

工業技術研究院

Industrial Technology
Research Institute

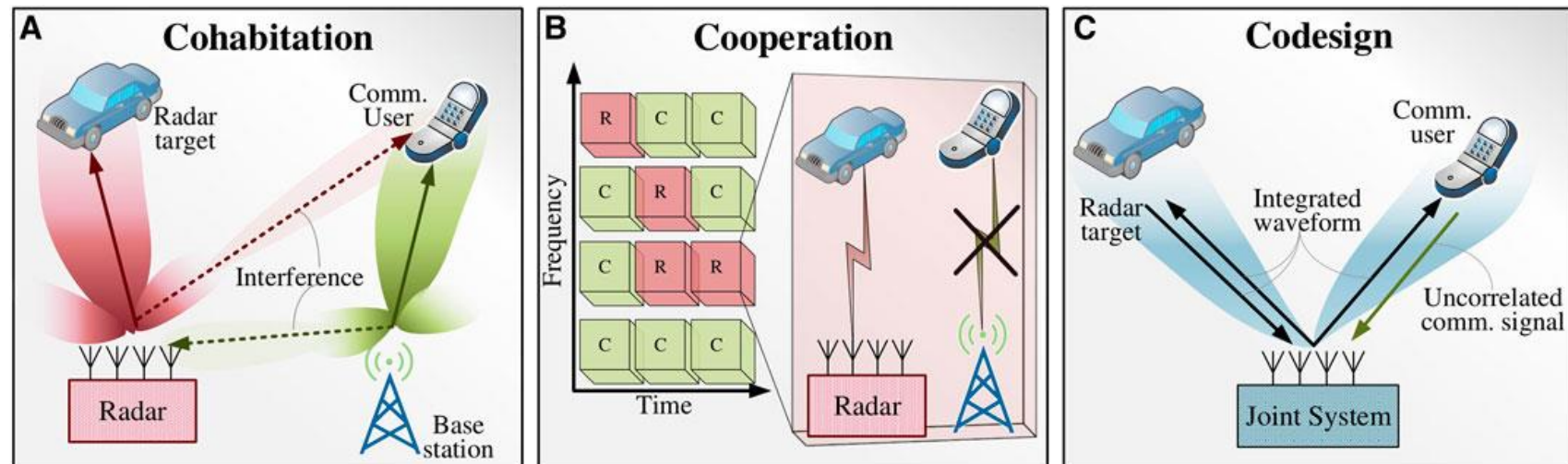
Introduction to 6G ISAC Technology 6G通感融合技術簡介

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”



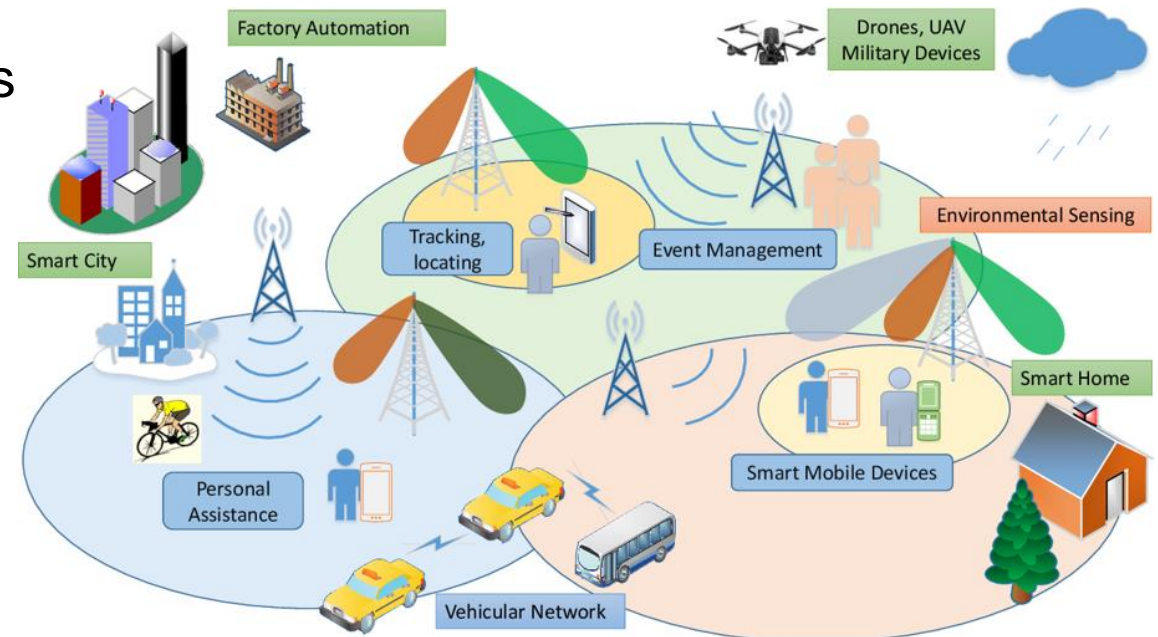
Integrate Sensing and Communication (ISAC)

■ Why ISAC?

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

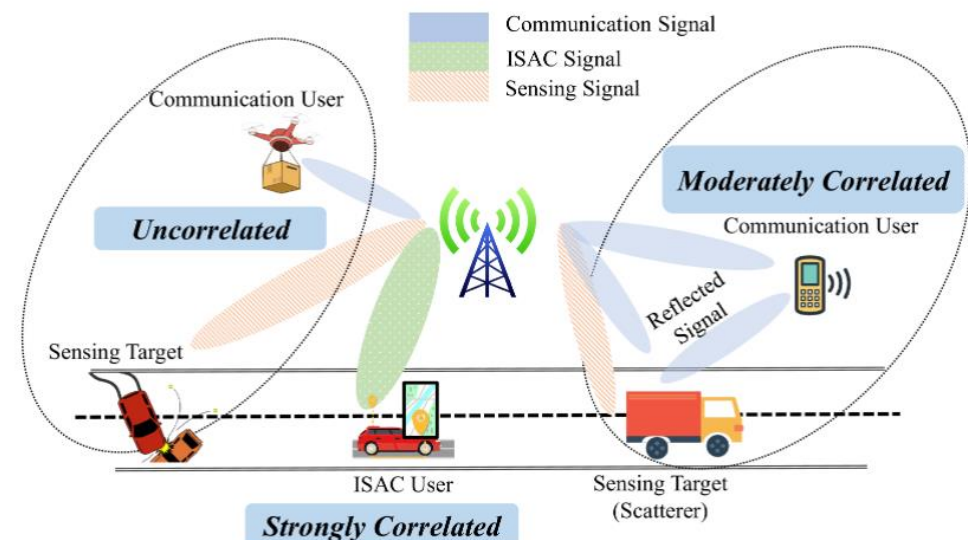
■ Wide usage scenarios

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



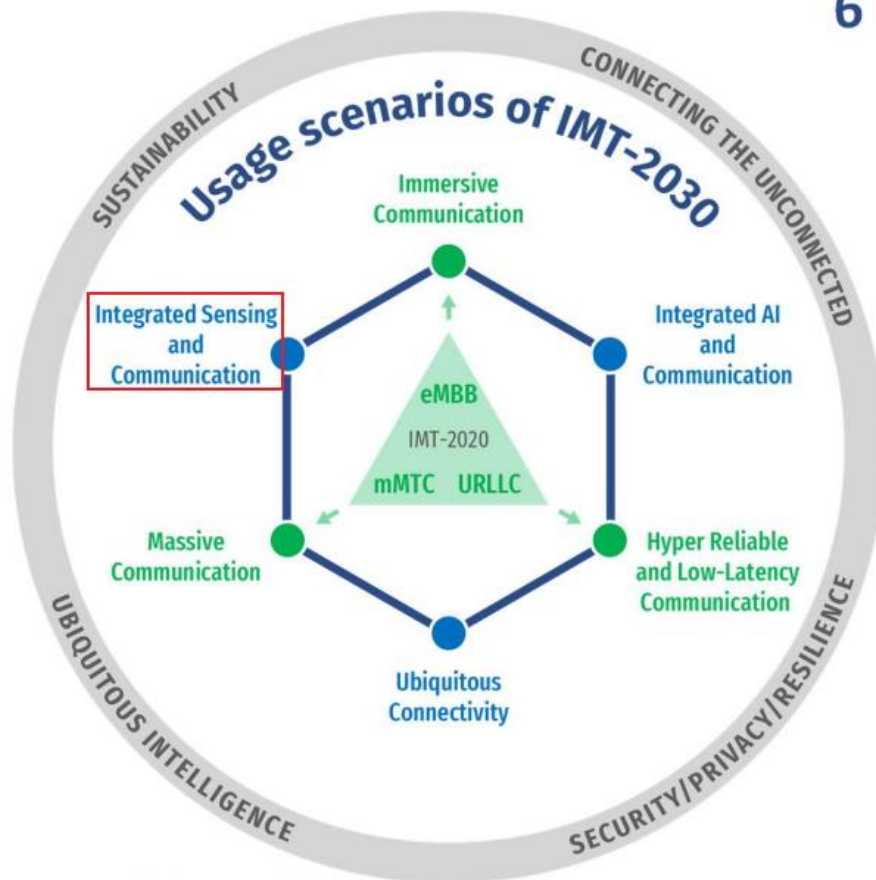
ISAC Development Trends

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:

