



5G CORAL Distributed Edge and Fog Computing Network Infrastructure and AR Navigations

Dr. Jen-Shun Yang

Manager of Advanced Communication Technology & Standard Development Dept.

Division for Video & Multimedia Communications Technology

Information and Communications Research Laboratory

Industrial Technology Research Institute





Content

- **Motivation of Distributed Computing Resource Orchestration**
- **5G CORAL Use Cases**
- **Introduction to Fully Distributed Computing Resource Orchestration**
- **AI CNN Training for Resource Allocation Optimization**
- **Performance Testing**
- **Conclusions**



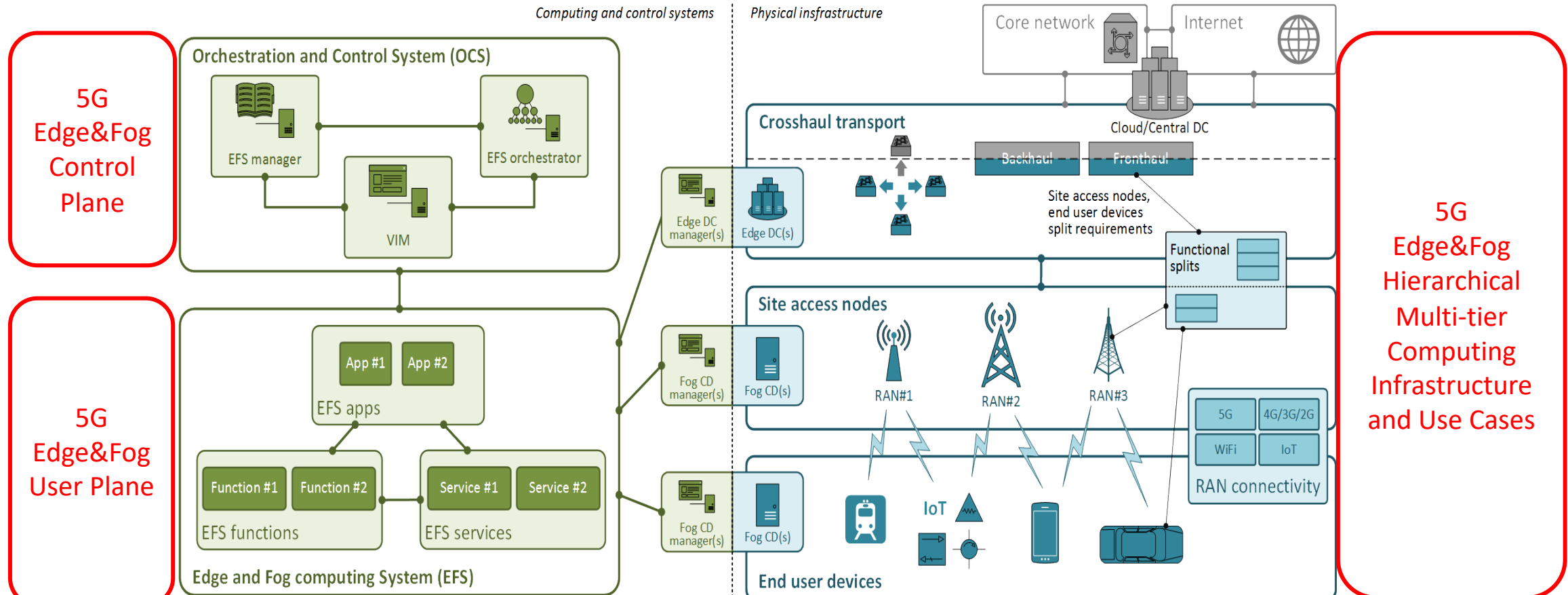
5G CORAL

Hierarchical Multi-tier Computing Infrastructure

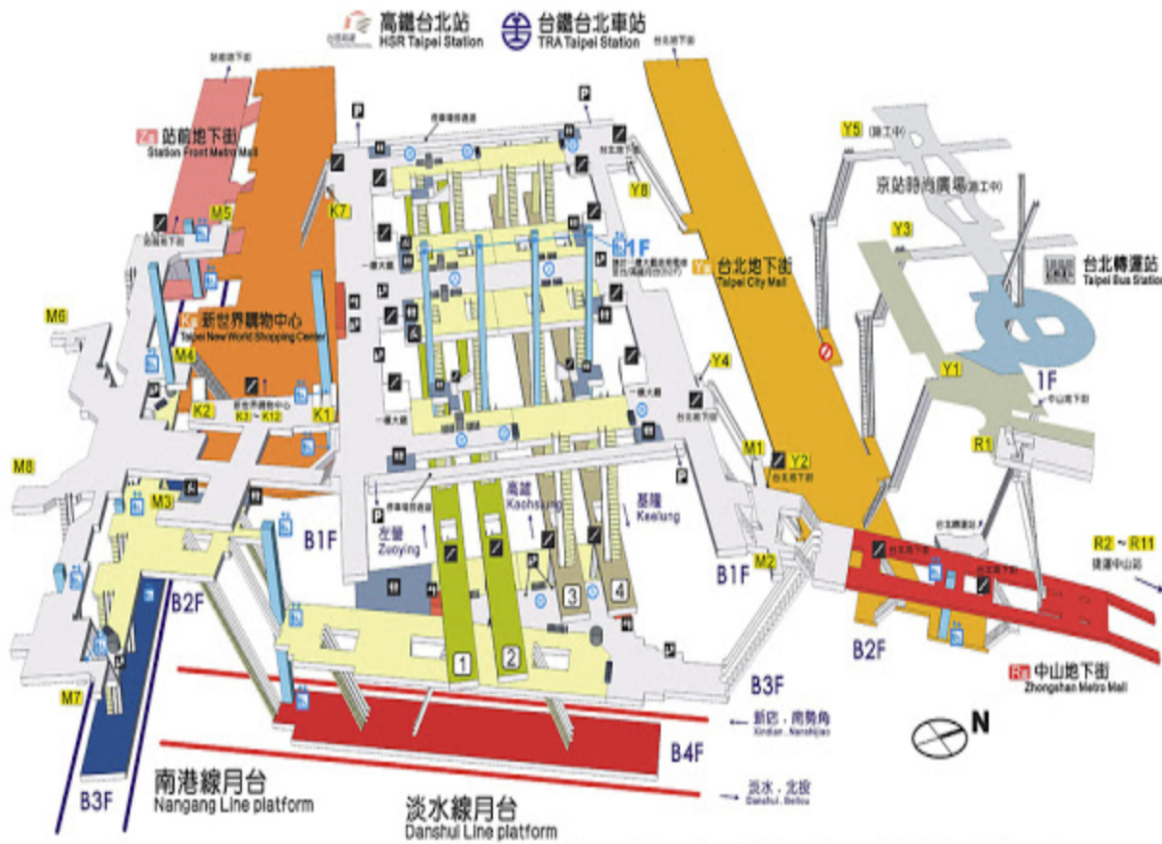
A 5G Convergent Virtualized Radio Access Network Living at the Edge

