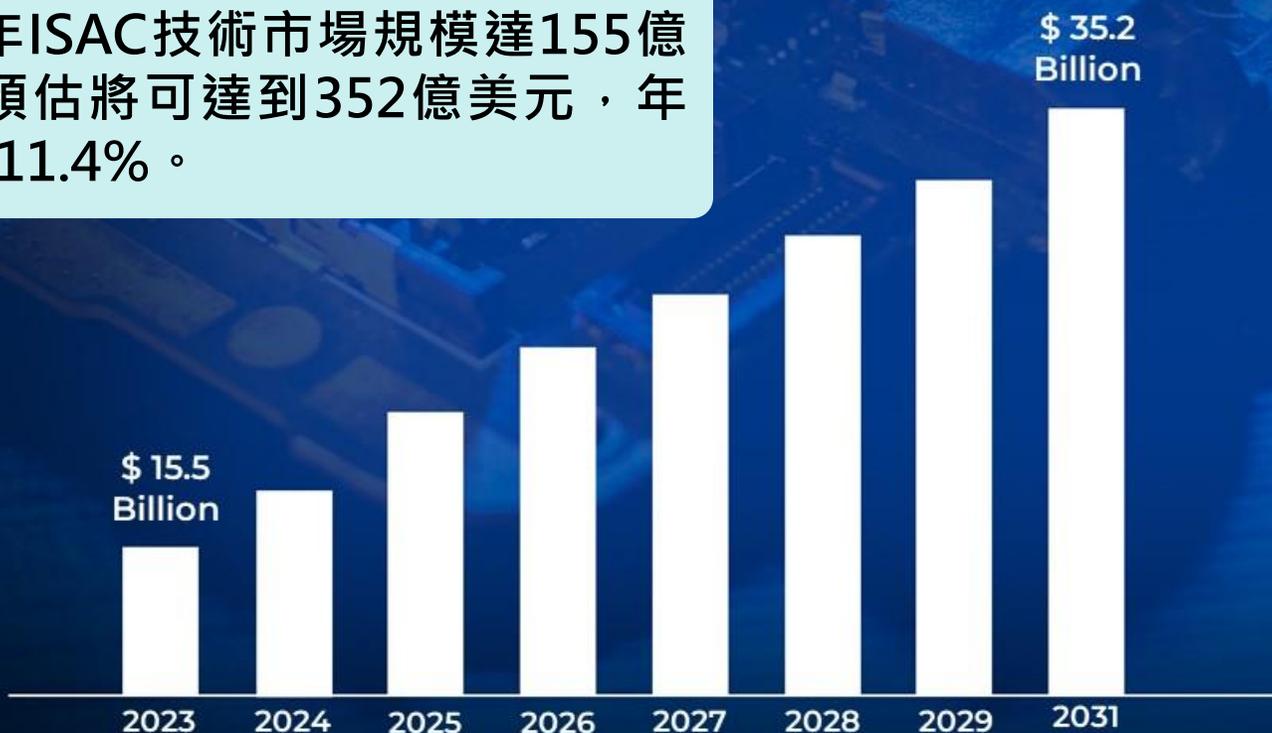
act as design principles commonly applicable to all usage scenarios

Sustainability, Connecting the unconnected,
Ubiquitous intelligence, Security/privacy/resilience

國際預估ISAC市場發展趨勢

Global Integrated Sensing And Communication (ISAC) Market

根據VERIFIED MARKET RESEARCH發布數據顯示，2023年ISAC技術市場規模達155億美元，2031年預估將可達到352億美元，年均復合成長率達11.4%。



vm VERIFIED
MARKET
RESEARCH

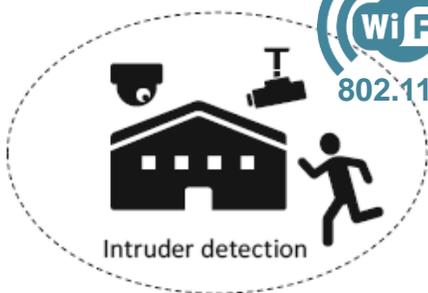
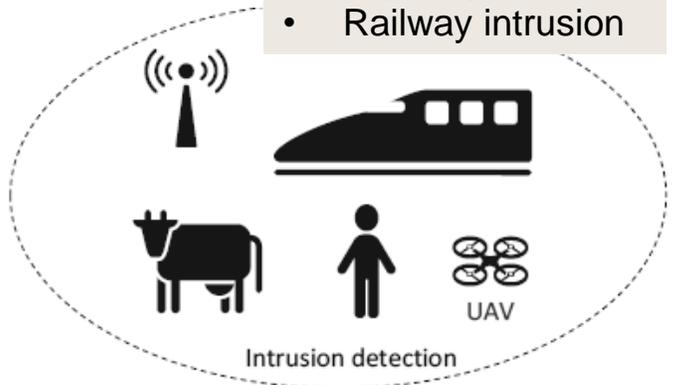
11.4%

CAGR from
2024 to 2031

Source:
www.verifiedmarketresearch.com

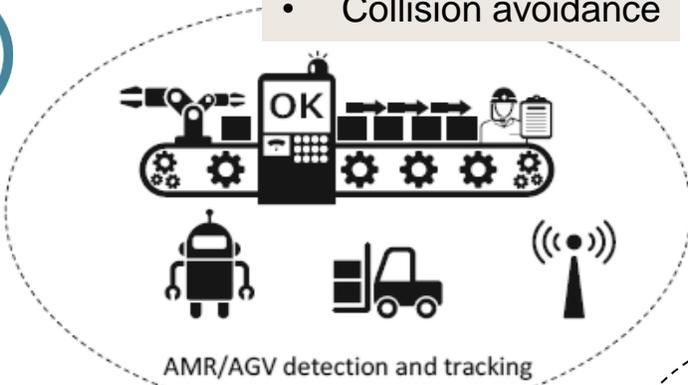
ISAC技術應用與創新

- Highway intrusion
- Railway intrusion

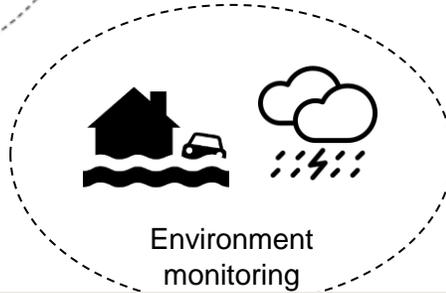


6G產業先期雛型系統

- Navigation
- Tracking
- Collision avoidance

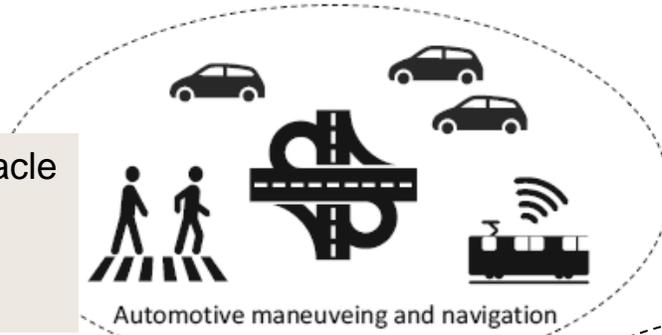


台西雙邊國合

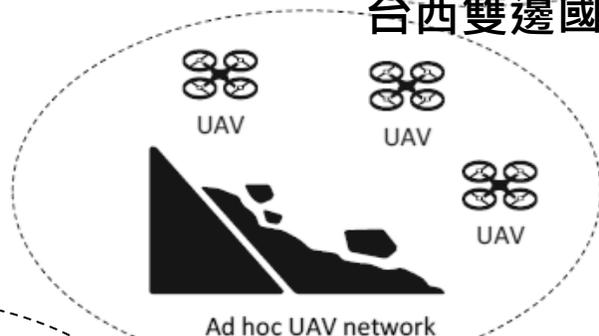


- Rainfall monitoring
- Flooding detection
- Weather or air pollution monitoring

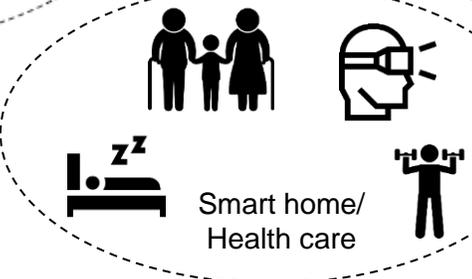
- Crossroads w/o obstacle
- Traffic management
- Parking space determination



6G實驗網



- Indoor room sensing
- Gesture recognition
- Health care
- In car sensing



- Contactless sleep monitoring
- Health monitoring
- Sport/fitness monitoring
- Immersive experience (audio/light with user tracking)
- Seamless XR streaming

Potential Use Case – Shopping Mall Advertising

- **More specific advertisement can be achieved**
 - To determine which store user actually enter
 - To detect non-network objects alongside user
- **Providing services to users with non-GPS-enabled mobile devices**
- **Crowd flow distribution analysis**