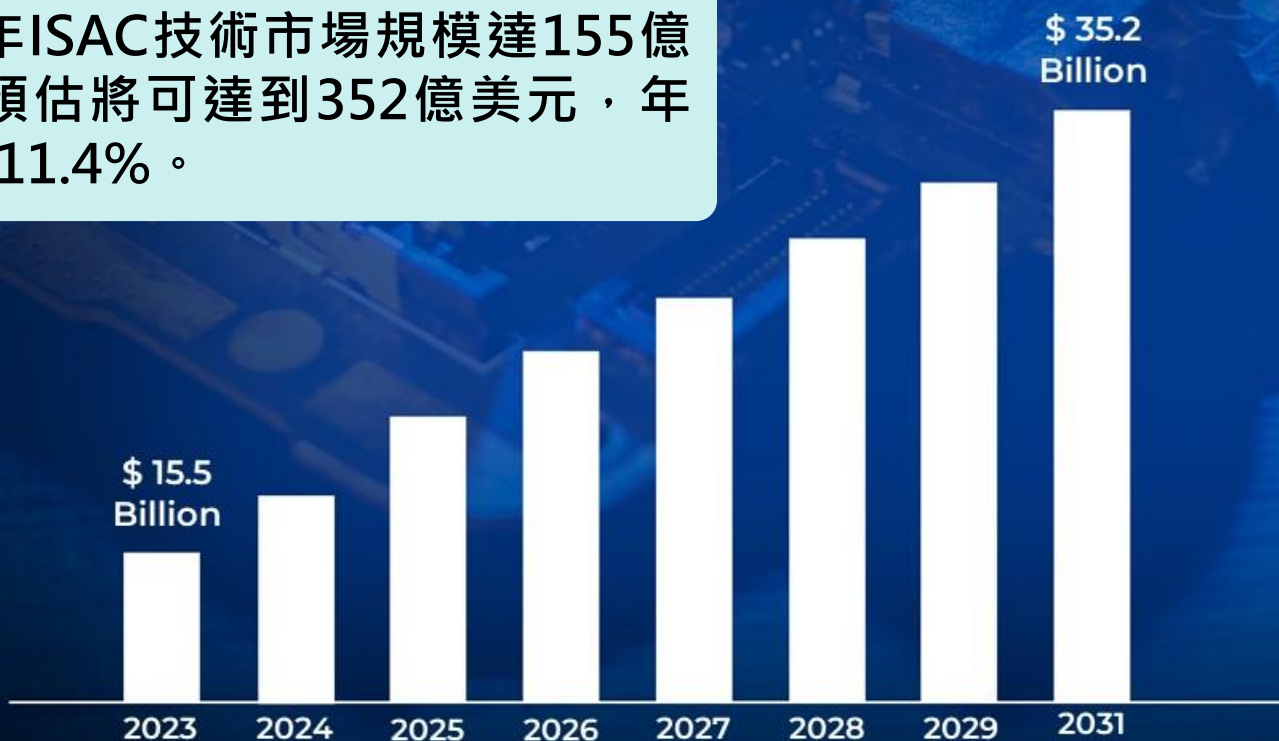
act as design principles commonly applicable to all usage scenarios

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

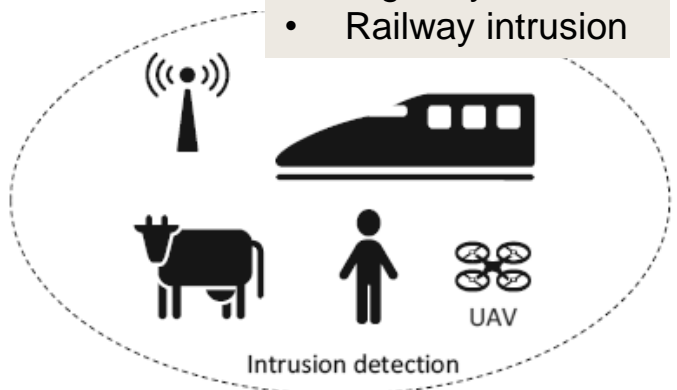
11.4%

CAGR from
2024 to 2031

Source:
www.verifiedmarketresearch.com

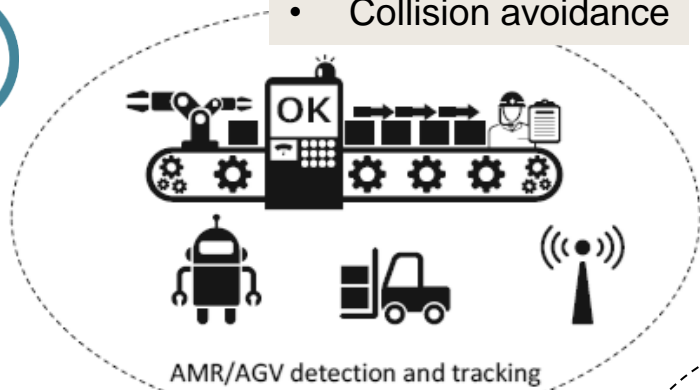
ISAC技術應用與創新

- Highway intrusion
- Railway intrusion

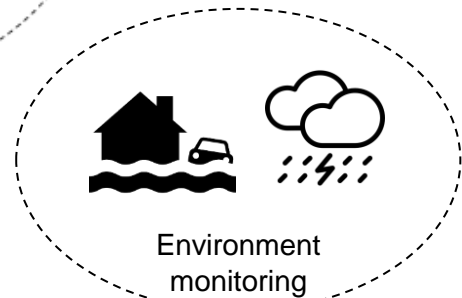


6G產業先期雛型系統

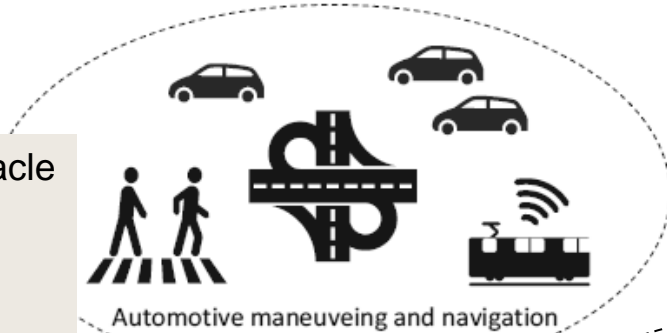
- Navigation
- Tracking
- Collision avoidance



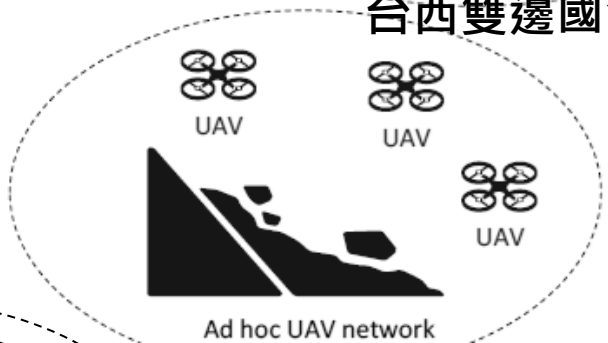
台西雙邊國合



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

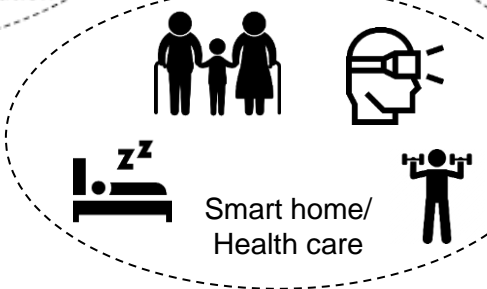


6G實驗網



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

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



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**



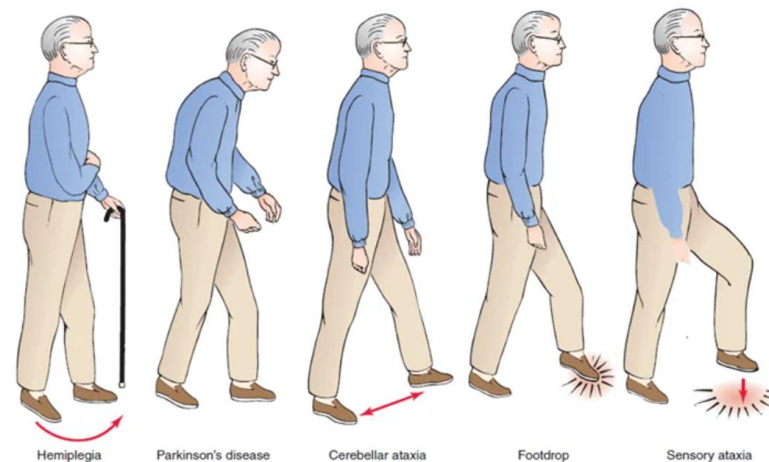
Potential Use Case – Long-term Care

■ Emergency Detection

- Fall detection

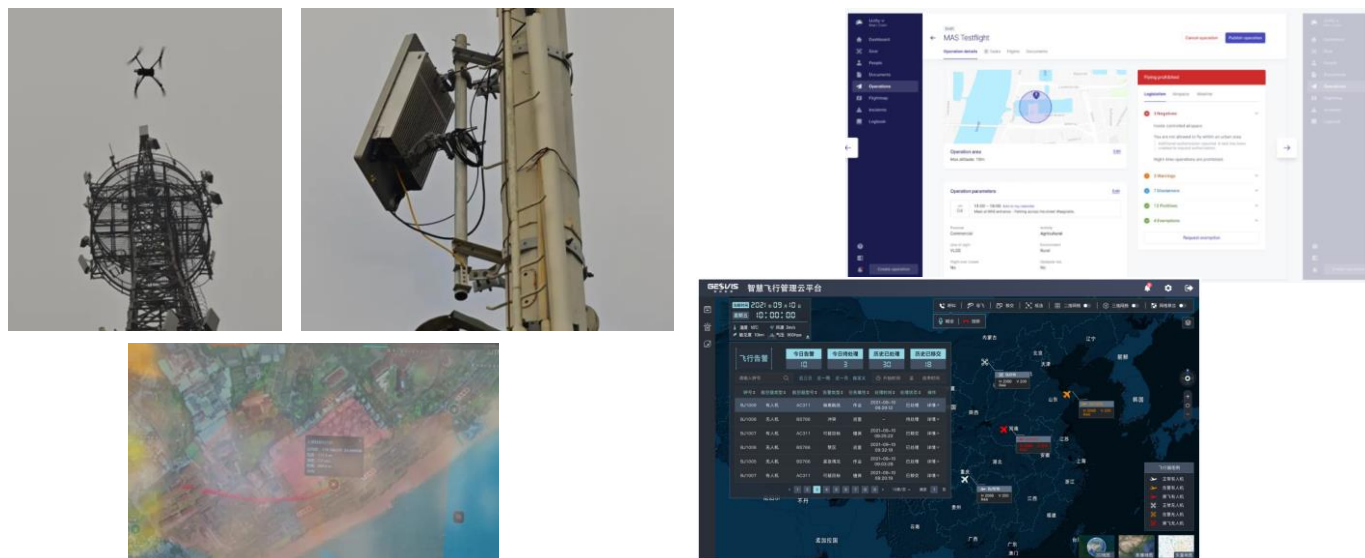
■ Multi-People Long-Term Action Recognition with Privacy