(1) EFS: hosting all proposed virtualized functions, services, and applications

(2) OCS: managing and controlling the EFS, and its interworking with other domains



Motivation: Indoor Navigation in Taipei Main Station



3D Taipei Main Station MAP

出口資訊			圖例說明		
M1	台鐵/高鐵北一門	M5	站前廣場	R1	台北轉運站
M2	市民大道	M6	台北凱薩飯店	Y1	台北轉運站
M3	天成飯店	M7	中山北路	Y2	台北轉運站
M4	台鐵/高鐵南三門	M8	公園路	Y3	台北轉運站
M5	殿前站/藍光三號	M9	國光客運車站	Y4	台北轉運站
M6	永寧(板橋、土城方向)	M10	國光客運車站	Y5	台北轉運站
M7	永寧(板橋、土城方向)	M11	國光客運車站	Y6	台北轉運站
M8	永寧(板橋、土城方向)	M12	國光客運車站	Y7	台北轉運站
M9	永寧(板橋、土城方向)	M13	國光客運車站	Y8	台北轉運站
M10	永寧(板橋、土城方向)	M14	國光客運車站	Y9	台北轉運站
M11	永寧(板橋、土城方向)	M15	國光客運車站	Y10	台北轉運站
M12	永寧(板橋、土城方向)	M16	國光客運車站	Y11	台北轉運站
M13	永寧(板橋、土城方向)	M17	國光客運車站	Y12	台北轉運站
M14	永寧(板橋、土城方向)	M18	國光客運車站	Y13	台北轉運站
M15	永寧(板橋、土城方向)	M19	國光客運車站	Y14	台北轉運站
M16	永寧(板橋、土城方向)	M20	國光客運車站	Y15	台北轉運站
M17	永寧(板橋、土城方向)	M21	國光客運車站	Y16	台北轉運站
M18	永寧(板橋、土城方向)	M22	國光客運車站	Y17	台北轉運站
M19	永寧(板橋、土城方向)	M23	國光客運車站	Y18	台北轉運站
M20	永寧(板橋、土城方向)	M24	國光客運車站	Y19	台北轉運站
M21	永寧(板橋、土城方向)	M25	國光客運車站	Y20	台北轉運站
M22	永寧(板橋、土城方向)	M26	國光客運車站	Y21	台北轉運站
M23	永寧(板橋、土城方向)	M27	國光客運車站	Y22	台北轉運站
M24	永寧(板橋、土城方向)	M28	國光客運車站	Y23	台北轉運站
M25	永寧(板橋、土城方向)	M29	國光客運車站	Y24	台北轉運站
M26	永寧(板橋、土城方向)	M30	國光客運車站	Y25	台北轉運站
M27	永寧(板橋、土城方向)	M31	國光客運車站	Y26	台北轉運站
M28	永寧(板橋、土城方向)	M32	國光客運車站	Y27	台北轉運站
M29	永寧(板橋、土城方向)	M33	國光客運車站	Y28	台北轉運站
M30	永寧(板橋、土城方向)	M34	國光客運車站	Y29	台北轉運站
M31	永寧(板橋、土城方向)	M35	國光客運車站	Y30	台北轉運站
M32	永寧(板橋、土城方向)	M36	國光客運車站	Y31	台北轉運站
M33	永寧(板橋、土城方向)	M37	國光客運車站	Y32	台北轉運站
M34	永寧(板橋、土城方向)	M38	國光客運車站	Y33	台北轉運站
M35	永寧(板橋、土城方向)	M39	國光客運車站	Y34	台北轉運站
M36	永寧(板橋、土城方向)	M40	國光客運車站	Y35	台北轉運站
M37	永寧(板橋、土城方向)	M41	國光客運車站	Y36	台北轉運站
M38	永寧(板橋、土城方向)	M42	國光客運車站	Y37	台北轉運站
M39	永寧(板橋、土城方向)	M43	國光客運車站	Y38	台北轉運站
M40	永寧(板橋、土城方向)	M44	國光客運車站	Y39	台北轉運站
M41	永寧(板橋、土城方向)	M45	國光客運車站	Y40	台北轉運站
M42	永寧(板橋、土城方向)	M46	國光客運車站	Y41	台北轉運站
M43	永寧(板橋、土城方向)	M47	國光客運車站	Y42	台北轉運站
M44	永寧(板橋、土城方向)	M48	國光客運車站	Y43	台北轉運站
M45	永寧(板橋、土城方向)	M49	國光客運車站	Y44	台北轉運站
M46	永寧(板橋、土城方向)	M50	國光客運車站	Y45	台北轉運站
M47	永寧(板橋、土城方向)	M51	國光客運車站	Y46	台北轉運站
M48	永寧(板橋、土城方向)	M52	國光客運車站	Y47	台北轉運站
M49	永寧(板橋、土城方向)	M53	國光客運車站	Y48	台北轉運站
M50	永寧(板橋、土城方向)	M54	國光客運車站	Y49	台北轉運站
M51	永寧(板橋、土城方向)	M55	國光客運車站	Y50	台北轉運站