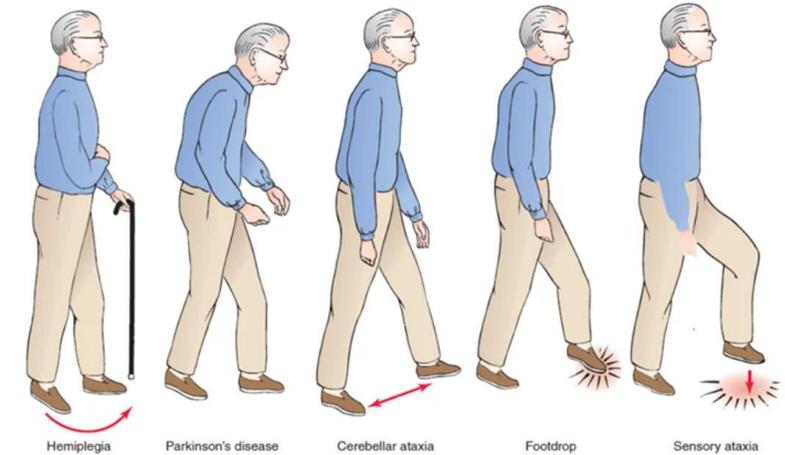
Potential Use Case – Long-term Care

■ Emergency Detection

- Fall detection

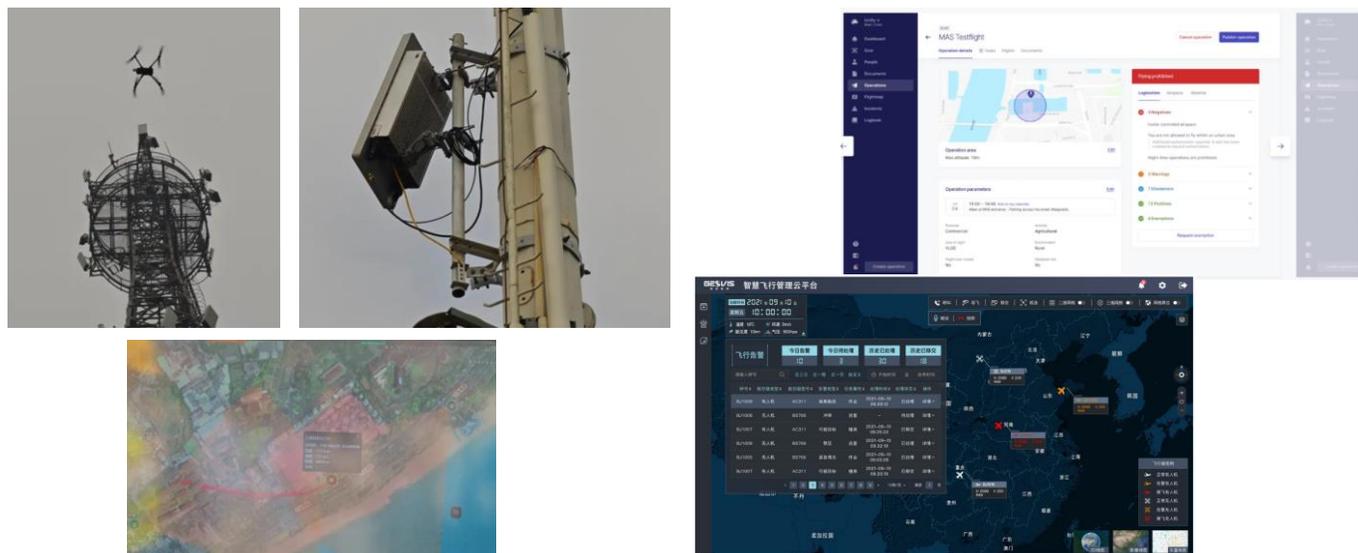
■ Multi-People Long-Term Action Recognition with Privacy

- Detecting abnormal gaits/posture
- Activity tracking without wearable devices
 - reminding stand-up periodically
 - joint degeneration tracking
 - stroke risk prediction



低空安防應用：無人機偵查

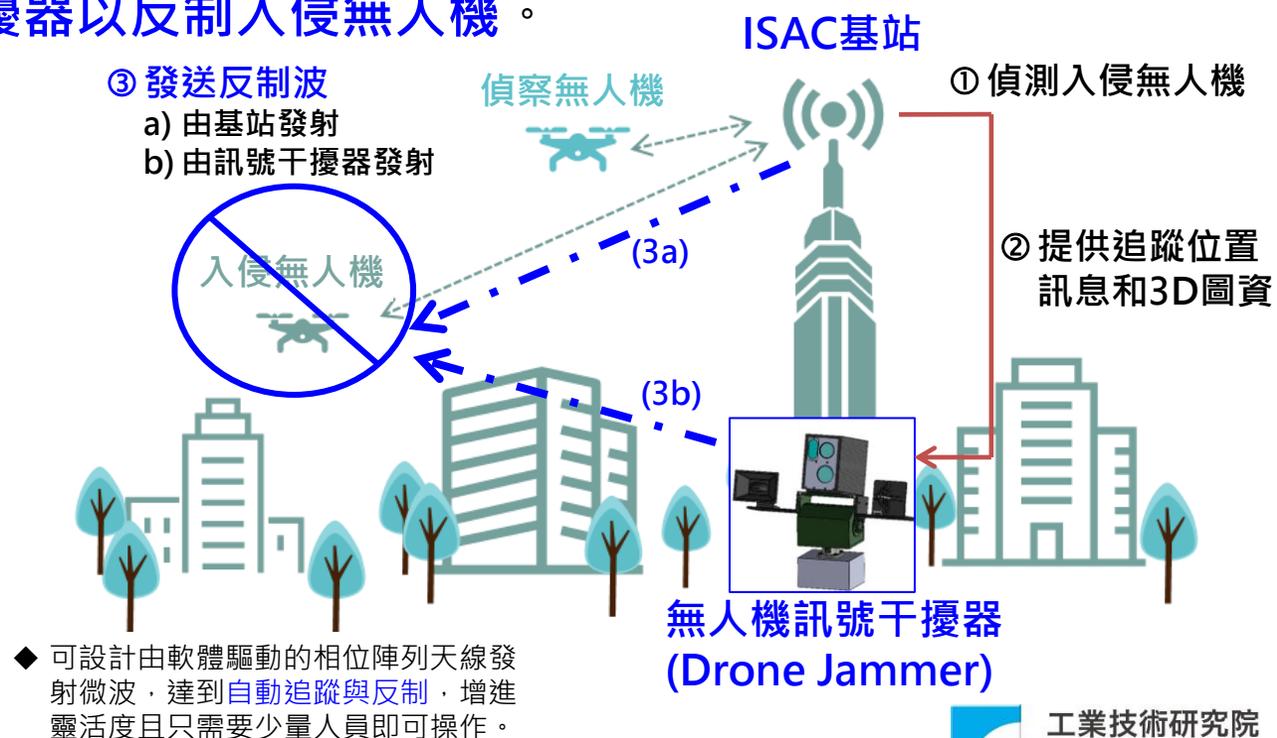
- **需求**：各種低空無人機應用基於5G發展越發蓬勃，例如娛樂拍攝、物流運輸、緊急救援、醫療救護、警務安防等，因此催生「**低空經濟**」。
- **無人機偵察**：基於通感整合技術提供的成像、地圖構建和環境重構能力，可**改善無人機偵察能力**，根據多基站感知能力，**在未知的環境中執行自動導航和路徑規劃**。
- **無人機群機協控**：控制無人機群避免相撞且完成各自任務目標，同時追蹤無人機軌跡，實現**無人機聯網飛行、群機組網任務支援協調、低空空域管理**等通感整合空域管理解決方案。



Ref: <https://www.eet-china.com/mp/a213908.html>

低空安防應用：無人機防禦

- **需求**：為防止無人機“黑飛”造成的洩密、碰撞及雜訊等問題，需要高效、低成本地部署低空安防系統。目前無人機安防市場多種探測方案並存，但都面臨技術、效率、成本等諸多限制。
- **無人機防禦**：通信感知整合技術，可以讓需部署低空安防區域的多個基站秒變雷達，再結合基站內部的算力資源，快速搭建低空安防系統，只要基站信號可達，就能**即時定位和追蹤入侵無人機**，**直接打干擾波或再結合無人機訊號干擾器以反制入侵無人機**。



Ref: <https://dronesboy.com/what-is-a-drone-jammer-it-only-takes-a-few-seconds-to-disable-your-drones-mobility/>

5G V.S. 6G智慧居家

5G智慧居家

由人透過載具按照需求控制聯網設備。



6G智慧居家

由AI助理 (AI Workstation) 學習人的行為模式自己判斷控制策略。



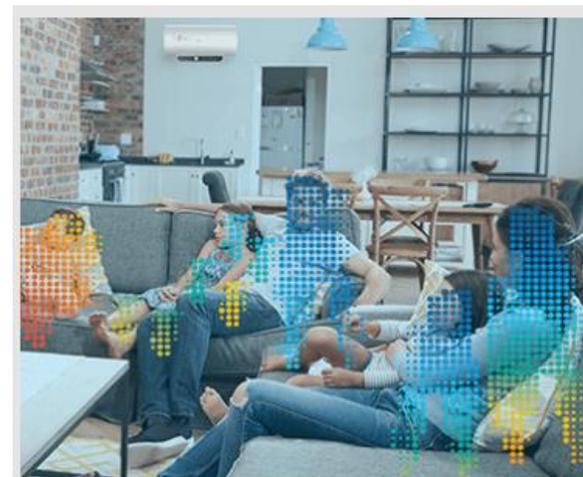
每個聯網設備可作為6G網元感知之延伸

智慧居家

- 住家或工作場域，可以透過網路檢測易受傷害的人是否**跌倒**，甚至「聽到」他們的心跳，向緊急救援人員**發出可能的創傷警報**。
- 另有存在、姿態檢測、人員計數、進出門、在床/不在床、呼吸睡眠監測等應用。



Ref: <https://www.bell-labs.com/research-innovation/what-is-6g/6g-technologies/network-as-a-sensor#gref>