- 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

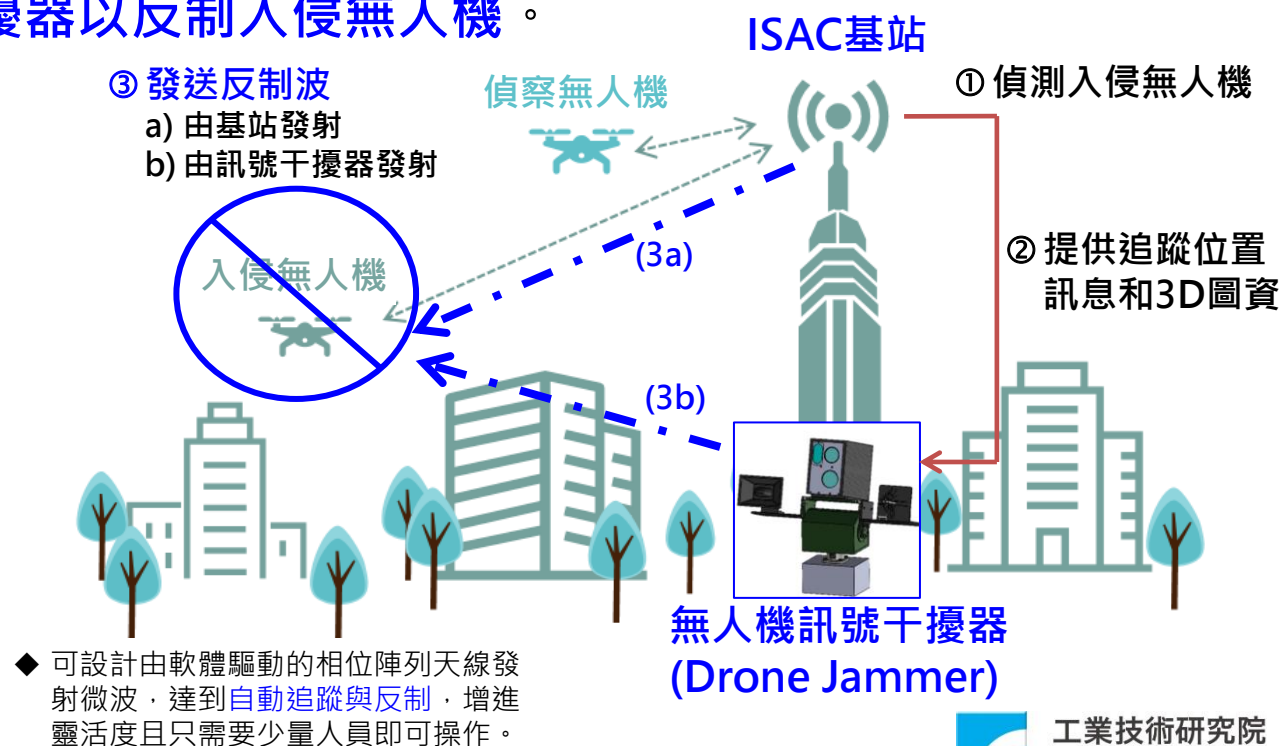
- **需求**：各種低空無人機應用基於5G發展越發蓬勃，例如娛樂拍攝、物流運輸、緊急救援、醫療救護、警務安防等，因此催生「**低空經濟**」。
- **無人機偵察**：基於通感整合技術提供的成像、地圖構建和環境重構能力，可**改善無人機偵察能力**，根據多基站感知能力，**在未知的環境中執行自動導航和路徑規劃**。
- **無人機群機協控**：控制無人機群避免相撞且完成各自任務目標，同時追蹤無人機軌跡，實現**無人機聯網飛行、群機組網任務支援協調、低空空域管理**等通感整合空域管理解決方案。



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

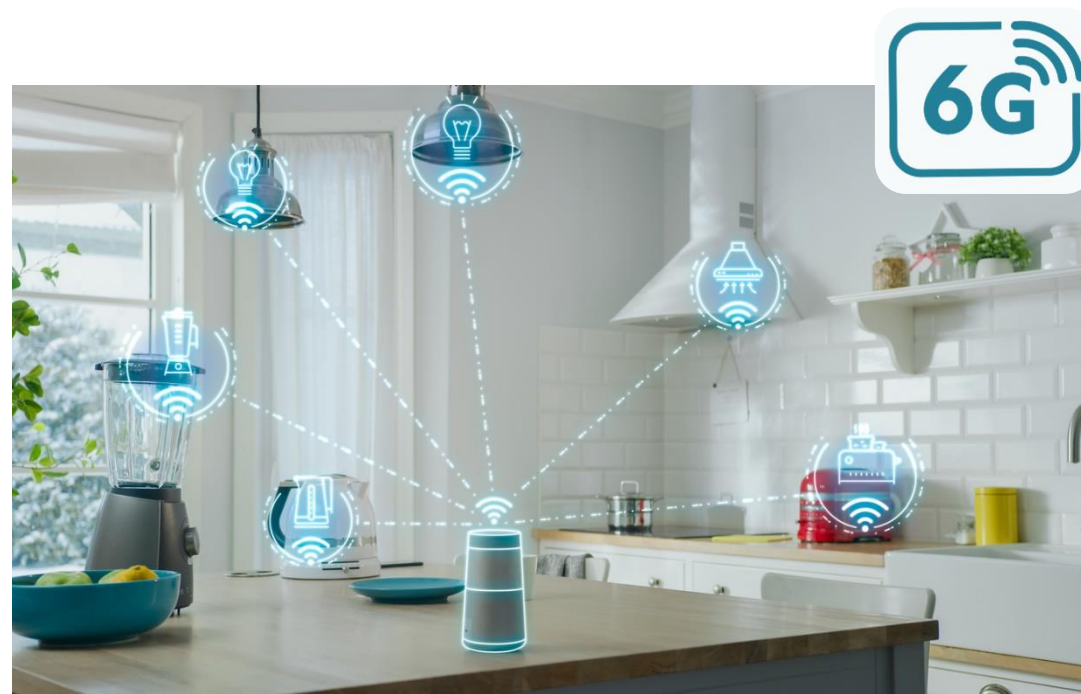
5G智慧居家

由人透過載具按照需求控制聯網設備。



6G智慧居家

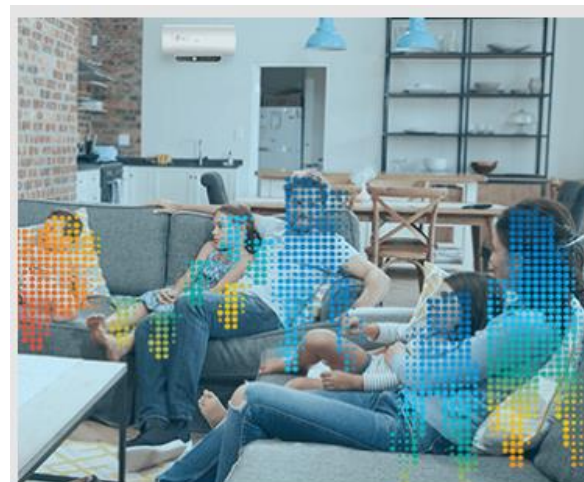
由AI助理 (AI Workstation) 學習人的行為模式自己判斷控制策略。



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。



全屋智能

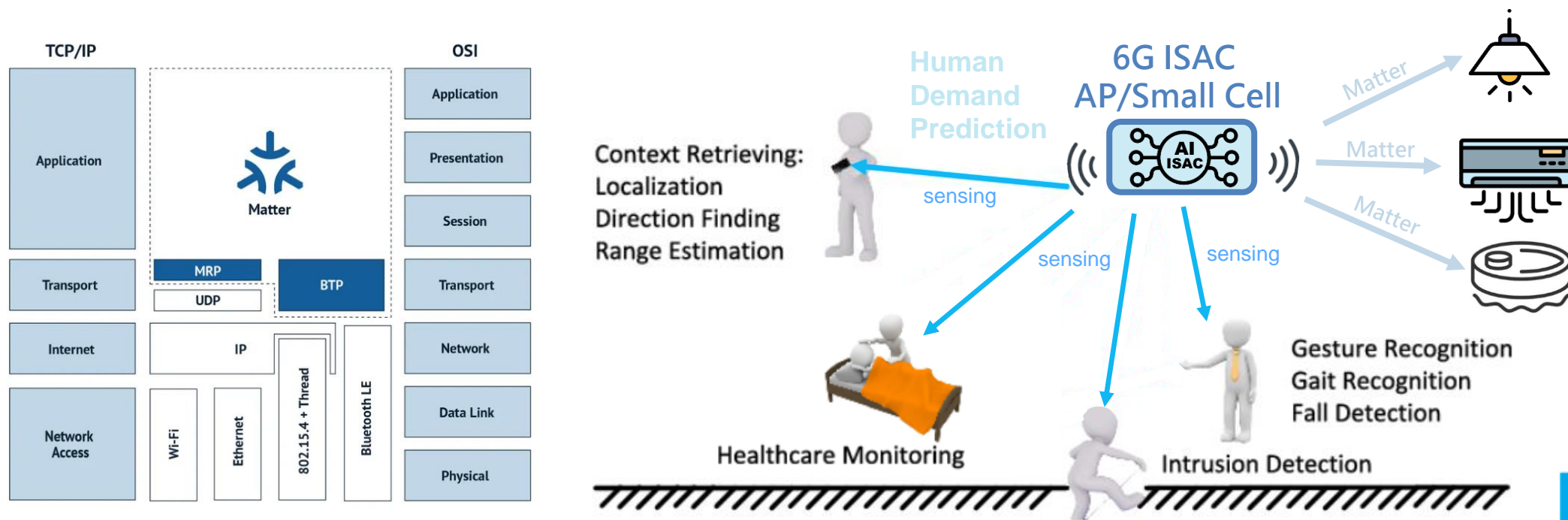
存在、位置追蹤、跌倒監測、姿態檢測、人員計數、進出門、在床/不在床、呼吸睡眠監測