M52	永寧(板橋、土城方向)	M56	國光客運車站	Y51	台北轉運站
M53	永寧(板橋、土城方向)	M57	國光客運車站	Y52	台北轉運站
M54	永寧(板橋、土城方向)	M58	國光客運車站	Y53	台北轉運站
M55	永寧(板橋、土城方向)	M59	國光客運車站	Y54	台北轉運站
M56	永寧(板橋、土城方向)	M60	國光客運車站	Y55	台北轉運站
M57	永寧(板橋、土城方向)	M61	國光客運車站	Y56	台北轉運站
M58	永寧(板橋、土城方向)	M62	國光客運車站	Y57	台北轉運站
M59	永寧(板橋、土城方向)	M63	國光客運車站	Y58	台北轉運站
M60	永寧(板橋、土城方向)	M64	國光客運車站	Y59	台北轉運站
M61	永寧(板橋、土城方向)	M65	國光客運車站	Y60	台北轉運站
M62	永寧(板橋、土城方向)	M66	國光客運車站	Y61	台北轉運站
M63	永寧(板橋、土城方向)	M67	國光客運車站	Y62	台北轉運站
M64	永寧(板橋、土城方向)	M68	國光客運車站	Y63	台北轉運站
M65	永寧(板橋、土城方向)	M69	國光客運車站	Y64	台北轉運站
M66	永寧(板橋、土城方向)	M70	國光客運車站	Y65	台北轉運站
M67	永寧(板橋、土城方向)	M71	國光客運車站	Y66	台北轉運站
M68	永寧(板橋、土城方向)	M72	國光客運車站	Y67	台北轉運站
M69	永寧(板橋、土城方向)	M73	國光客運車站	Y68	台北轉運站
M70	永寧(板橋、土城方向)	M74	國光客運車站	Y69	台北轉運站
M71	永寧(板橋、土城方向)	M75	國光客運車站	Y70	台北轉運站
M72	永寧(板橋、土城方向)	M76	國光客運車站	Y71	台北轉運站
M73	永寧(板橋、土城方向)	M77	國光客運車站	Y72	台北轉運站
M74	永寧(板橋、土城方向)	M78	國光客運車站	Y73	台北轉運站
M75	永寧(板橋、土城方向)	M79	國光客運車站	Y74	台北轉運站
M76	永寧(板橋、土城方向)	M80	國光客運車站	Y75	台北轉運站
M77	永寧(板橋、土城方向)	M81	國光客運車站	Y76	台北轉運站
M78	永寧(板橋、土城方向)	M82	國光客運車站	Y77	台北轉運站
M79	永寧(板橋、土城方向)	M83	國光客運車站	Y78	台北轉運站
M80	永寧(板橋、土城方向)	M84	國光客運車站	Y79	台北轉運站
M81	永寧(板橋、土城方向)	M85	國光客運車站	Y80	台北轉運站
M82	永寧(板橋、土城方向)	M86	國光客運車站	Y81	台北轉運站
M83	永寧(板橋、土城方向)	M87	國光客運車站	Y82	台北轉運站
M84	永寧(板橋、土城方向)	M88	國光客運車站	Y83	台北轉運站
M85	永寧(板橋、土城方向)	M89	國光客運車站	Y84	台北轉運站
M86	永寧(板橋、土城方向)	M90	國光客運車站	Y85	台北轉運站
M87	永寧(板橋、土城方向)	M91	國光客運車站	Y86	台北轉運站
M88	永寧(板橋、土城方向)	M92	國光客運車站	Y87	台北轉運站
M89	永寧(板橋、土城方向)	M93	國光客運車站	Y88	台北轉運站
M90	永寧(板橋、土城方向)	M94	國光客運車站	Y89	台北轉運站
M91	永寧(板橋、土城方向)	M95	國光客運車站	Y90	台北轉運站
M92	永寧(板橋、土城方向)	M96	國光客運車站	Y91	台北轉運站
M93	永寧(板橋、土城方向)	M97	國光客運車站	Y92	台北轉運站
M94	永寧(板橋、土城方向)	M98	國光客運車站	Y93	台北轉運站
M95	永寧(板橋、土城方向)	M99	國光客運車站	Y94	台北轉運站
M96	永寧(板橋、土城方向)	M100	國光客運車站	Y95	台北轉運站

- Complex 3D indoor environments in train station
 - Imagine that you are lost in a **Taipei Main Station**, looking for the entrance to MRT/HSR/TRA/Bus station/taxi ranks and up to 70 exits to parking and main roads.
 - Or you are trying to find a specific department or restaurants in an enormous shopping malls.
 - Since GPS is not working indoors, do we have any other better choose, except for the existing i-beacon and Wi-Fi positioning systems?