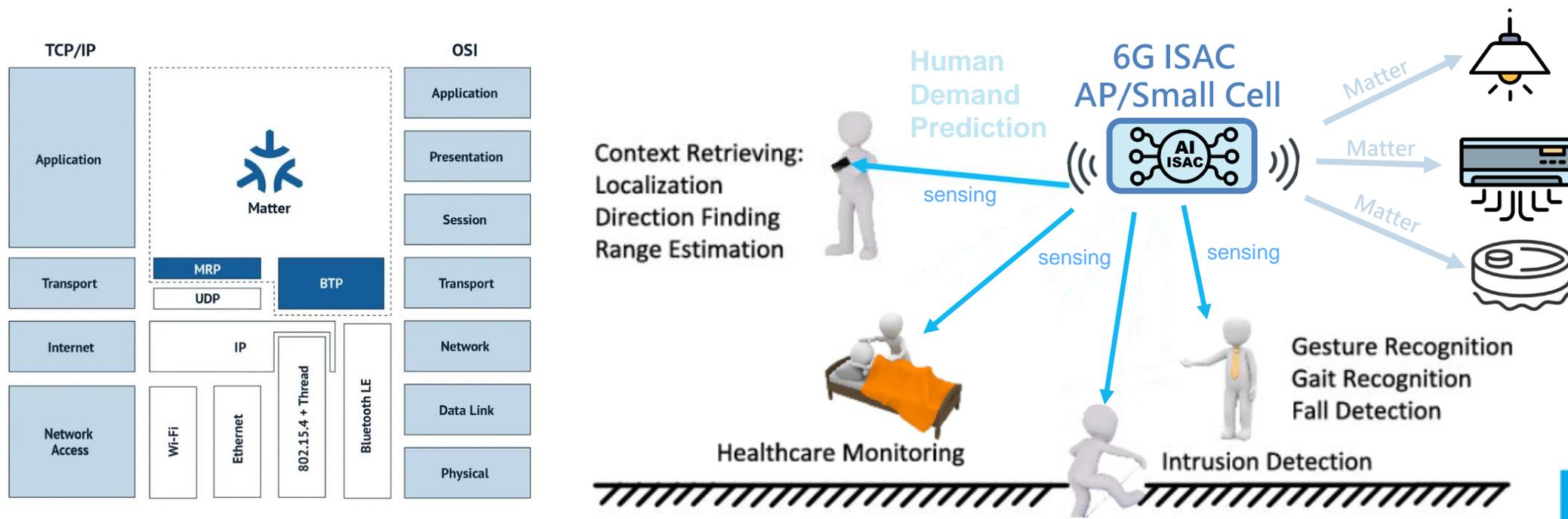
全屋智能

存在、位置追蹤、跌倒監測、姿態檢測、人員計數、進出門、在床/不在床、呼吸睡眠監測

Ref: Vayyar Care

6G ISAC + AI Workstation 智慧居家

- 除進行物件辨識與追蹤，也可透過長時間**觀察人類行為**及**下一步動作**，從中**學習**並據以**自動提供服務**，**取代**現行透過語音控制之Google Home、Amazon Echo等，成為家庭管家。
- AI Workstation可透過**Matter Protocol**控制家中智慧家電。
 - Matter Protocol於2019年由Amazon、Apple、Google、Samsung聯合發起，並於2022年10月正式發布並開放認證，為目前最**通用之智慧家電通訊協定**



全球ISAC發展情形

國際大廠

於指標性科研盛會及商展展示ISAC技術應用



QUALCOMM PoC Demo



歐盟SNS JU徵案計畫

核准多項著重ISAC技術之研發創新計畫

Hexa-X計畫ISAC Demo



B5G/6G重要國際(標準)組織

撰寫ISAC標準白皮書，乃至成立工作組

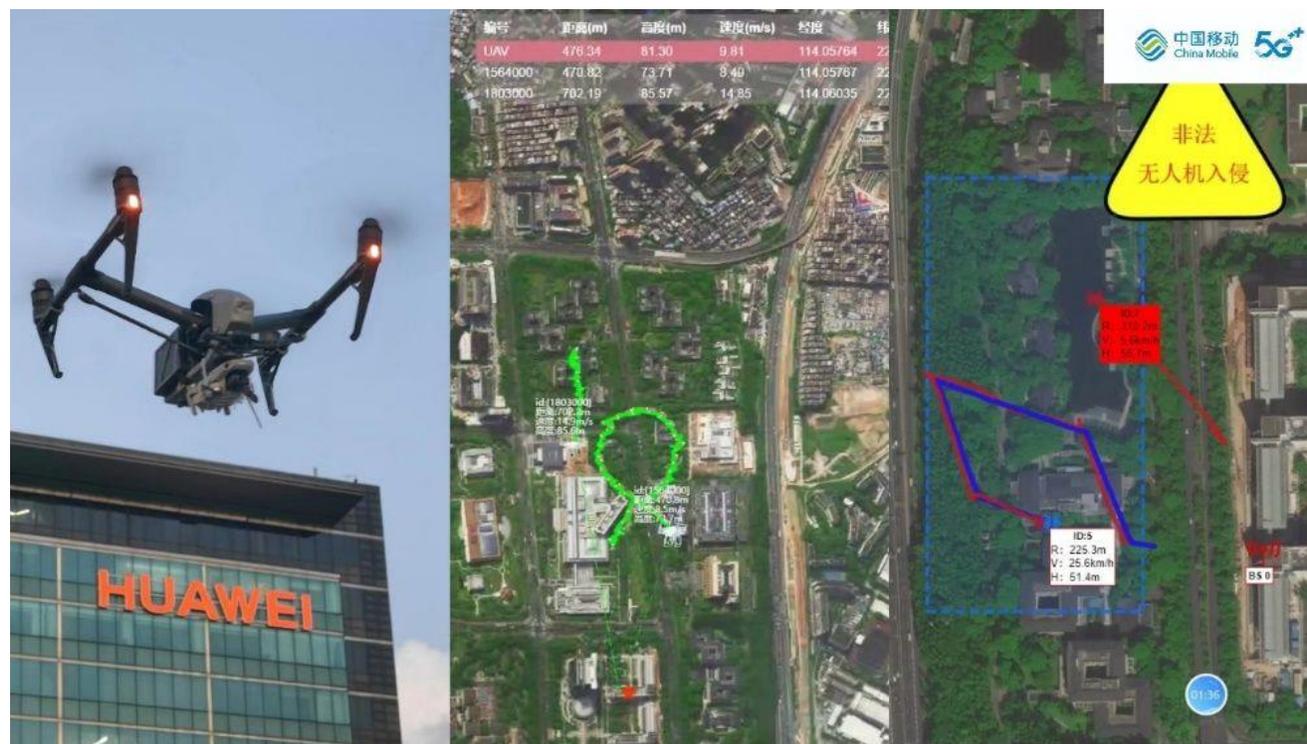


ETSI成立ISAC ISG



華為、中國移動在中國實現5G-A (ISAC)低空無人機應用

- **測試成果**：基於5G-A通感一體網絡，成功實現低空無人機的精準追蹤、非法入侵偵測、電子圍欄等功能，識別率達100%
- **技術突破**：5G-A基站不依賴GPS，利用反射信號進行物體位置、速度、軌跡的感知
- **應用場景**：為深圳低空經濟發展提供技術支持，推動低空飛行器的即時管控與創新應用



Ref: <https://www.dutenews.com/n/article/7551480>

HUAWEI已研發2類Prototype，並發表實驗成果

■ ISAC-THz Prototype

已驗證基於太赫茲的整合感測和通訊原型機，採用140 GHz載波頻率、8 GHz頻寬和4TX16R MIMO陣列。太赫茲波從天線陣列發出，穿透盒子，並被盒子內的物體反射回天線。經過演算法即時採樣和處理後，產生並顯示成像結果。

Ref: <https://www.huawei.com/en/huaweitech/future-technologies/6g-isac-thz>

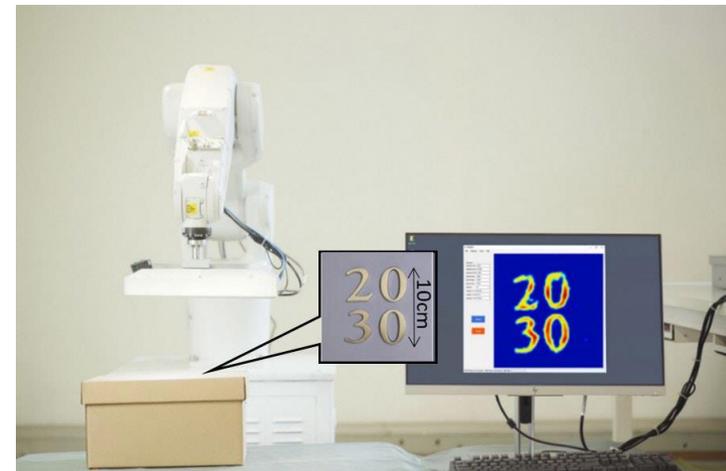
■ ISAC-OW Prototype (光無線整合感測與通訊)

華為6G研究團隊的第1個 ISAC-OW 原型在架構和功能上實現了整合通訊、定位和感測。原型機模擬了醫療環境，機器人透過光學無線鏈路(例如可見光和紅外光譜)進行精確感知和定位，並可以遠端命令機器人拾取和搬運物體。此外還可以高速無線傳輸機器人和控制器之間的即時視頻，實現整合感測和通訊。

Ref: <https://www.huawei.com/en/huaweitech/future-technologies/6g-isac-ow>

商業化進程

- ISAC功能的早期系統和原型可能會在2025-2027年開始進行測試和早期部署。
- 具備ISAC功能的基站將隨著6G的推進進行部署，預計2030年左右開始大規模應用。



ISAC-THz Prototype



ISAC-OW Prototype

結合歐洲夥伴和印度研究能量發展ISAC技術

- 受到德國政府支助，Nokia從2022年11月開始領導**KOMSEN-6G計畫**進行ISAC研究，並預計於2022至2025年間，解析**ISAC在工業4.0與自駕車領域的應用**。
 - KOMSEN-6G計畫的參與夥伴包含德國領導電信業者德國電信、國際汽車零組件供應大廠Bosch、測試商Rohde & Schwarz以及多所大學，並曾在Bosch的德國工廠進行AGV與機器人的移動試驗，整個計畫補助金額約為1,680萬美元，高達約7成經費直接由德國政府支助。

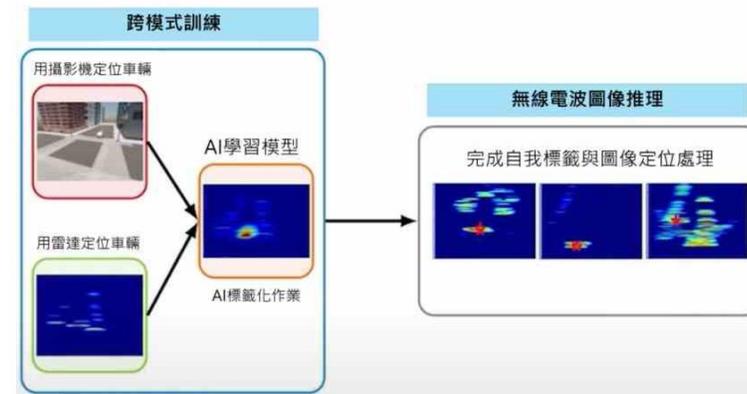
Ref: <https://mic.iii.org.tw/aisp/ReportS?docid=CDOC20240415004>