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

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

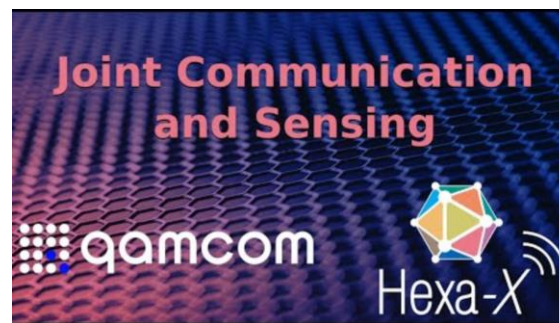


6G SNS

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

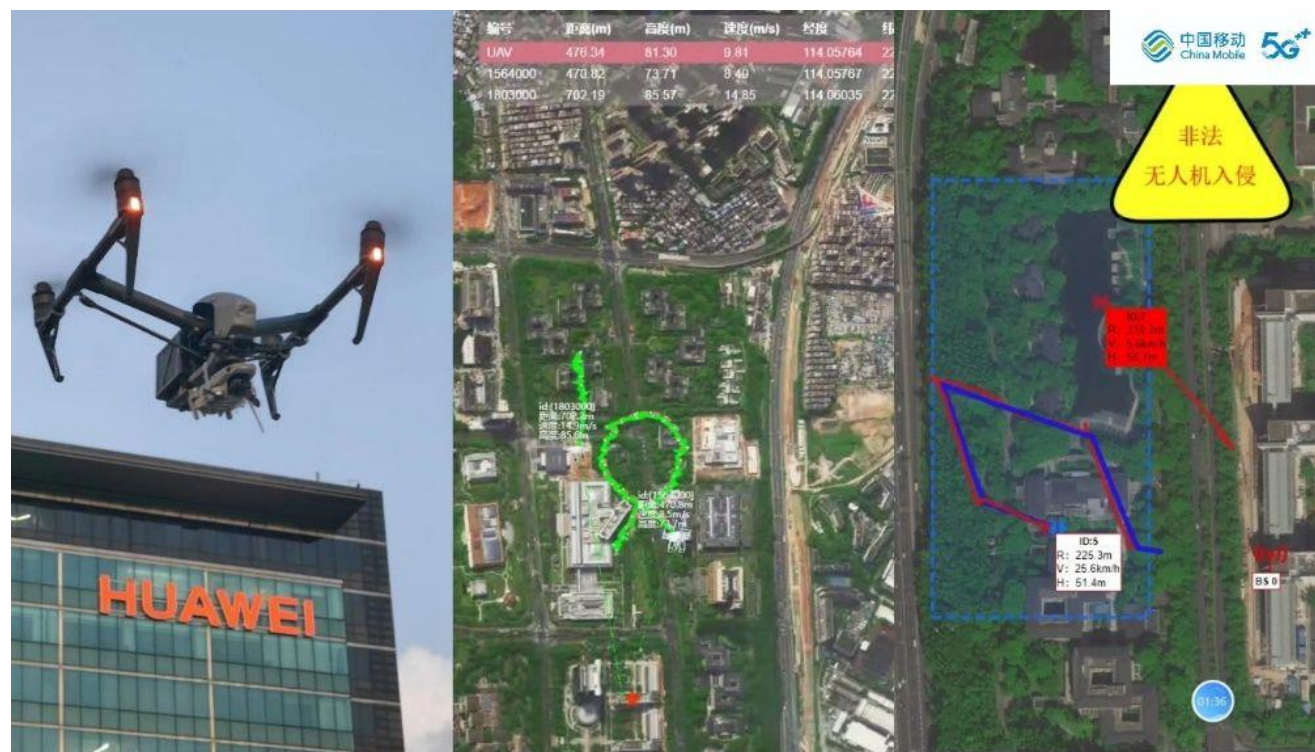


ETSI成立ISAC ISG



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。

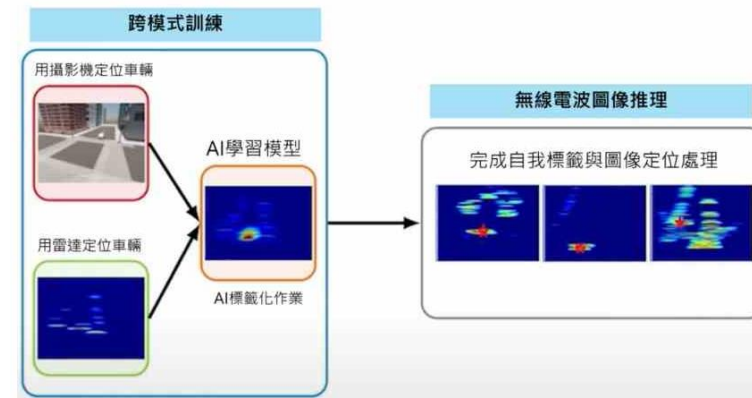
Ref: <https://mic.iii.org.tw/aisp/ReportS?docid=CDOC20240415004>

- 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。

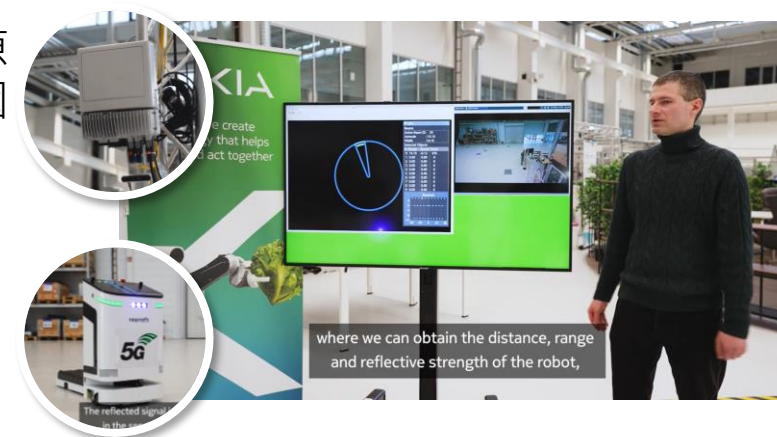
Ref: <https://www.youtube.com/watch?v=SCCvLPqtur8>

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。

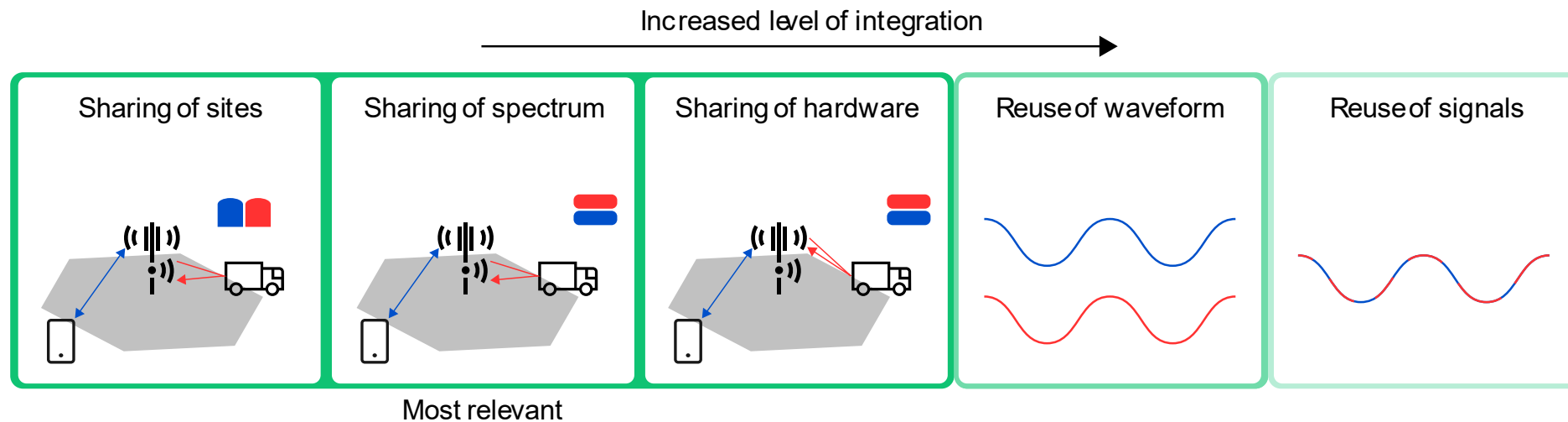


Multistatic sensing topology



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)