5G CORAL Use Case: Distributed Computing for Indoor AR Navigation/Advertisement

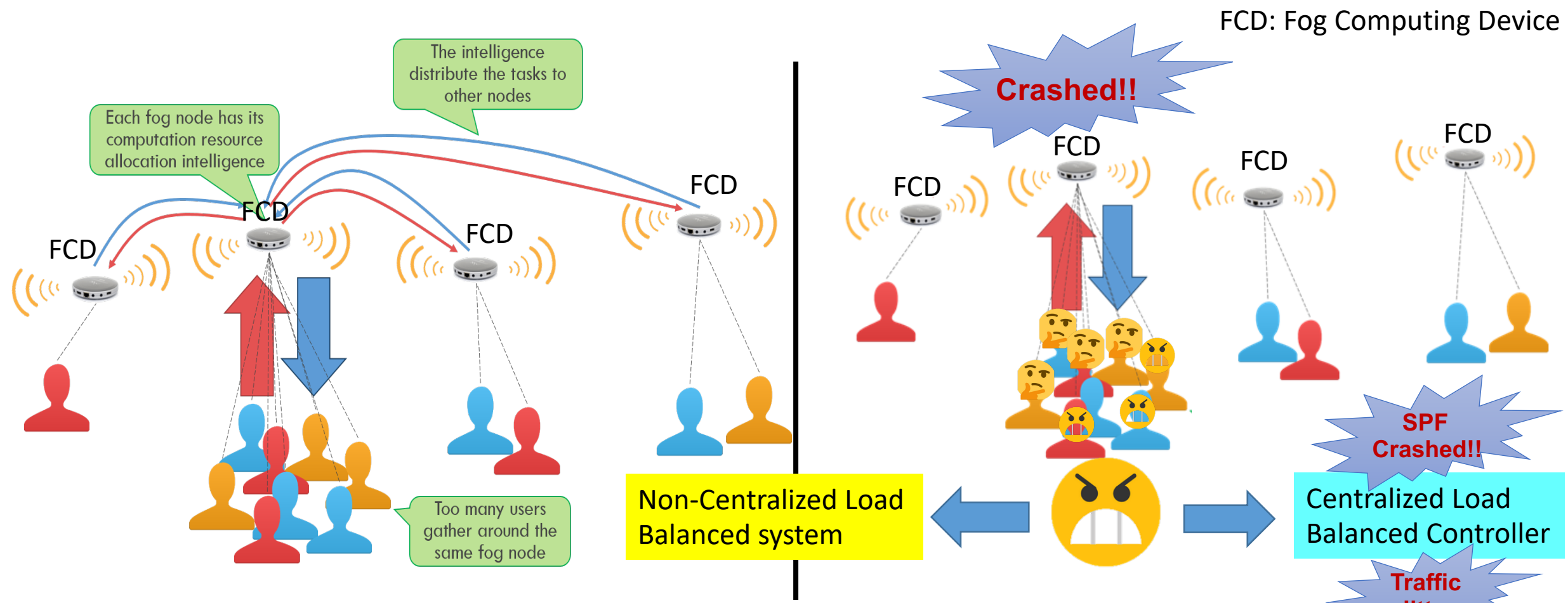
- ❖ Taiwanese manufacture *ASKEY Computer* was requesting ITRI to provide **5G CORAL Fully Distributed EFS&OCS and AR solutions** for AR Navigation and Advertisement services in Taipei Main Station.
- ❖ Video of an exemplary AR Service Scenario in Train Station Shopping Mall

Performance Requirements

- Low End-to-End (E2E) Service Latency to fulfill better user experience (e.g., < 1sec)
- Support High User connection Density
- Heavy Computing Loading shall not be happened in user's smartphone
 - Small Size (database) User APP
 - Low power consumption
- Indoor Localization precision < 1 meter



Distributed Computing for Heavy Load AR Recognition



Fully Distributed Computing Resource Orchestration Benefits

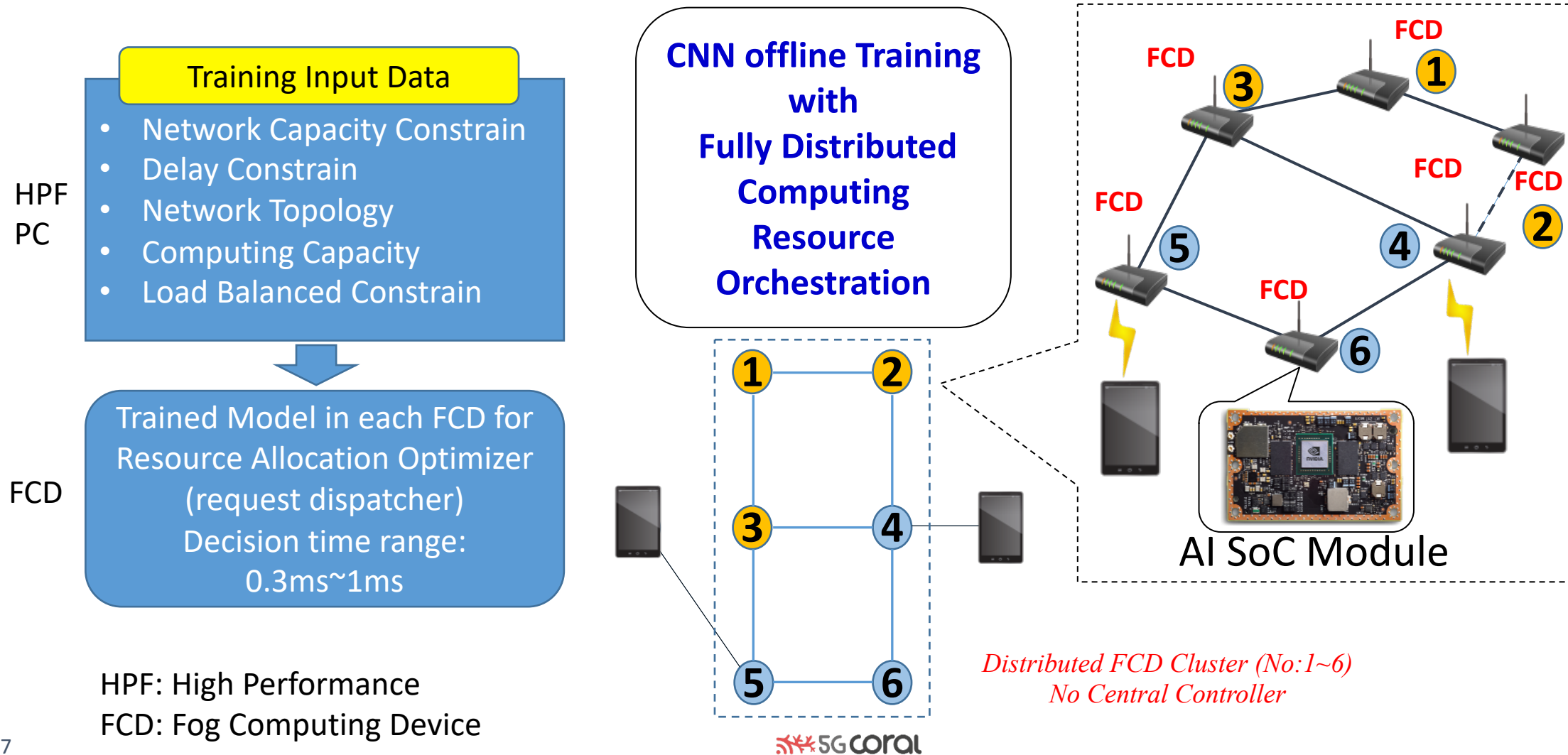
Low Latency (E2E): Minimize computing latency by processing image recognition and navigation tasks at the EFS