- 2023年10月Nokia在印度也成立實驗室研究「Network as a Sensor」技術。2024年2月宣告自家的Nokia Bell Labs已在ARENA2036設施中進行ISAC的原型機測試，透過無線電波的發射與接收，可以了解AGV所在的位置、行徑範圍，並在雷達圖上顯示。

Ref: <https://www.youtube.com/watch?v=SCCvLPqtur8>

商業化進程

- Nokia計劃在2030年實現6G商業部署，並預計2028年開始進行預商業測試。
- 時間表與全球6G標準化工作同步，預計未來幾年有機會展示原型和初期系統。

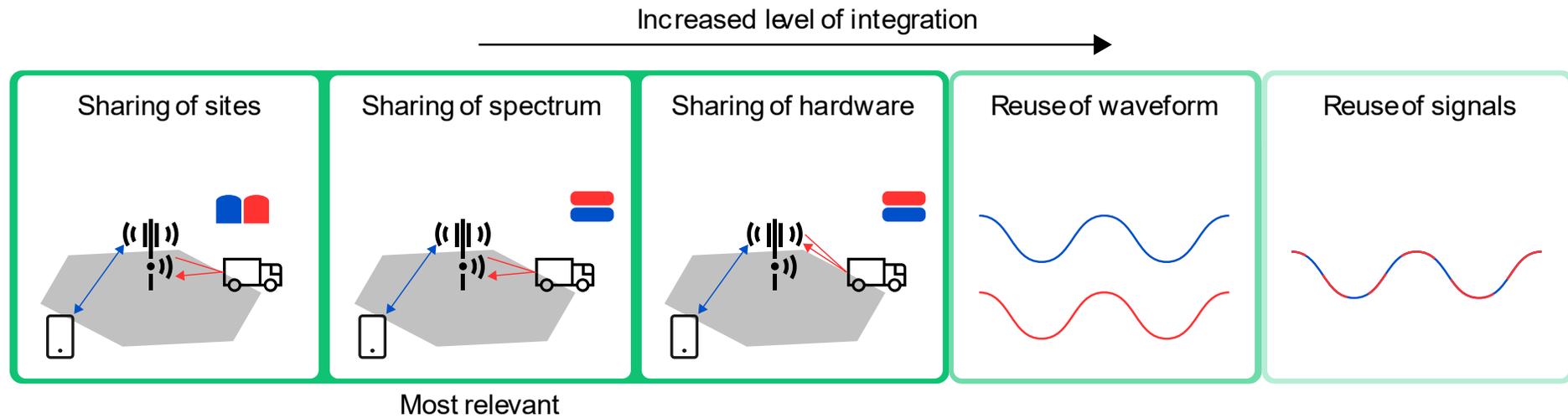


Multistatic sensing topology



ISAC的原型機測試，可追蹤AGV

Introduction to ITRI 6G ISAC Technology



ISAC技術主要挑戰

- **3GPP ISAC相關標準化仍在觀望中**：目前 3GPP 僅在 RAN1 中針對感測的通道建模進行討論，且僅制定了以無人機相關應用作為情境。ISAC 的標準化進程仍處於早期階段。
- **技術成熟度與整合需進一步提升**：同時，將 ISAC 技術與新興技術（如 AI 和 RIS）高效整合仍是複雜的任務。為實現更廣泛的應用，需要開發高效能算法、進行多場景的實驗驗證，並加強技術整合。
- **新頻段研發與合作挑戰**：探索 6G 可能使用的 FR2 和 FR3 頻譜面臨技術與合作上的挑戰。新頻段的研發需要克服硬體設計、信號處理和頻譜管理等方面的困難，同時需要與國內外合作夥伴密切協作，共同開發支持 ISAC 技術的完整解決方案，以加強台灣在全球技術生態系中的競爭力

| 挑戰類別 | 具體問題 | 解決方向 |
|------------|----------------------------------|--|
| 標準化挑戰 | 缺乏全球統一的ISAC技術標準，導致跨國協作困難 | 國際標準組織（如3GPP、ETSI）正在推進ISAC標準化進程，以促進全球協作 |
| 技術成熟度與整合 | ISAC技術與其他技術（如AI、RIS）難以高效整合 | 需要進一步開發低功耗、高精度的感測算法，並進行多領域測試和驗證 |
| 新頻段研發與合作挑戰 | FR2、FR3不同頻段特性，如何實現ISAC；且目前生態鏈不完善 | 深化對FR2、FR3頻譜特性研究，加強國內外合作，開發支持ISAC技術的完整解決方案 |

Integrate Sensing and Communication (ISAC)

How to realize ISAC?

■ Separate signals-based

- Challenges: Interference, bandwidth limitation, , and complex bandwidth allocation methods

■ Communication waveform-based (OFDM)

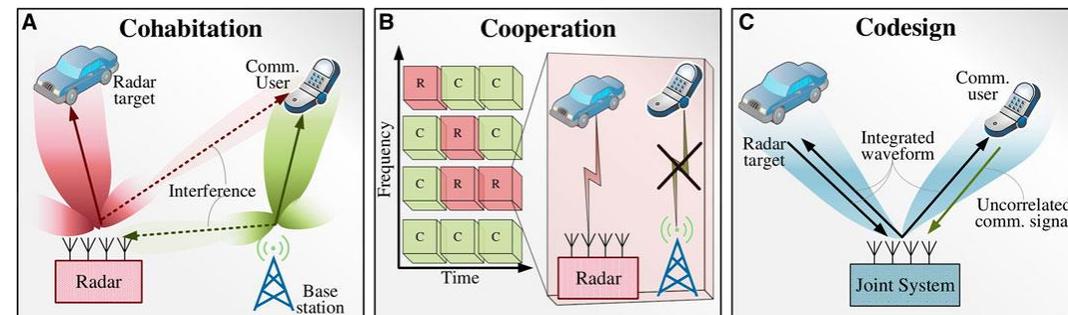
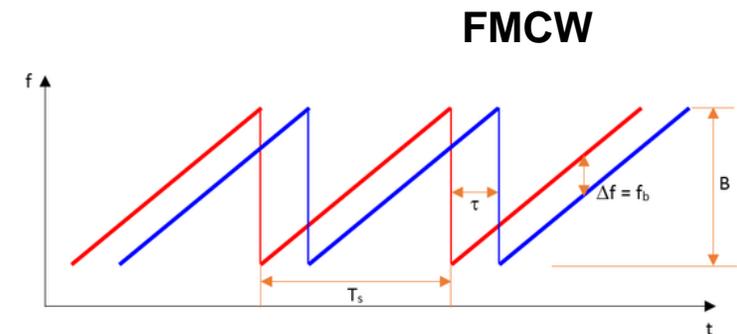
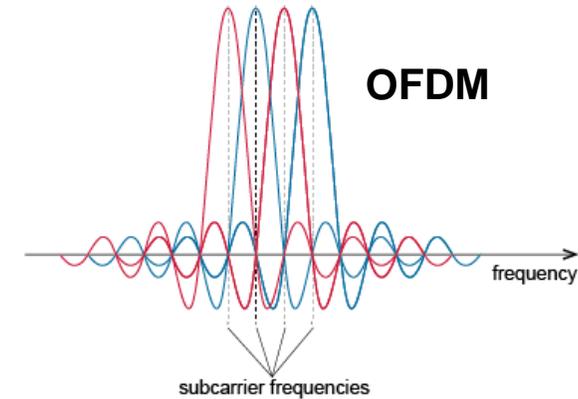
- Challenges: complicated radar detector

■ Radar waveform-based (FMCW)

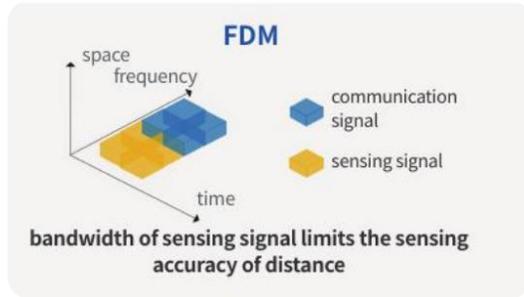
- Challenges: inherently low transmission rate

■ Joint waveform

- Challenges: cannot work on existing radar and communication systems



Comparison of ISAC Signal Multiplexing Techniques

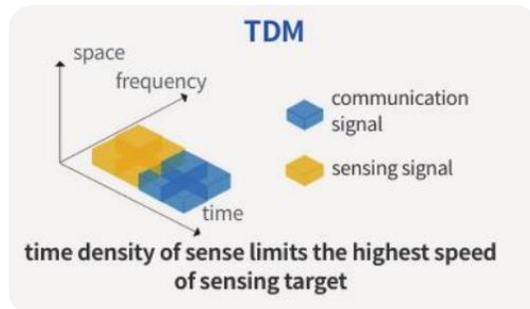
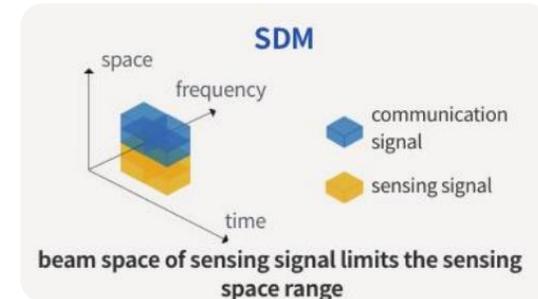


Frequency Division Multiplexing (FDM)

- **Advantage:** Avoids interference, good for long-range sensing
- **Disadvantage:** Low spectrum efficiency, high resource usage

Space Division Multiplexing (SDM)

- **Advantage:** Efficient spatial use, reduces beam interference
- **Disadvantage:** Requires complex spatial management

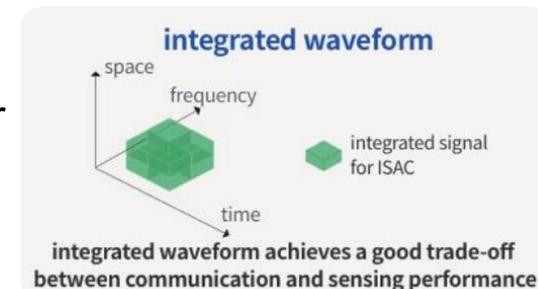


Time Division Multiplexing (TDM)