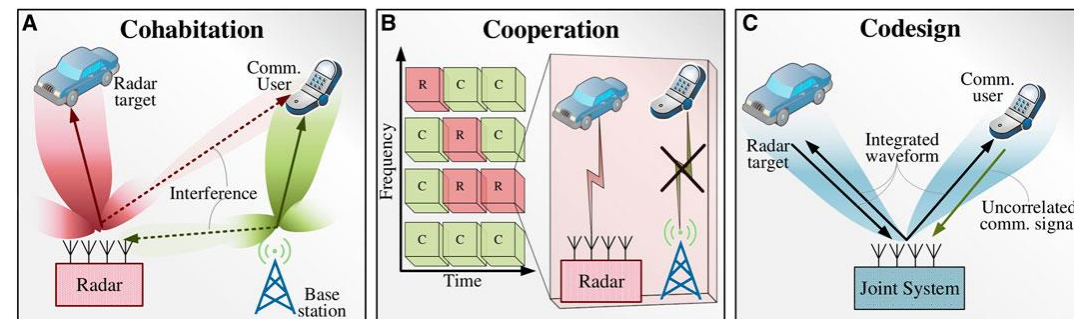
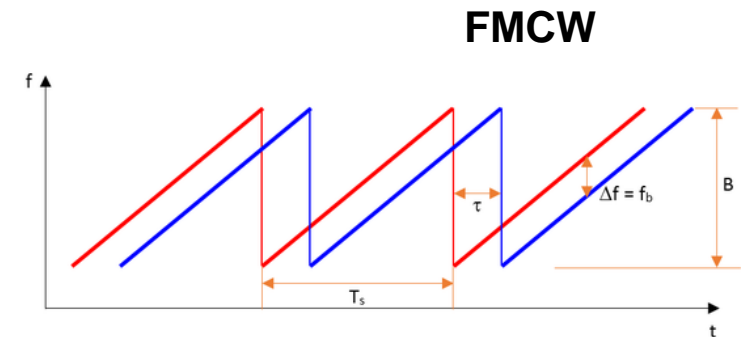
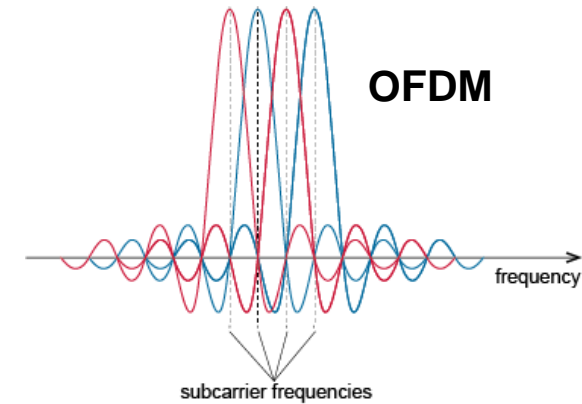
- Challenges: complicated radar detector

■ Radar waveform-based (FMCW)

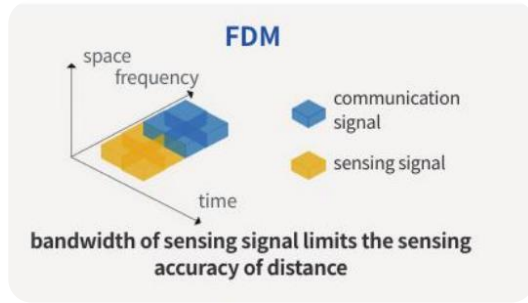
- Challenges: inherently low transmission rate

■ Joint waveform

- Challenges: cannot work on existing radar and communication systems



Comparison of ISAC Signal Multiplexing Techniques

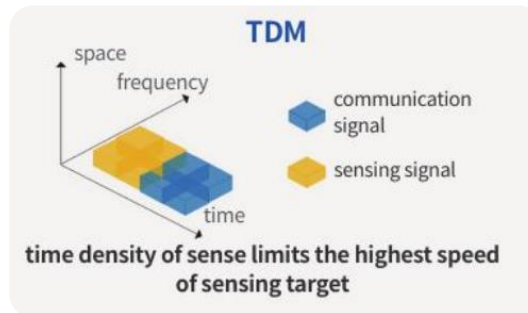
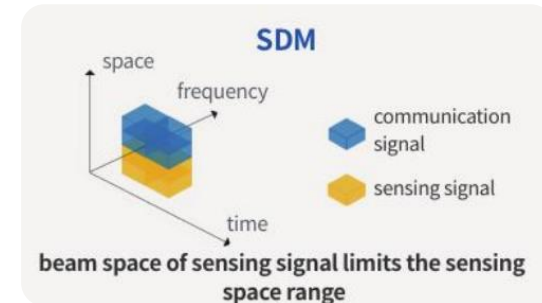


Frequency Division Multiplexing (FDM)

- **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

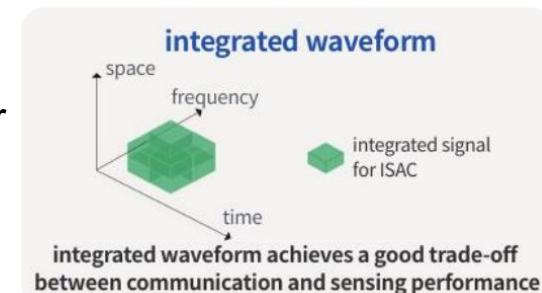


Time Division Multiplexing (TDM)

- **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

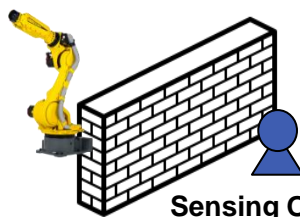
Real-time trajectory tracking & path planning



Sensing enabled BS

Beam 1
Beam 2

Navigation without Sensors



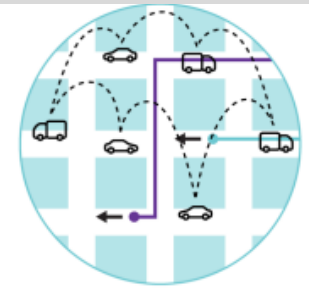
Sensing Objects

Non-networking

NLOS (Non Line of Sight)

