

高精度室内可见光定位 研究及工业应用前景

杜鹏飞

Scientist I, Manufacturing System Division

SIMTech

20-Aug-2021

研究背景

通过开关LED，我们可以做什么？

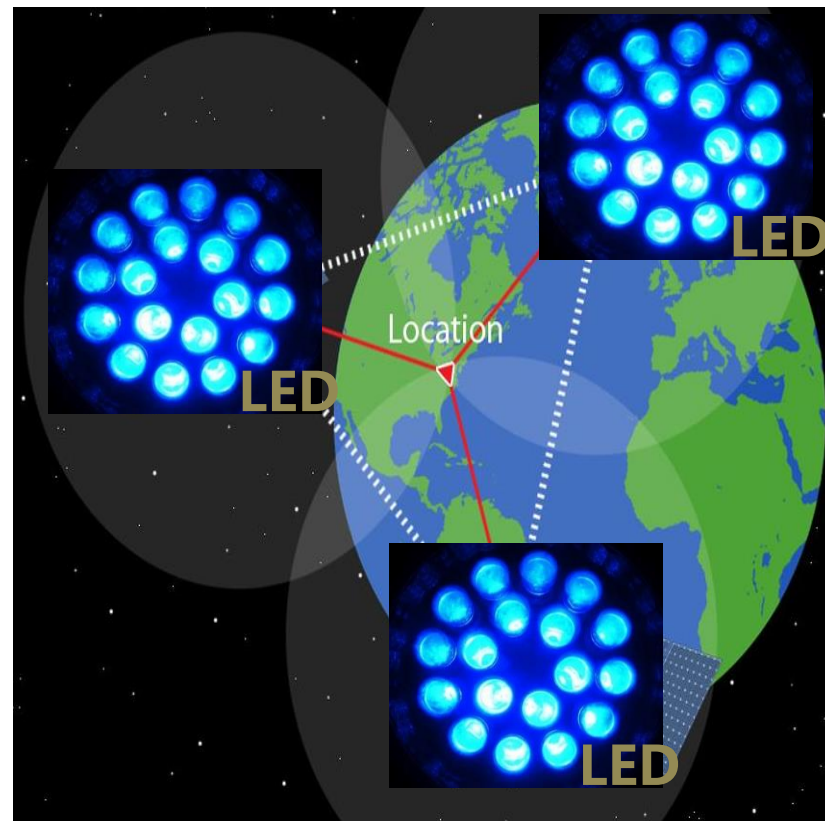


照明

数据通信

探测感知

室内定位



室内GPS信号太弱！
有没有相似的室内设备替代卫星工作？

研究背景

通过开关LED，我们可以做什么？



照明

数据通信

探测感知

室内定位

■ 其他潜在应用领域和重要意义：

- 智能制造的**固定资产追迹**
- 协助开展面向客户的**基于位置服务(LBS)**
- 在对射频信号敏感的炼油厂，机舱，医院**提供备用解决方案**



研究现状