Connection density: Increase number of connection by distributing the incoming requests

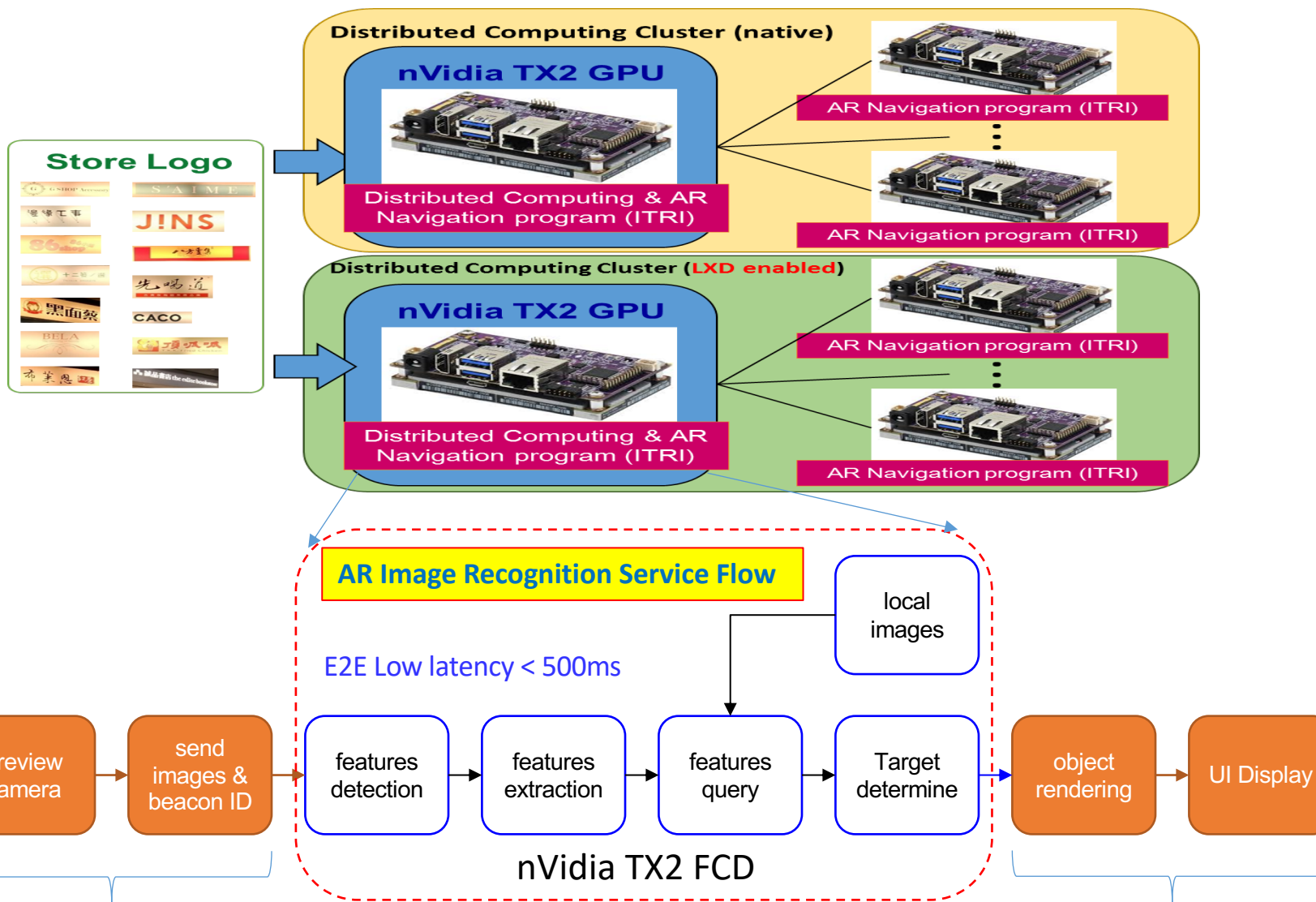
Service Reliability: Overcome Single Point of Failure (SPF) by centralized distributed computing mechanism

Optimization of Fully Distributed Computing Resource Orchestration

- AI CNN offline trains the dispatching model of computing requests for Distributed FCD Cluster.
- Obtain online load balancing optimization among Distributed FCDs in Cluster.