- **Advantage:** High temporal resolution, avoids frequency congestion
- **Disadvantage:** Complex time synchronization needed

Integrated Waveform

- **Advantage:** Best spectrum efficiency, optimizes performance for both communication and sensing
- **Disadvantage:** High technical complexity for waveform design



5G vs 6G Sensing

6G Usage Scenarios

1. Both network & non-network objects

Accuracy: 0.1m
Range: <200m

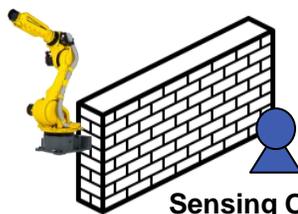
Real-time trajectory tracking & path planning



Sensing enabled BS

Beam 1
Beam 2

Navigation without Sensors



Sensing Objects

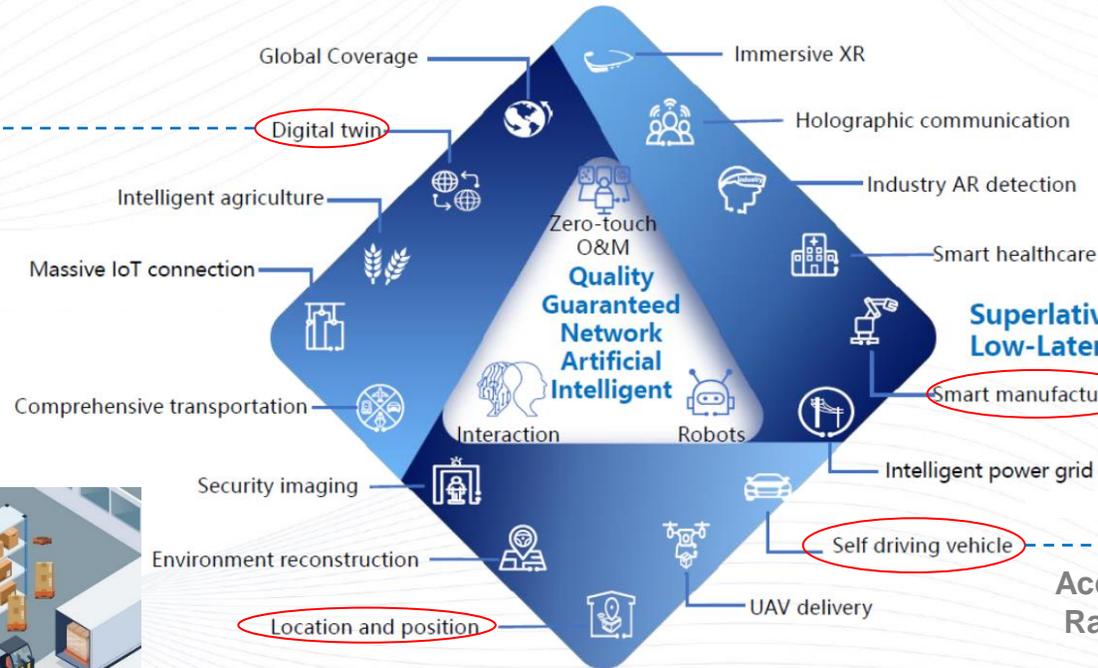
Non-networking

NLOS (Non Line of Sight)

Beam 1
Beam 2

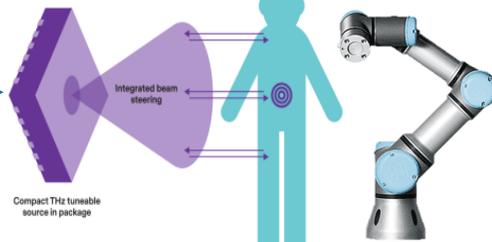
Sensing enabled BS

Super Mobile Broadband



Real-time remote control co-robots from anywhere

Sensing Object



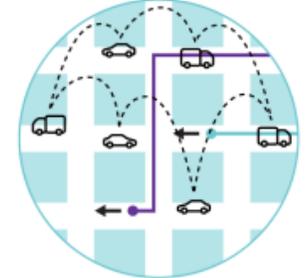
Operate without sensors

Non-networking

Superlative Ultra-Reliable and Low-Latency Communication

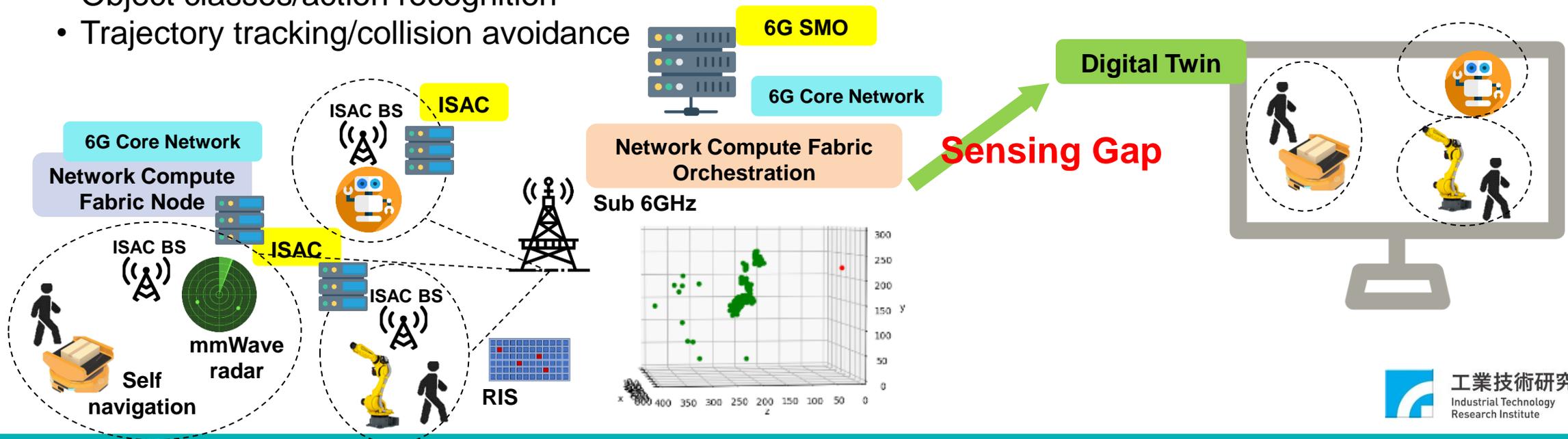
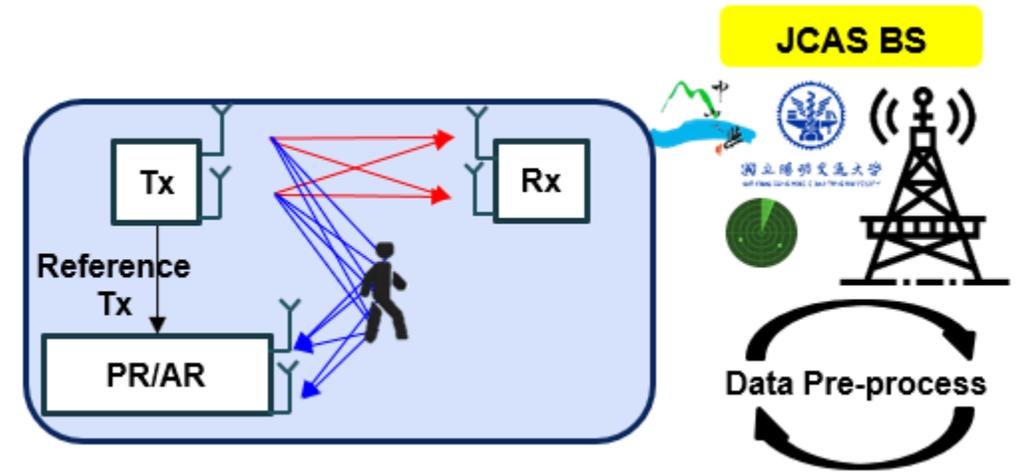
2. Real-time global view including invisible range

Accuracy: 0.1m
Range: <10km



Filling the Sensing Gap

1. Research domain of allowing BS/UE enable the sensing capability in addition to communication
 - add a specialized radar receiver on the BS for receiving reflected waves, CSI, new chipset&RF design...
2. Raw point cloud is not "advanced" enough
 - **Advanced sensing information is required** for 6G use cases
 - Object classes/action recognition
 - Trajectory tracking/collision avoidance



不同頻段ISAC策略規劃

FR1

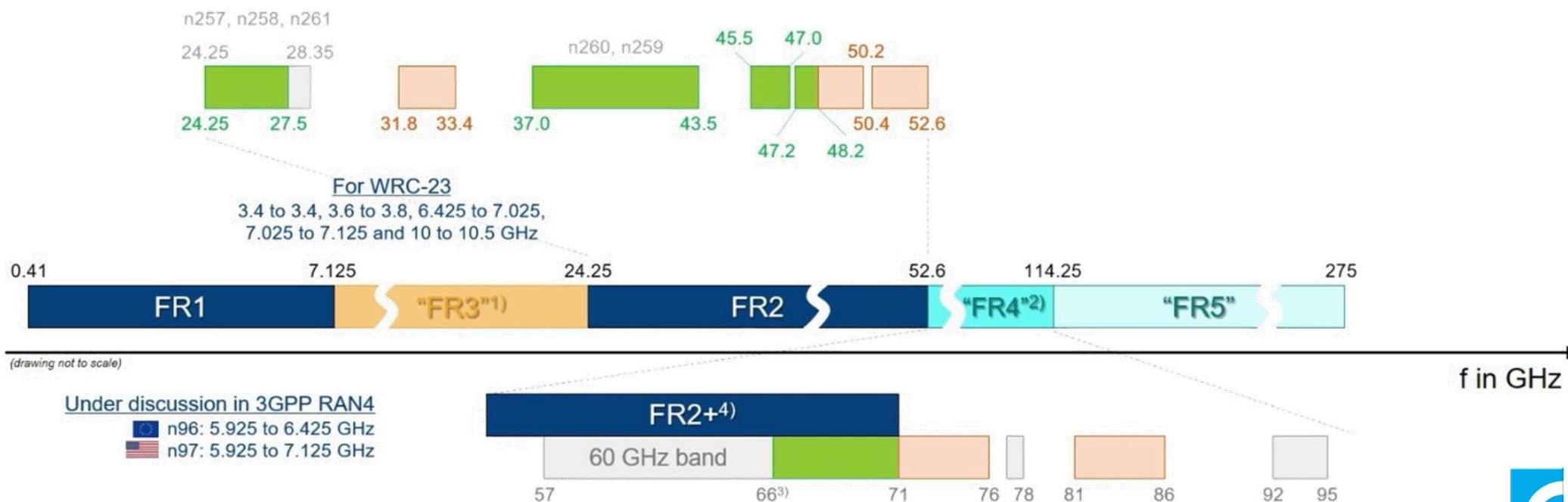
- 基於5G研發能量，透過**rAPP**與**xAPP**，開發符合**O-RAN**架構之ISAC自主技術
- 利用**AI/ML**技術彌補FR1低頻寬**低感知解析度**問題