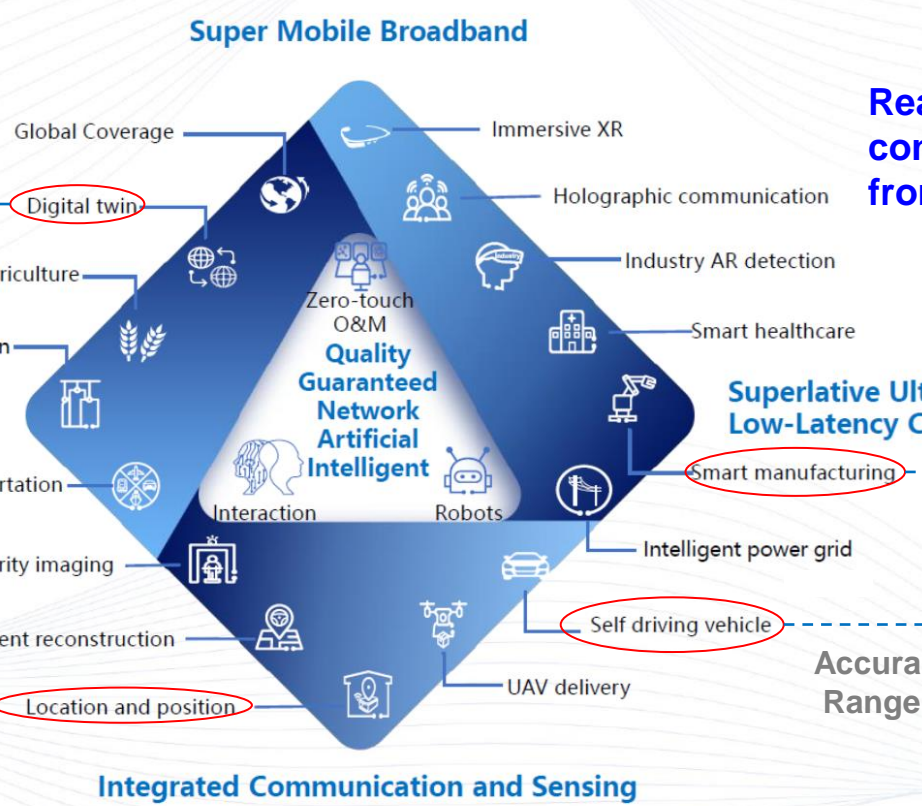
Beam 1
Beam 2

Sensing enabled BS

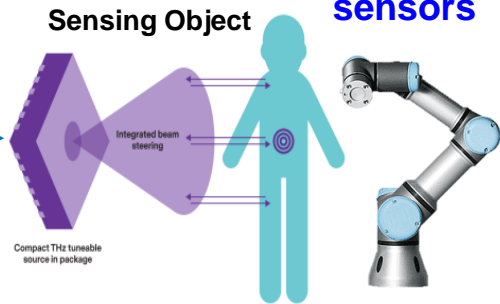


2. Real-time global view including invisible range

Accuracy: 0.1m
Range: <10km



Real-time remote control co-robots from anywhere

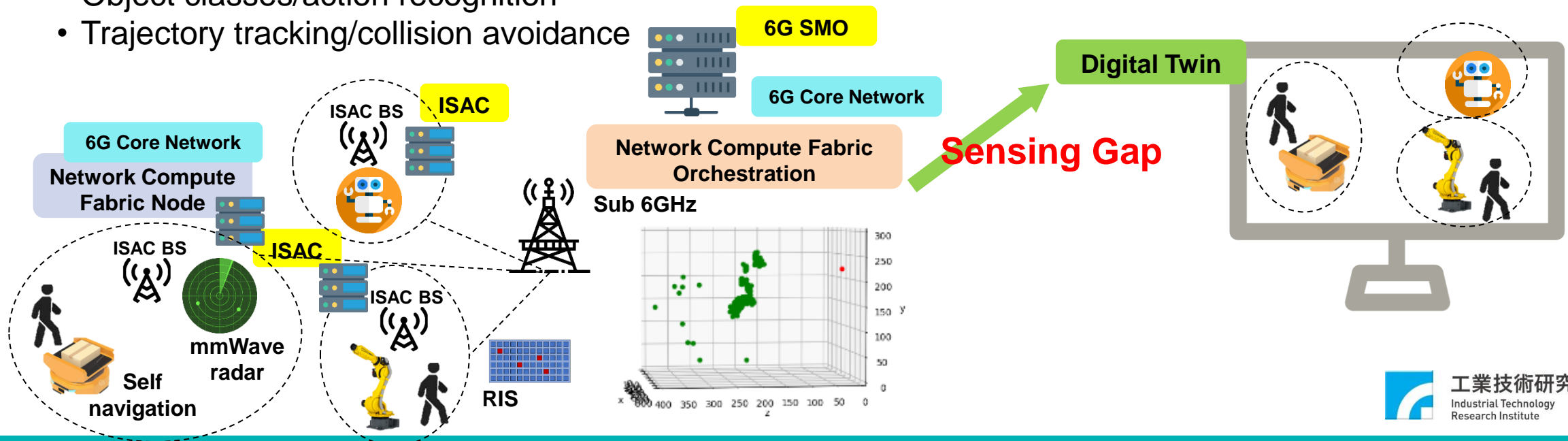
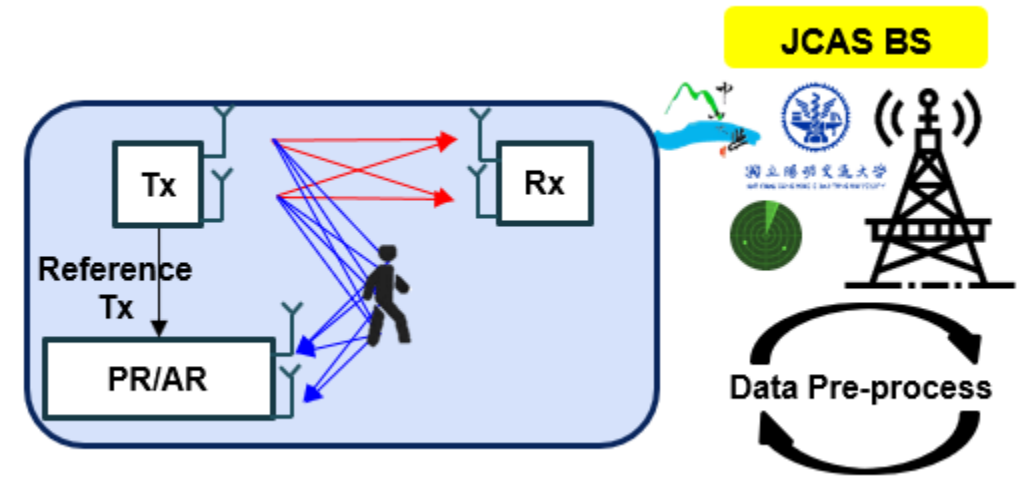


Operate without sensors

Non-networking

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

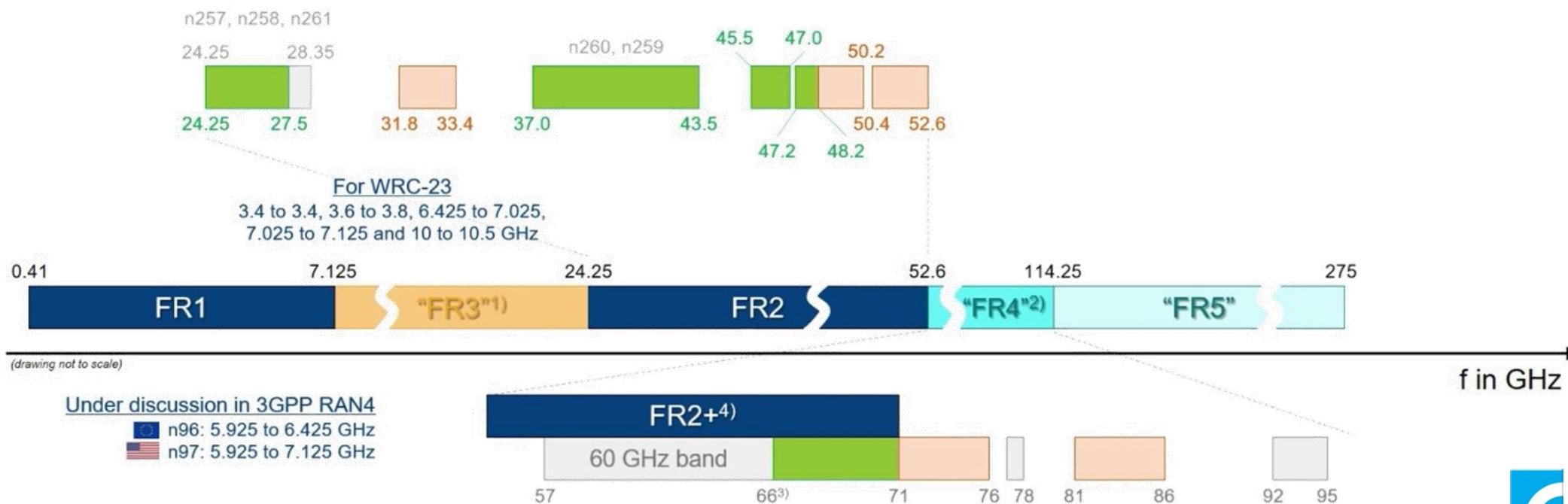
- 基於5G研發能量，透過**rAPP**與**xAPP**，開發符合**O-RAN**架構之ISAC自主技術
- 利用**AI/ML**技術彌補FR1低頻寬**低感知解析度**問題

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**



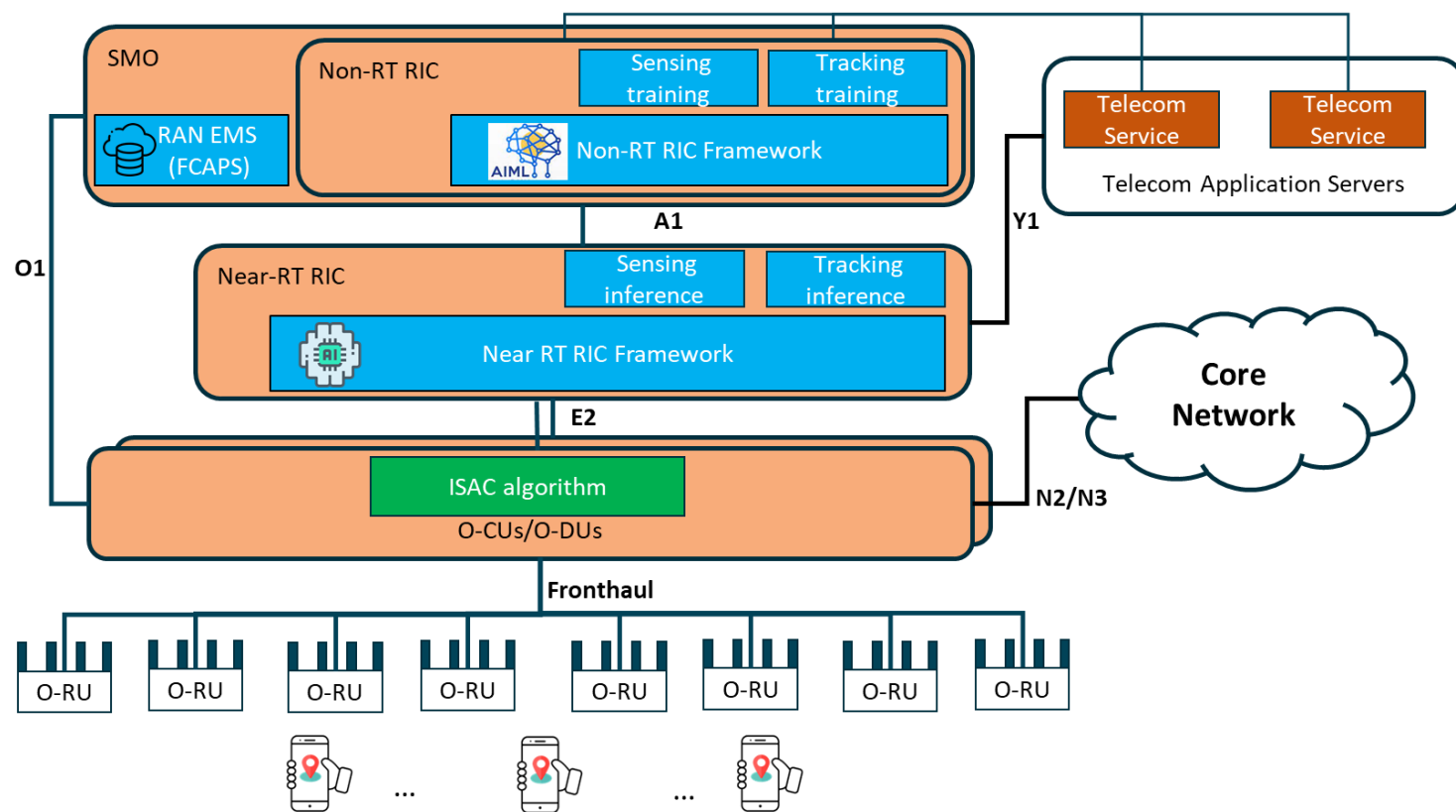
FR1 ISAC策略規劃: 基於O-RAN架構開發

■ 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)