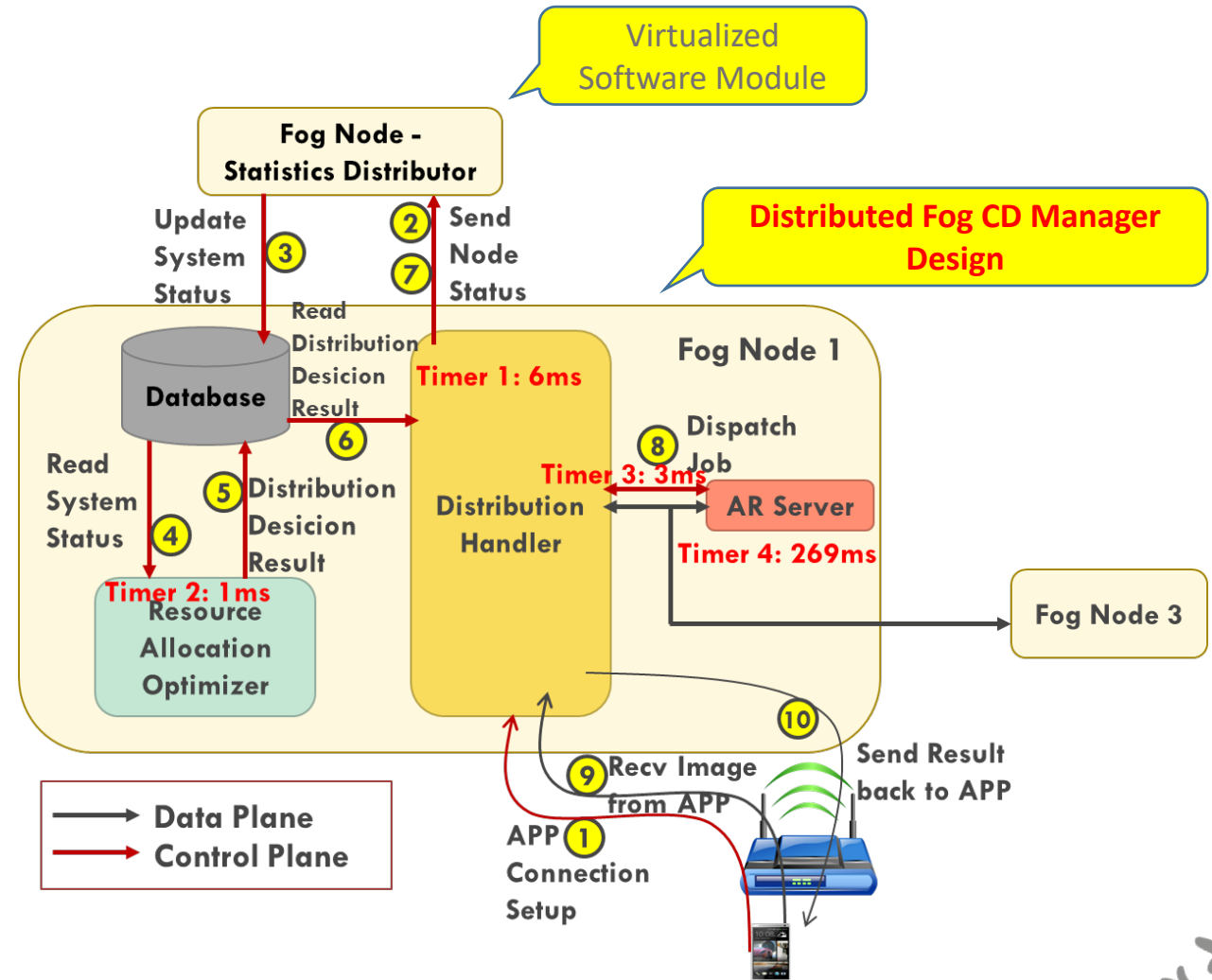


Performance Testing Configuration for AR Image Recognition in Distributed Fog Computing Cluster