FR2

- 國內有FR2基地台產品，但較**無法掌握關鍵技術**，且**市場尚未成熟**
- 與國際其他單位/計畫合作ISAC相關技術，開發**FR2晶片/天線**

FR3

- 使用**USRP**模擬FR3 ISAC基地台，透過**TDM**、**SDM**方式實現通感整合於一套硬體中
- **與國內廠商合作升頻至FR3頻段**
- **同樣可運用於FR2頻段**



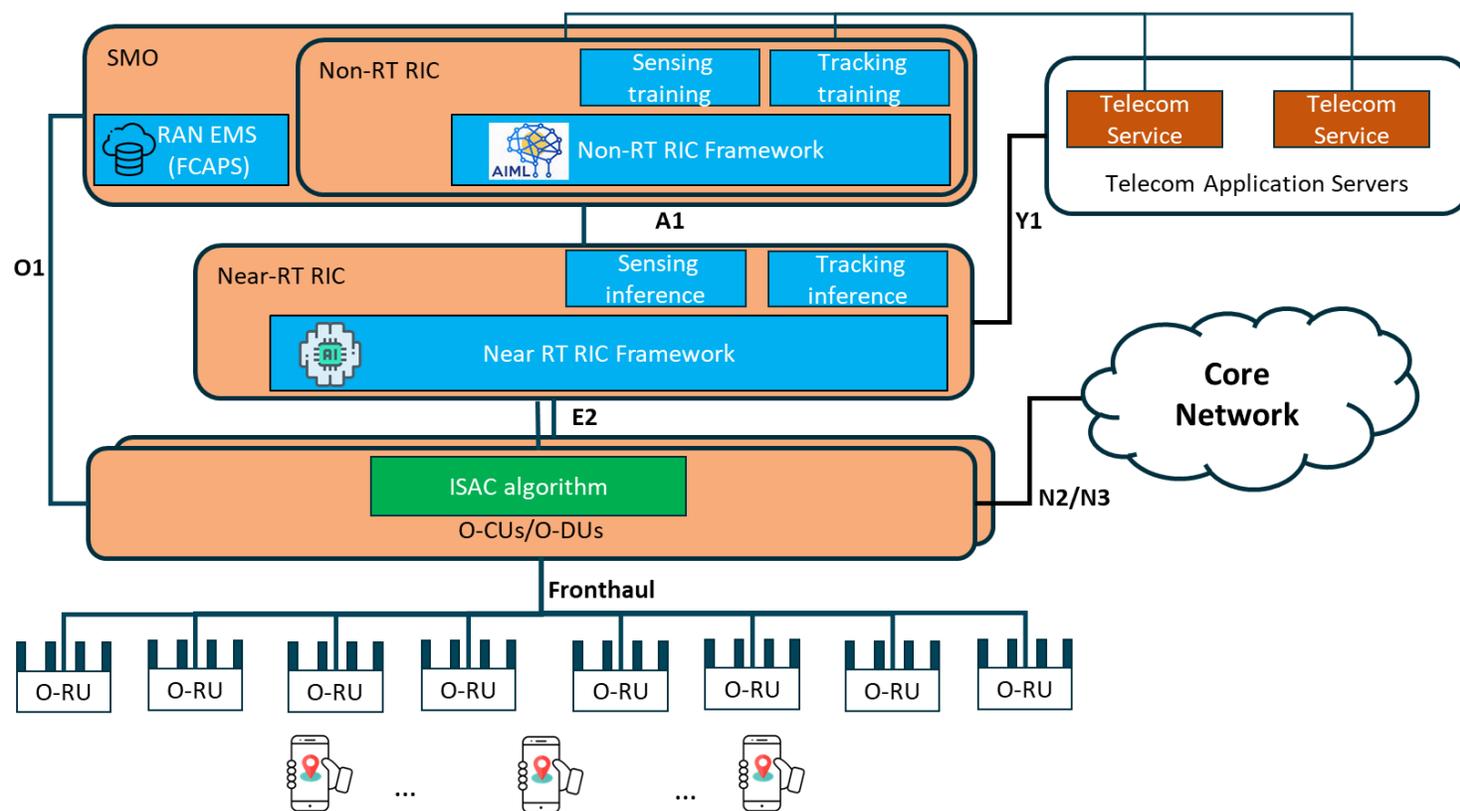
FR1 ISAC策略規劃: 基於O-RAN架構開發

■ 基於O-RAN的ISAC技術

- 利用O-RAN的開放性，與國內O-RAN基地台廠商合作，快速推動ISAC技術在多個垂直應用中的發展。
- O-RAN系統的模組化設計使ISAC技術的開發可以無縫地與現有基礎設施整合，提升感測通訊的精度和效率。

■ 使用現有資料CSI、UTDoA使ISAC技術快速商品化

- 使用現行可取得資料，減少基地台合作廠商開發成本與時程。
- 延續過往Wi-Fi Sensing技術與能量，透過CSI感知非聯網物體。



Sensing Algorithm Based on Subcarriers in CSI

■ From CSI to Point Cloud Technology

- Transforming CSI-related data through computation into point cloud maps similar to those provided by radar
- Point cloud information requirements: distance, speed, angle

■ Sensing Reflection Distance (ToF; Time of Flight)

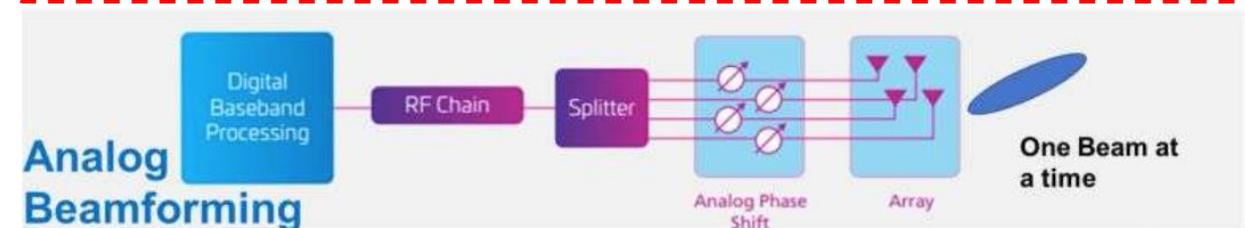
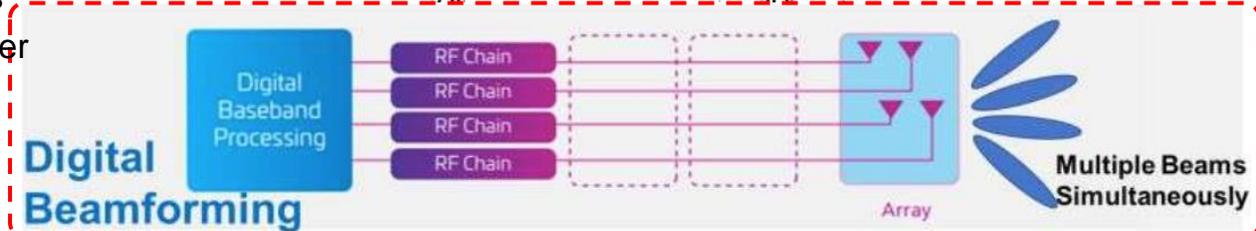
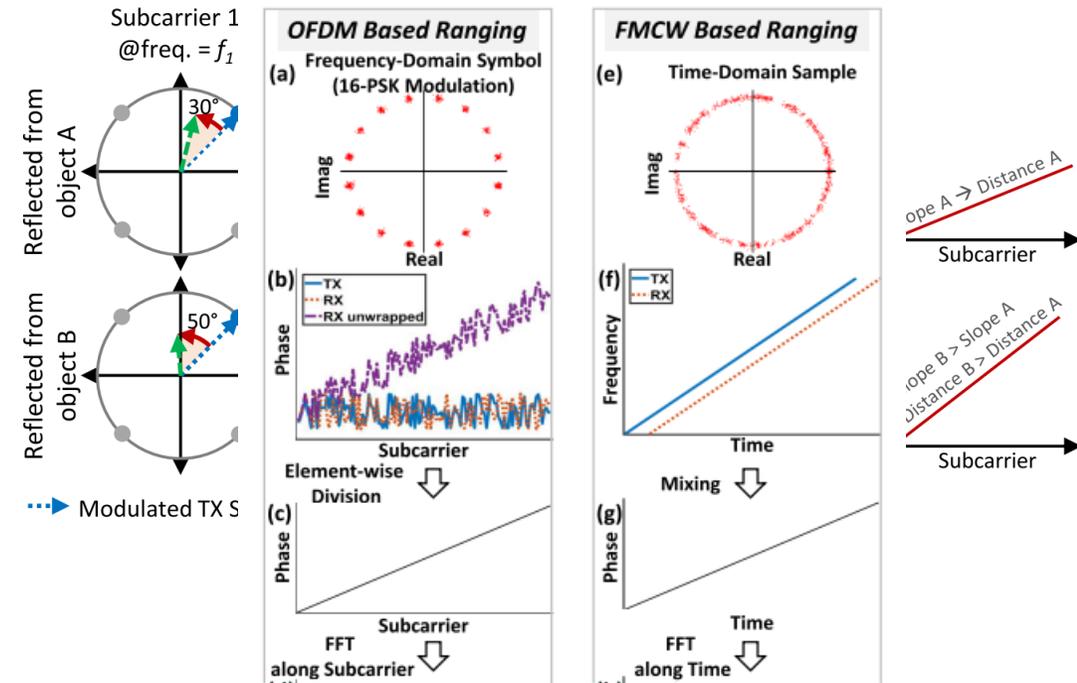
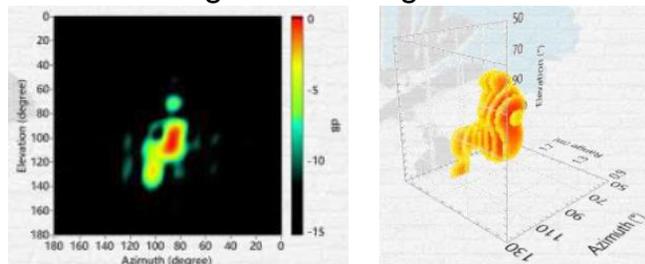
- Phase shift in different CSI subcarriers is proportional to ToF
- The slope of ToF phase shift is directly proportional to the distance of the reflector
- Theoretically, the OFDM subcarrier frequency symbol can correspond to the time-domain signal in FMCW → Like FMCW, a slope graph can be obtained, and FFT transformation can identify the locations (ranges) with reflectors