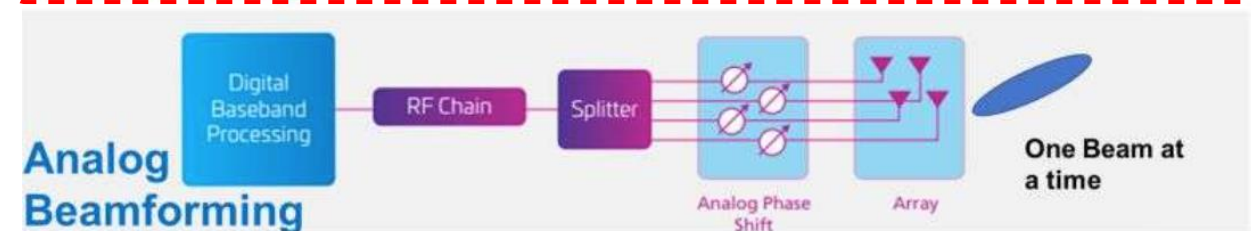
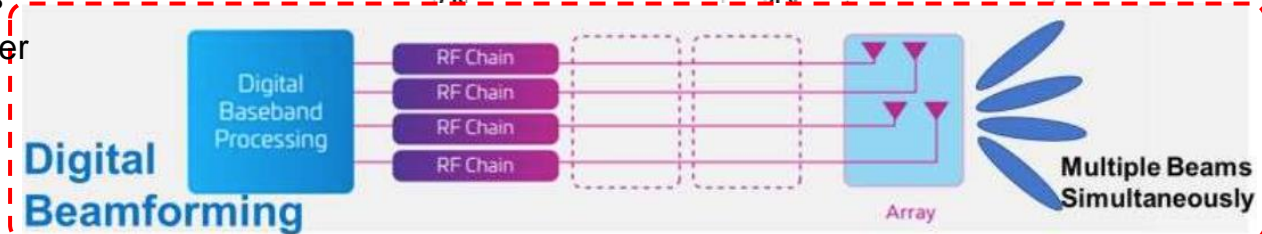
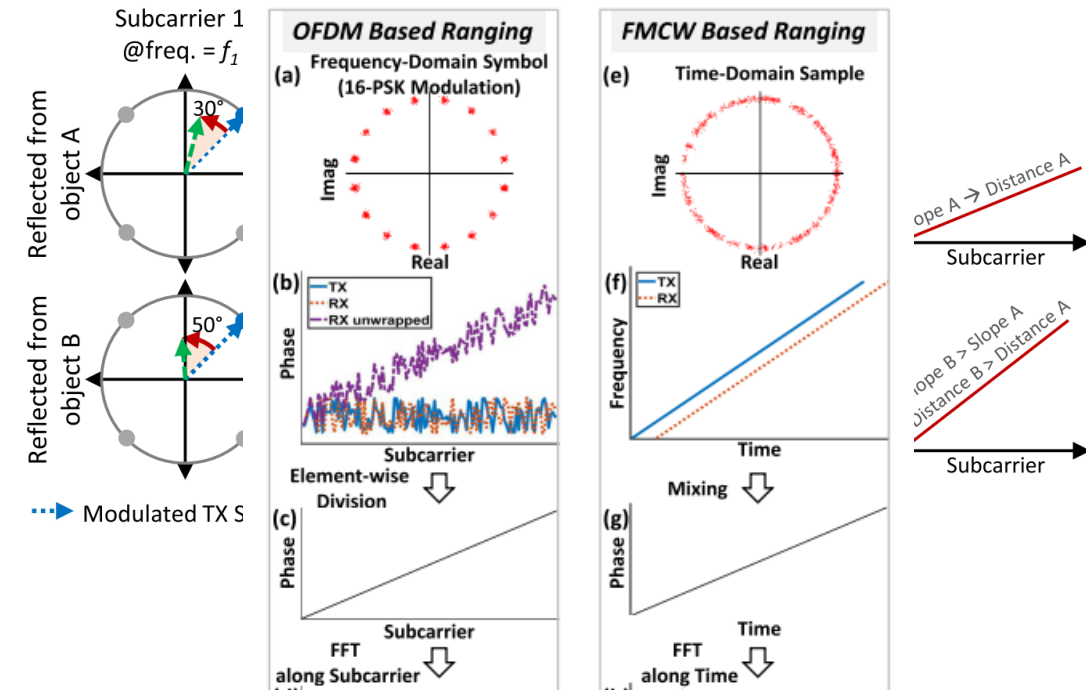
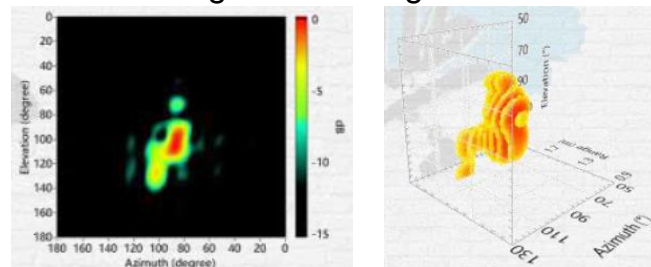
- Phase shift in different CSI subcarriers is proportional to ToF
- The slope of ToF phase shift is directly proportional to the distance of the reflector
- Theoretically, the OFDM subcarrier frequency symbol can correspond to the time-domain signal in FMCW → Like FMCW, a slope graph can be obtained, 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

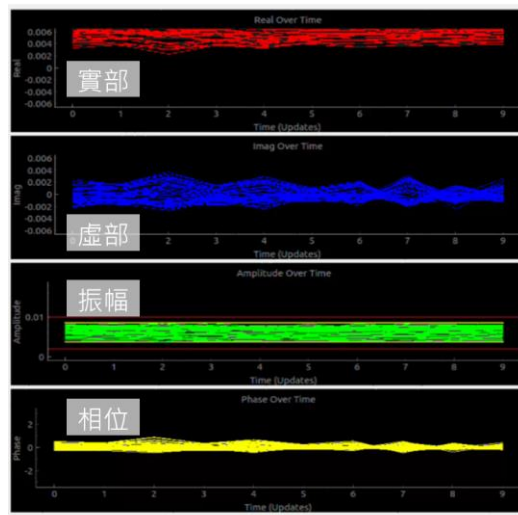
- Obtained through Digital beamforming data for angle information



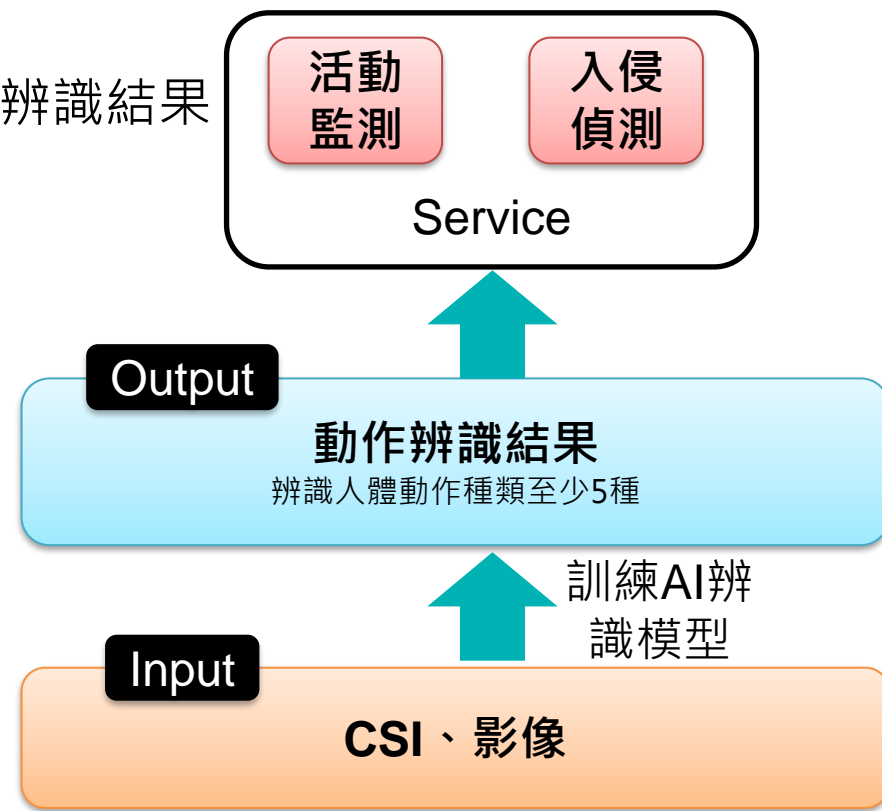
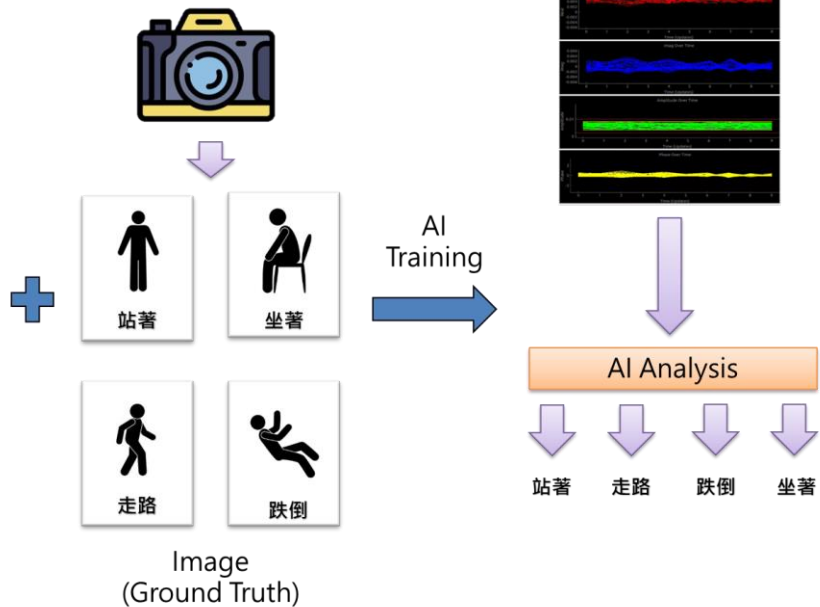
展示使用AI技術使5G基地台具備感知能力