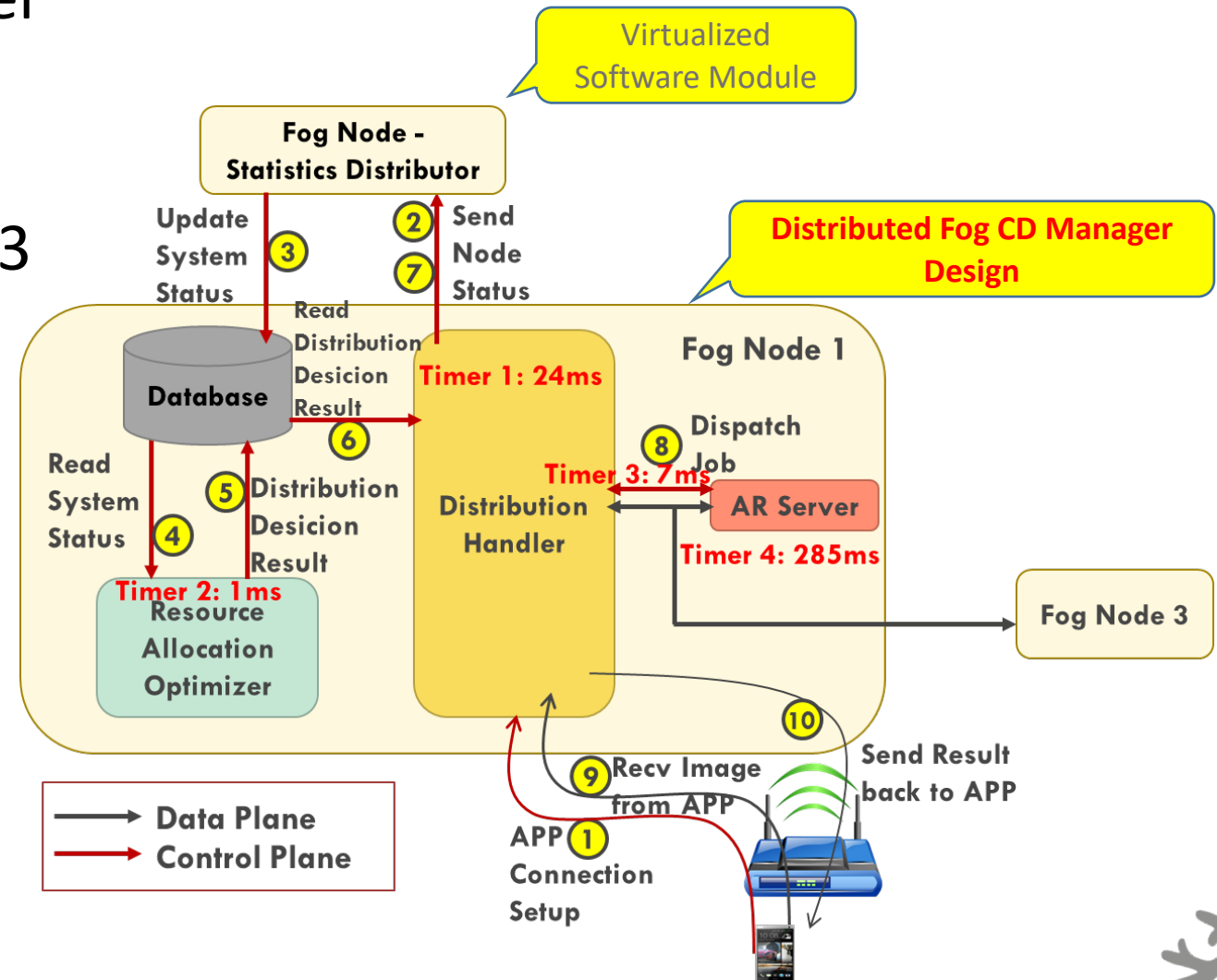
Distributed Fog Computing with Native AR application

- Using TX2 as Fog CDs without Virtual Machine
- The E2E latency, measured by Timers 1, 2,3 and 4, is **279ms**.
 - Including the time for the Distribution Handler to update the Statistics with all of the databases(step 2, 3), the time cost by the Resource Allocation Optimizer(step 4, 5) and the time for the Distribution Handler to read the Distribution Decision result and dispatch the job to AR Server(step 6, 8).



Distributed Fog Computing with Container based AR application

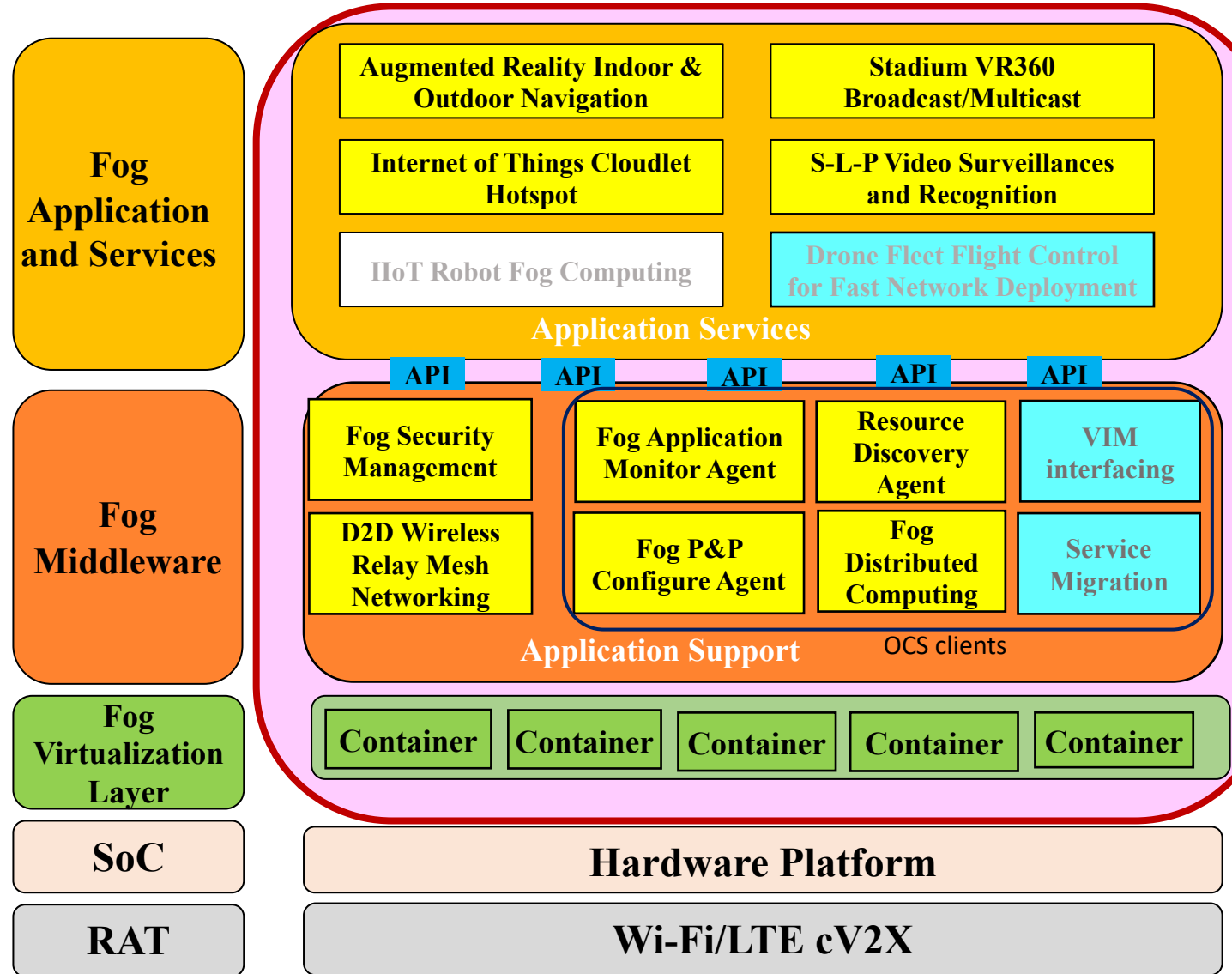
- Using TX2 as Fog CDs with Container
 - User Plane virtualized by LXD
 - Control Plane signaling by FogO5
- The E2E, measured by Timers 1, 2, 3 and 4, is **317ms**.