■ Speed Information

- Extracted from phase changes over time during CSI update process
- Equivalent to calculating from ToF (current) plus time parameter phase changes

■ Angle Information

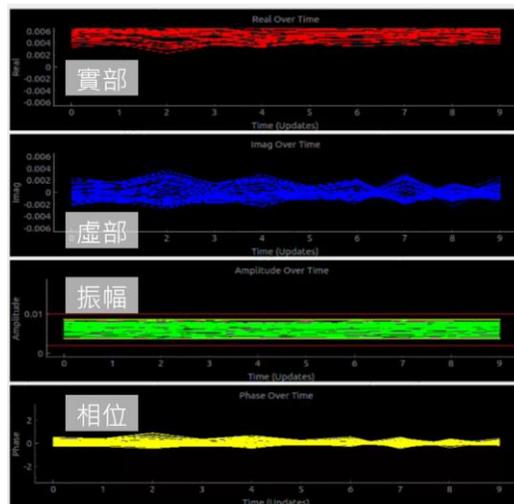
- Obtained through Digital beamforming data for angle information



展示使用AI技術使5G基地台具備感知能力

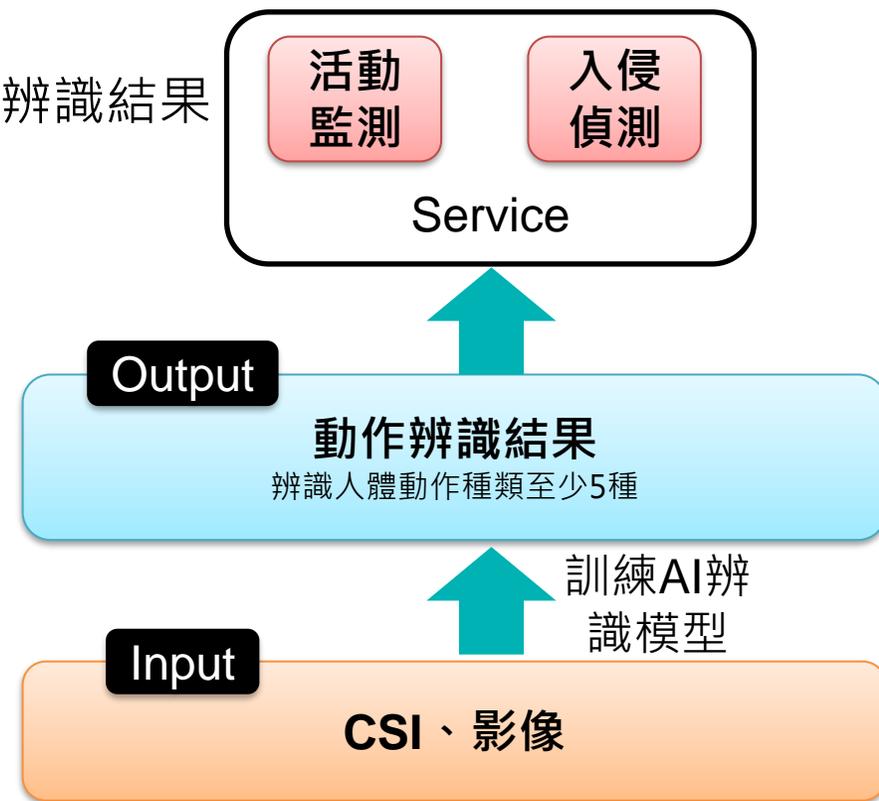
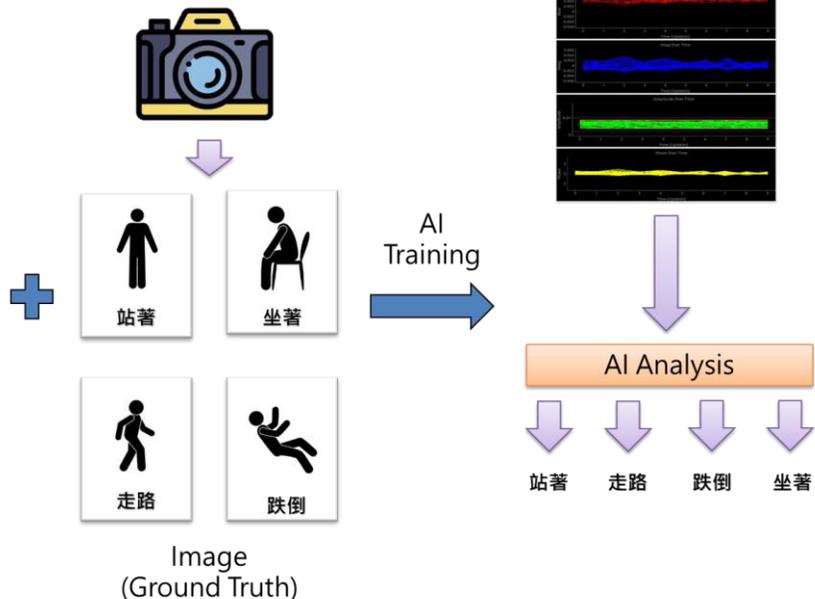
環境物件動作辨識

- **Input** : CSI、影像
- **方法** : 將CSI的**實部**、**虛部**、**震幅**與**相位**做為CSI變化的特徵，搭配攝影相對應動作的圖片，訓練AI從CSI變化特徵辨識人體姿態CSI變化，以每5秒為區間，若從CSI變化偵測到相應動作輸出辨識結果，以此辨識人體的姿態與行為。
- **Output** : 透過O-RAN標準介面，開放subscribe，publish動作辨識結果
- **指標** : 辨識人體動作種類至少4種



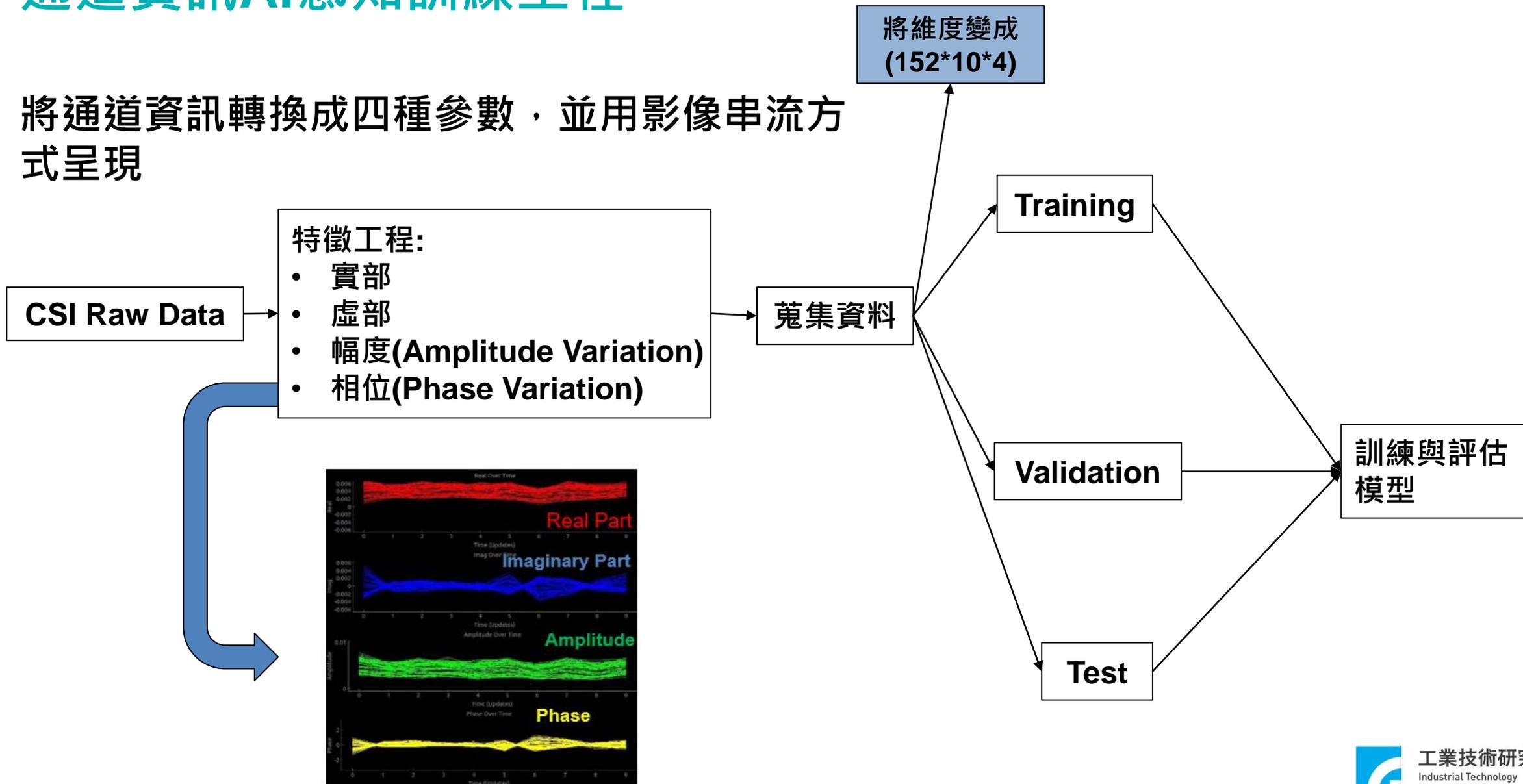
CSI Data

$$\begin{aligned} \text{CSI格式: } & a + bi \\ \text{CSI相位: } & \arctan\left(\frac{b}{a}\right) \\ \text{CSI振幅: } & \sqrt{a^2 + b^2} \end{aligned}$$