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

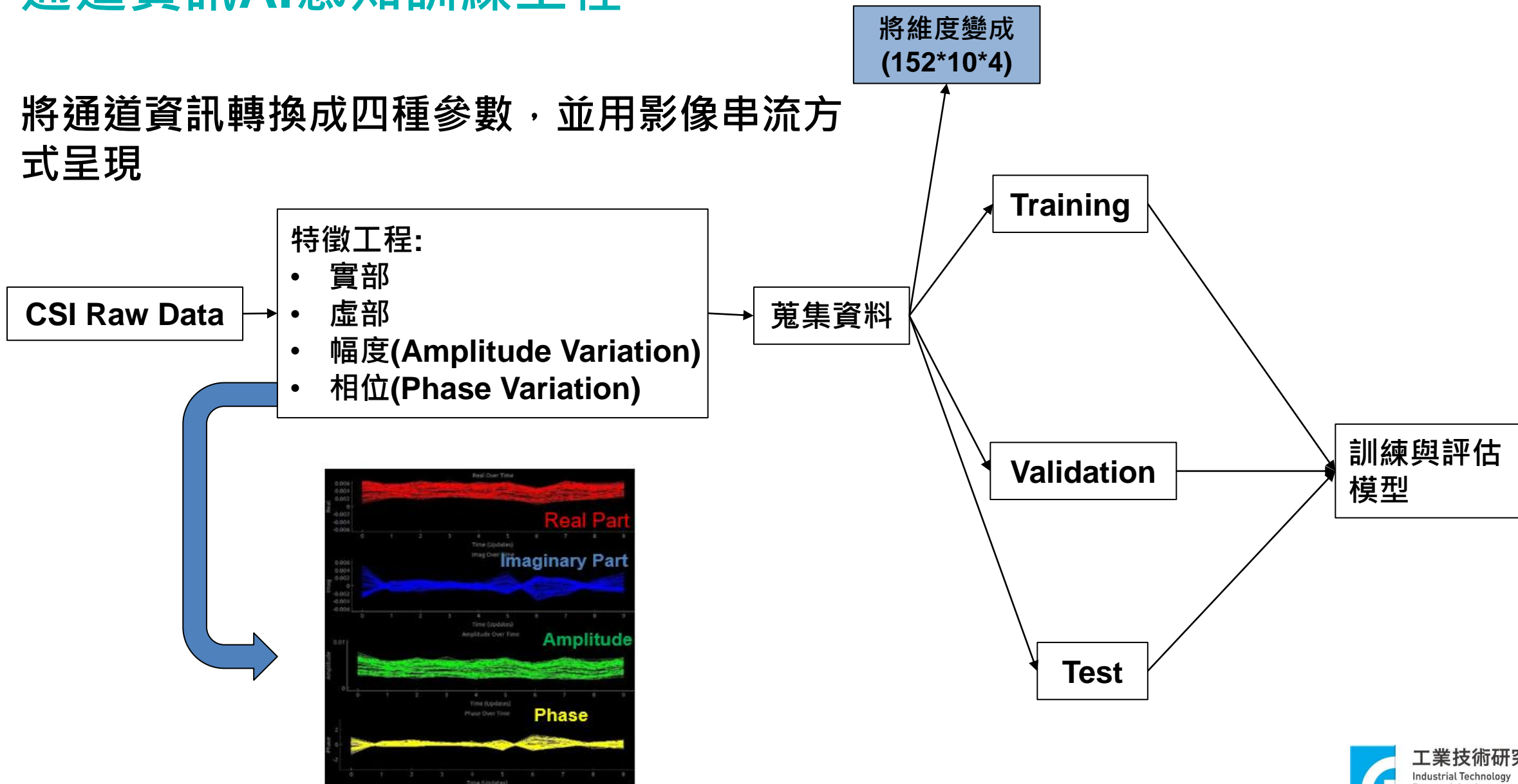


CSI Data
CSI格式: $a + bi$
CSI相位: $\arctan(\frac{b}{a})$
CSI振幅: $\sqrt{a^2 + b^2}$



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



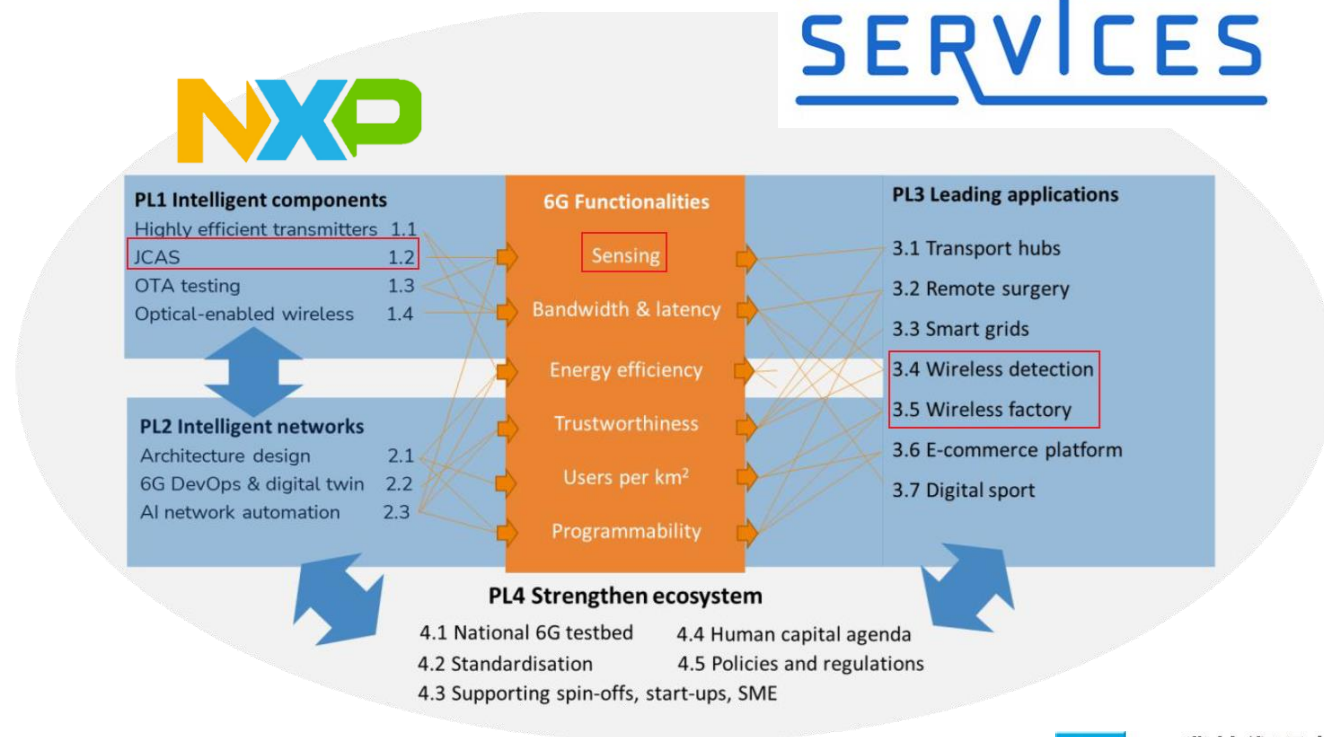
FR2 ISAC策略規劃: 與國際晶片大廠合作

■ 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

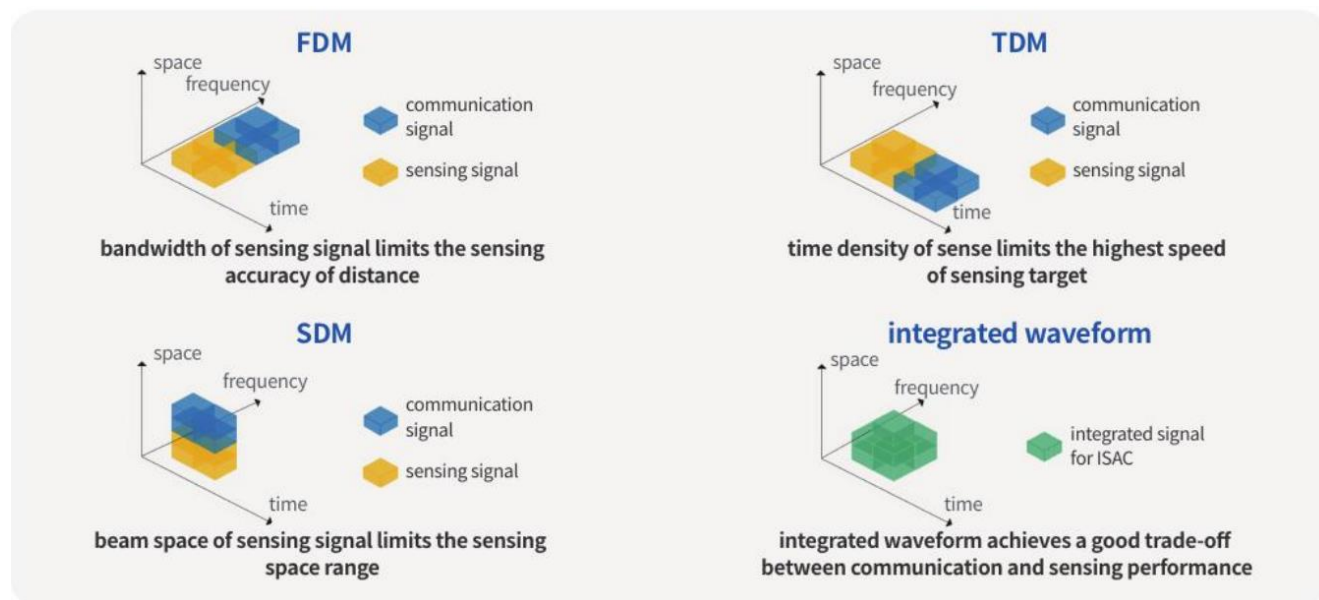
Space Division Multiplexing (SDM)

- **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!