Fog Computing Device Software Platform Spec.

Have developed modules and prototypes:

- **Fog Virtualization Layer Solutions**
 - Docker/LXD virtualized container technologies
- **Fog Middleware Solutions**
 - RESTFUL API
 - D2D based Wireless Relay Mesh Networking with Fast Deployment SON, Smart routing, and Broadband Relaying
 - **Fog Plug&Play Configure Agent**
 - **Fog Application Monitor Management Agent**
 - **Fog Parallel Computing Control**
 - **Resource Discovery Agent**
- **Fog Application and Service Prototypes**
 - AR Navigation
 - Smart Lamp Pole (S-L-P) Video Surveillances and Recognition
 - ◆ can identify/recognize illegal parking on red lines, roadside parking spaces
 - IIoT Robot Fog Computing
 - Stadium VR360 Broadcast Multicasting



Module Status:
5G CORAL



Fog Computing Device Hardware Spec.

Processor

- NVIDIA Tegra X2
- HMP Dual Denver 2 / 2 MB L2 + Quad ARM® A57 / 2 MB L2

Graphics

- NVIDIA Pascal™, 256 CUDA cores
- 1.5 TeroFLOPS

Memory

- 8GB 128bit LPDDR4

Mass Storage

- 32GB eMMC5.1 Flash

LAN Port

- Gigabit Ethernet
- WiFi/BT antenna connectors

PMIC

Thermal Transfer Plate

400-pin board-to-board connector*

Power Supply

- 5.5~+19.6V_{DC}

Dimensions

- 87 mm x 50 mm

Operating Temperature

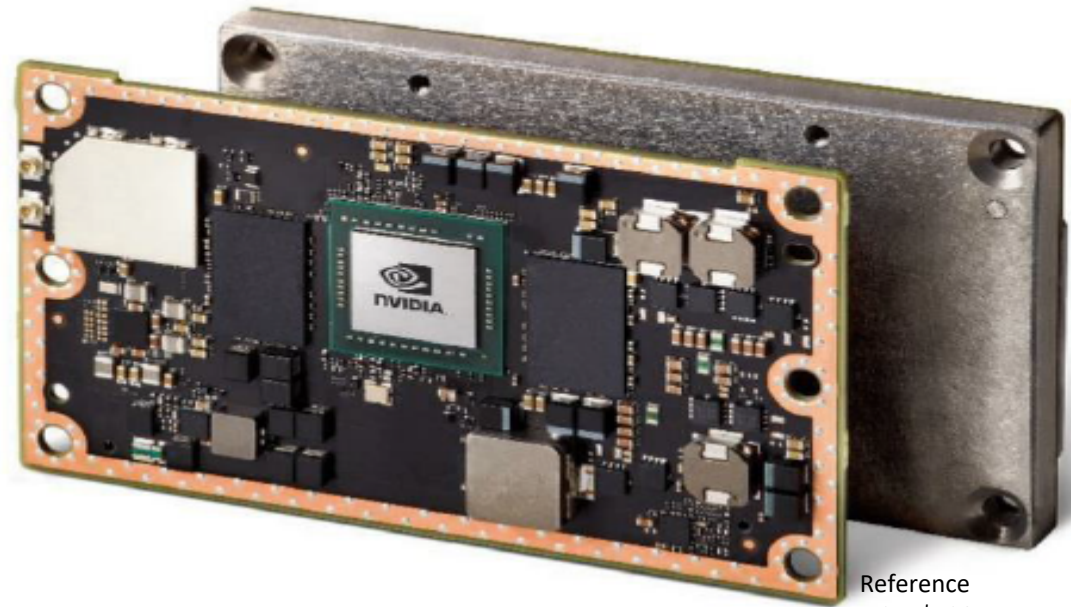
- 0°C ~ +55°C (Standard Version)
- -20°C ~ +70°C (Optional)

Operating Humidity

- 10% ~ 90%

Storage Temperature

- -40°C ~ +125°C



Fog Computing Device (FCD)

Reference
Price \$720 Euro



Conclusions

- Technology Objectives of Fully Distributed Fog Computing System

Expected Impact 1	Contribution to the ITU-R objectives for the next generation mobile network including requirements on data rates, mobility, connection density, latency, energy efficiency, spectrum efficiency, and traffic volume density.
Expected Impact 2	Contribution to the 1000-fold mobile traffic increase per area, in the context of the target application

- Industry Impacts of Fully Distributed Fog Computing System

- New Solution for Indoor Navigations
- New Business model by AR Advertisements
- Successfully done the technical transformation to Taiwanese Manufactory and ongoing deploying in Taipei Train Stations
- Potential Technologies for the Fog Computing of Car Fleet and UAV Fleet



Q&A
Thank you!!



Deployments of Distributed Computing EFS and OCS

EFS: Edge and Fog computing system
 FCD: Fog Computing Device
 OCS: Orchestration Control System