通道資訊AI感知訓練工程

將通道資訊轉換成四種參數，並用影像串流方式呈現



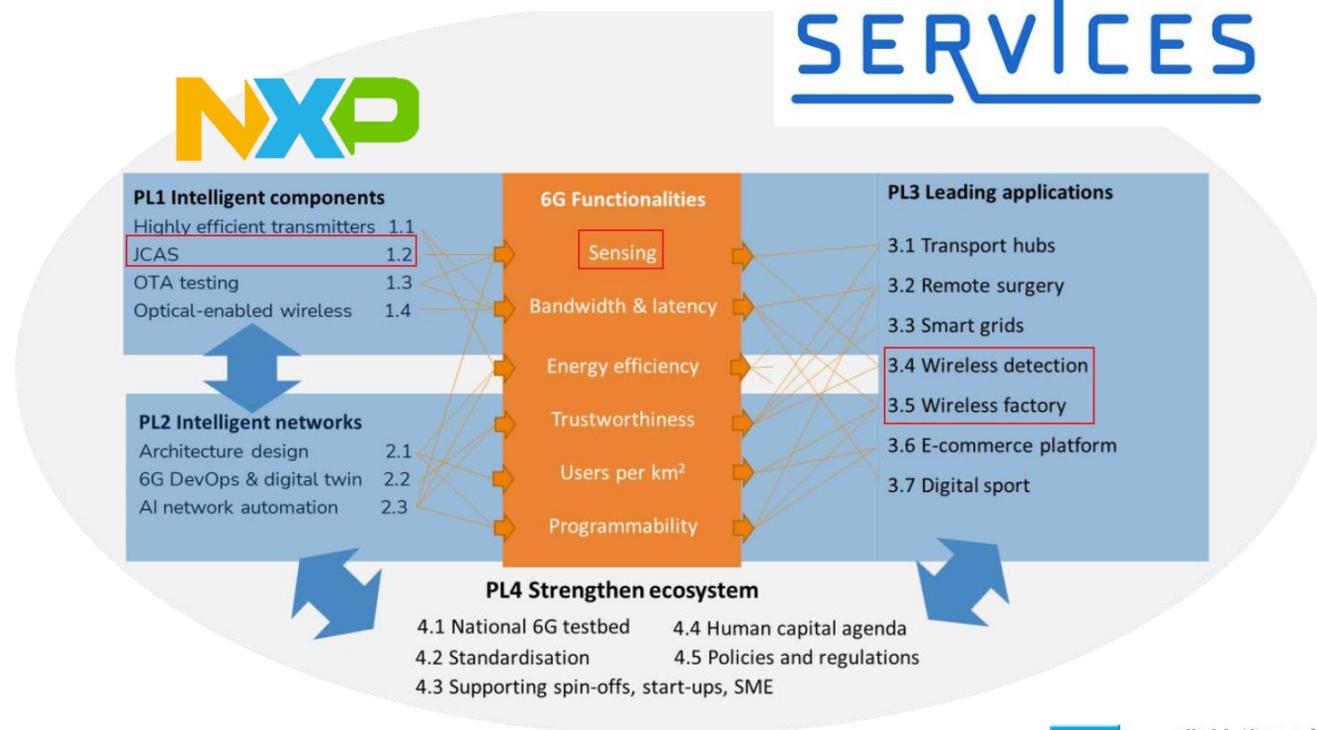
FR2 ISAC策略規劃: 與國際晶片大廠合作

■ Future Network Services荷蘭國家型6G計畫

- 為荷蘭國家型6G計畫，第一期從2024年執行至2026年中，共六千萬歐元。
- 其中1.2 JCAS由NXP主導。

■ 1.2 JCAS Intelligent Components

- 目標為標準制定、FR2硬體設計包含晶片、天線等、Chanel Modeling、Radio Resource Management。
- 國內許多廠商皆有採用NXP solution，且具備優良產品化能力，可達到互利合作。
- 期望透過此合作參與FR2 ISAC標準制定、第一時間取得FR2 ISAC硬體、協助制訂Chanel Model。



FR3 ISAC策略規劃: USRP實現ISAC功能

Time Division Multiplexing (TDM)

- **Advantage:** High temporal resolution, avoids frequency congestion
- **Disadvantage:** Complex time synchronization needed

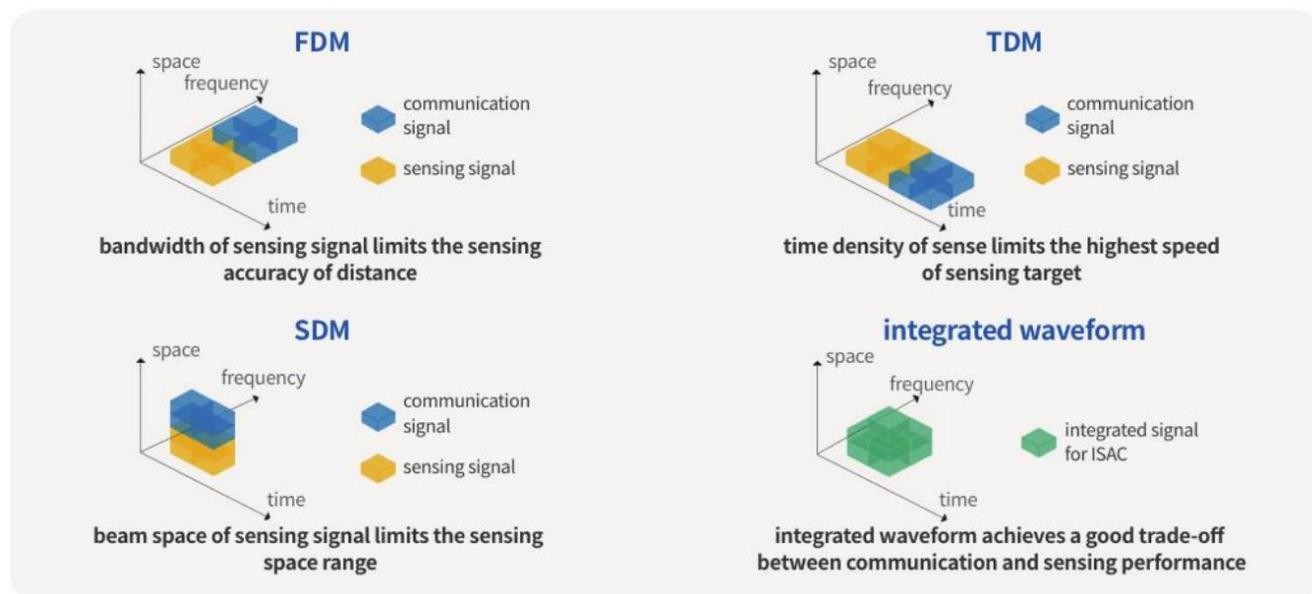
Space Division Multiplexing (SDM)

- **Advantage:** Efficient spatial use, reduces beam interference
- **Disadvantage:** Requires complex spatial management

■ 透過USRP實現TDM、SDM ISAC

- 不選擇FDM原因為瓜分頻寬將導致解析度下降
- TDM需處理複雜同步問題，需搭配USRP作為RX解決同步問題
- SDM則是影響可感知範圍，可透過UDBox連接多個不同方向RF實現
- 相同技術將可同時實現於FR2頻段

■ 與國內廠商合作，透過升頻器、RF模擬完整基地台



ITRI優勢：具體ISAC應用場景

模擬未來智慧工廠實際可能情境，以及驗證10cm精準度需求

- 操作員不需穿戴裝置、手機平板、攝影機，即可透過姿態控制Robot
→ 減少操作員負擔、成本；保護隱私、商業機密
- Robot不需額外Sensor與運算，接收中央指令移動，可專注於機械操作
→ 降低Robot成本、提升續航力、環境越聰明、裝置越簡單
- 提供高精準感知與定位，使操作員可直接與robot進行互動組裝協作
→ 在Robot需要與人「手」協作的前題下，證明10cm精準度的需求與效果
- 不需攝影機，進行人員與風險管控 → 隱私、機密
- 緊急狀況下啟動Robot Camera，輔助操作員判斷情勢



結論

- ISAC正成為數位化轉型的關鍵組成部分。
- ISAC技術有效整合無線通訊與感知系統，提升數據處理效率，並廣泛應用。借助AI與機器學習，ISAC實現更準確的感知與反應。
- 隨著標準化進程的加速，ISAC技術將釋放強大的商業潛力
- ISAC 在ITRI的技術發展策略

| 方向 | 描述 |
|--------------|--|
| 延續既有技術優勢 | ITRI 積極延續 Wi-Fi Sensing 和 5G O-RAN 技術，成功展示 5G O-RAN ISAC 的 PoC，展示應用潛力，為 6G 奠定基礎。 |
| 不同頻段合作與技術研發 | 除了 5G 頻譜，ITRI 探索 6G 使用的 FR2 和 FR3 頻譜，尋求合作夥伴，研發支持 ISAC 的解決方案，推動技術創新。 |
| 提升國際影響力 | ITRI 撰寫國際組織白皮書，參與國際計畫和展示，提升台灣在 6G 技術的國際知名度，影響 ISAC 技術的國際發展。 |
| 推動國內廠商參與國際合作 | 帶領國內廠商參與國際計畫和標準制定，推動產業升級，協助台灣產業進入全球 6G 市場，實現技術與商業價值雙贏。 |

Thank You For Your Attention

INNOVATING A BETTER FUTURE!