研究目的: 为柔性制造/智能制造车间的智能载具和其他单元提供高精度, 低成本的定位服务

- 智能车间的设备定位需求
- 以低成本实现高精度定位的挑战



- 以LED照明的基础设施建设兴起
- Li-Fi 概念的提出

LED Beacons slightly modified from existing infrastructure



Receiver attached to the asset

LiFi



Li-Fi Based Track and Trace System

Cost-effective

Reliable

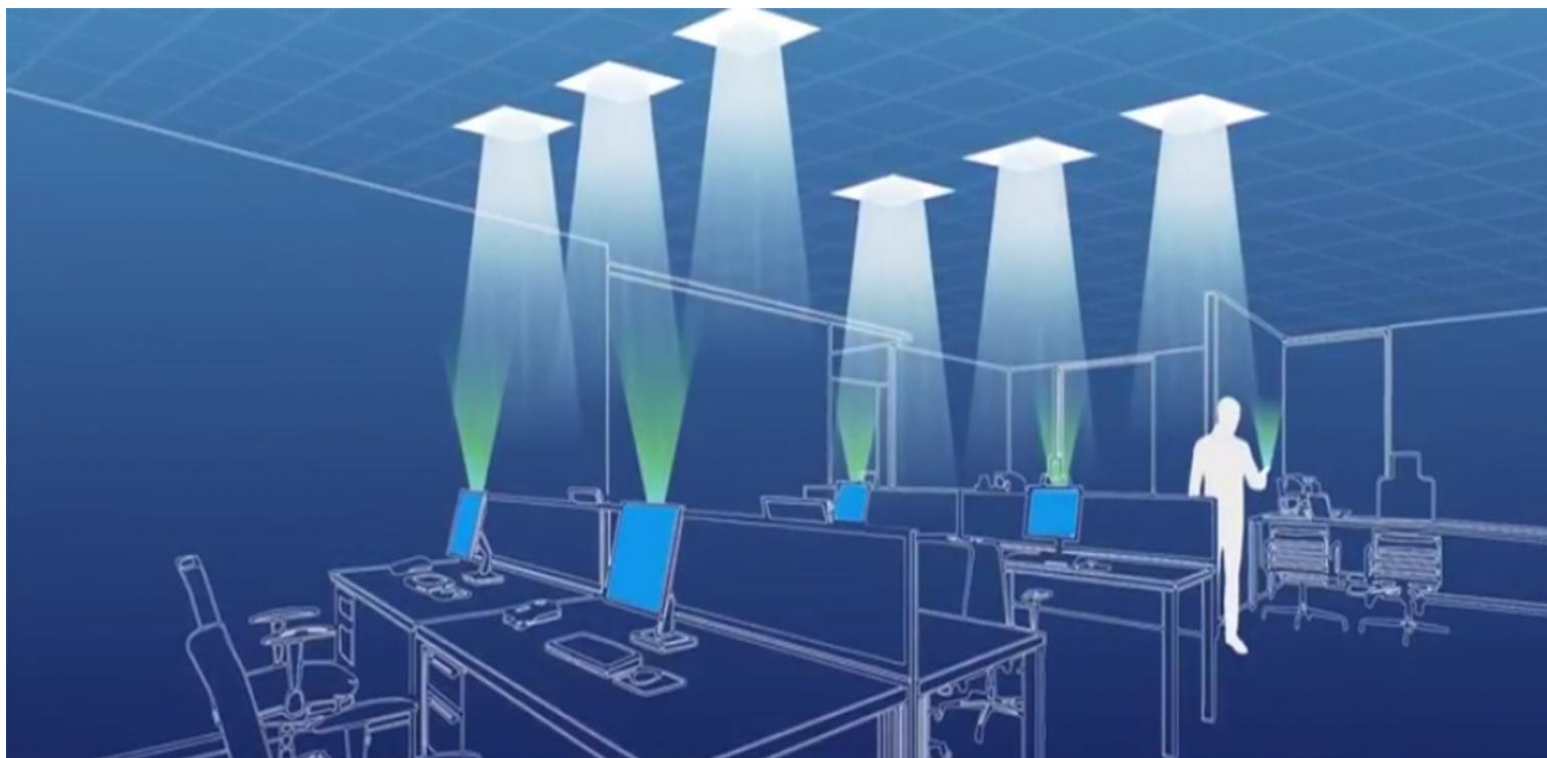
Accurate



研究挑战

如何实现基于VLP的**可广泛部署的低成本低复杂度**室内定位系统？

- 如何减轻接收端倾斜和转动对定位精度的影响？
- 如何在实际部署中动态补偿实际定位信道和理论建模的差异？
- 如何改变在实际部署中费时费力的现状？

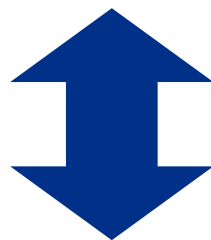




研究挑战

如何实现基于VLP的**可广泛部署的低成本低复杂度**室内定位系统？

- 如何减轻接收端倾斜和转动对定位精度的影响？
- 如何在实际部署中动态补偿实际定位信道和理论建模的差异
- 如何改变在实际部署中费时费力的现状

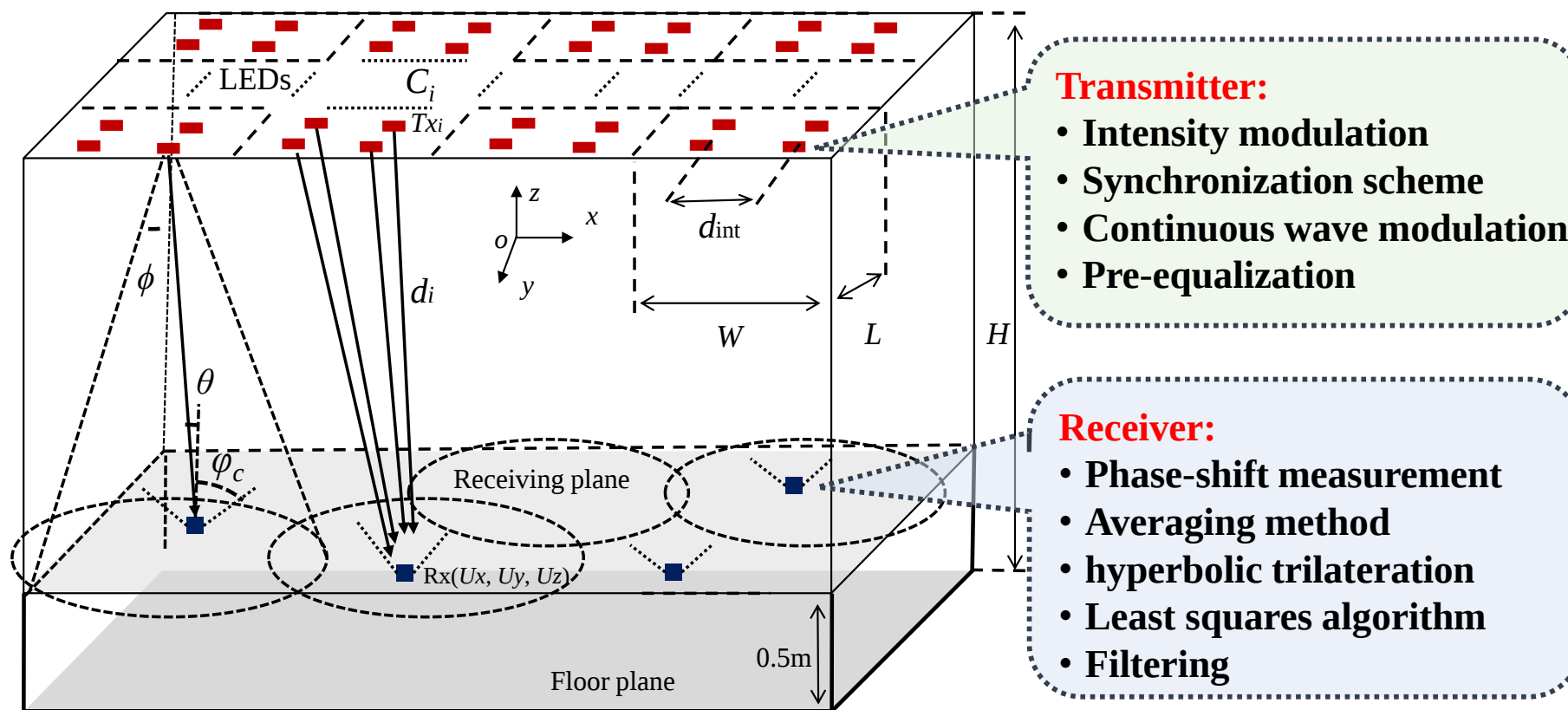


报告内容

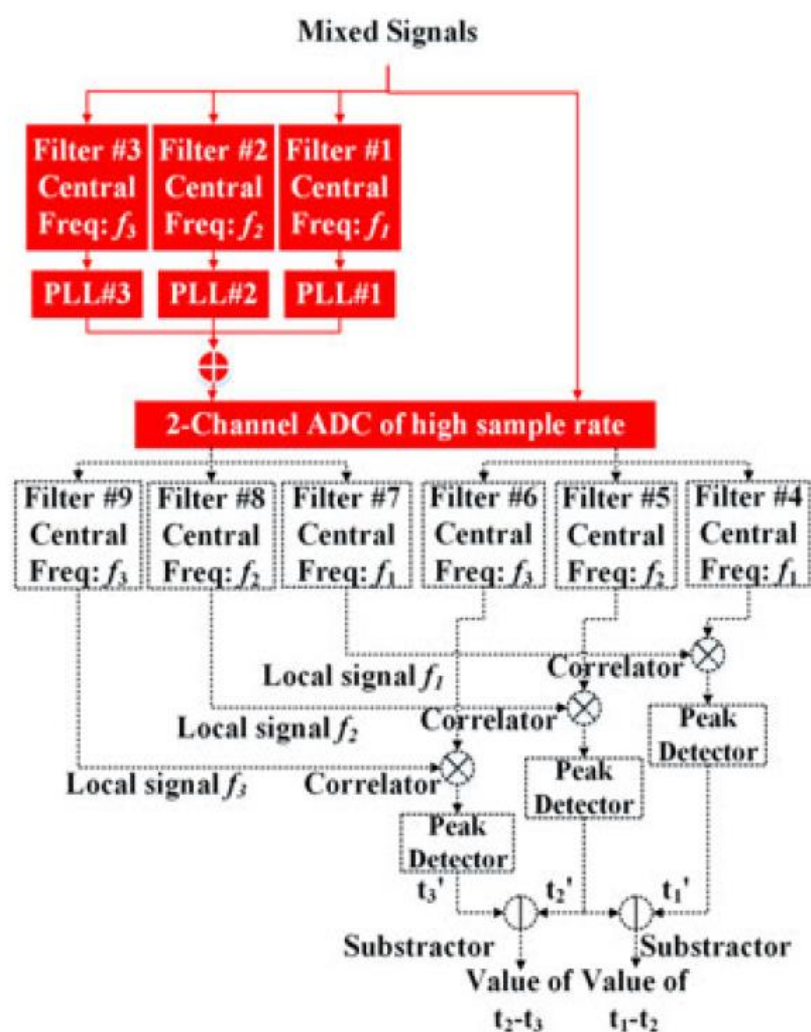
- 基于到达时间差(TDOA)和差分相位差(PDOA)的可见光定位研究
- 基于神经网络的RSS-PDOA-可见光定位研究
- 基于深度学习的可见光定位研究

1. 基于到达时间差(TDOA)和差分相位差(PDOA)的可见光定位研究

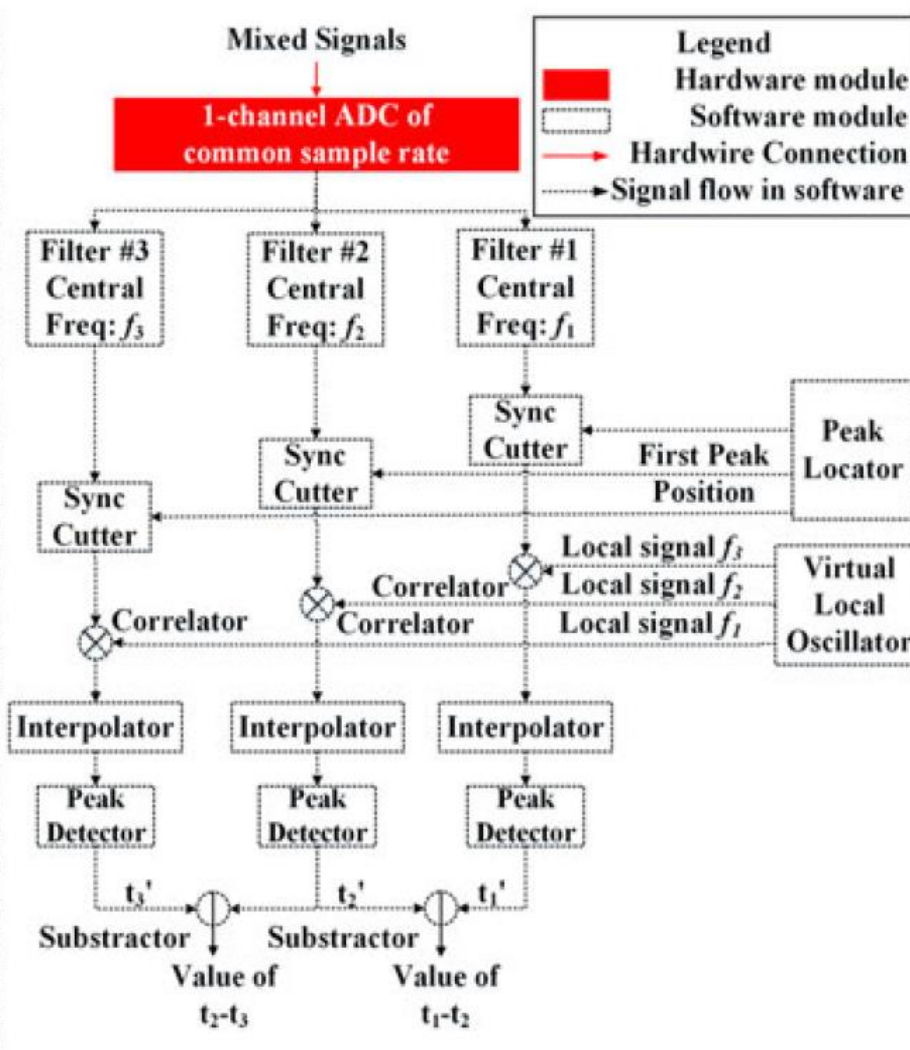
- 超微蜂窝VLP网络 (Atto-cellular VLP system)
- GPS定位概念的室内延续
- 相位差测量 (PDOA) 比基于接收信号强度(RSS) 的定位更准确和稳定, 尤其是处理移动接收机方面



1. 基于到达时间差(TDOA)和差分相位差(PDOA)的可见光定位研究



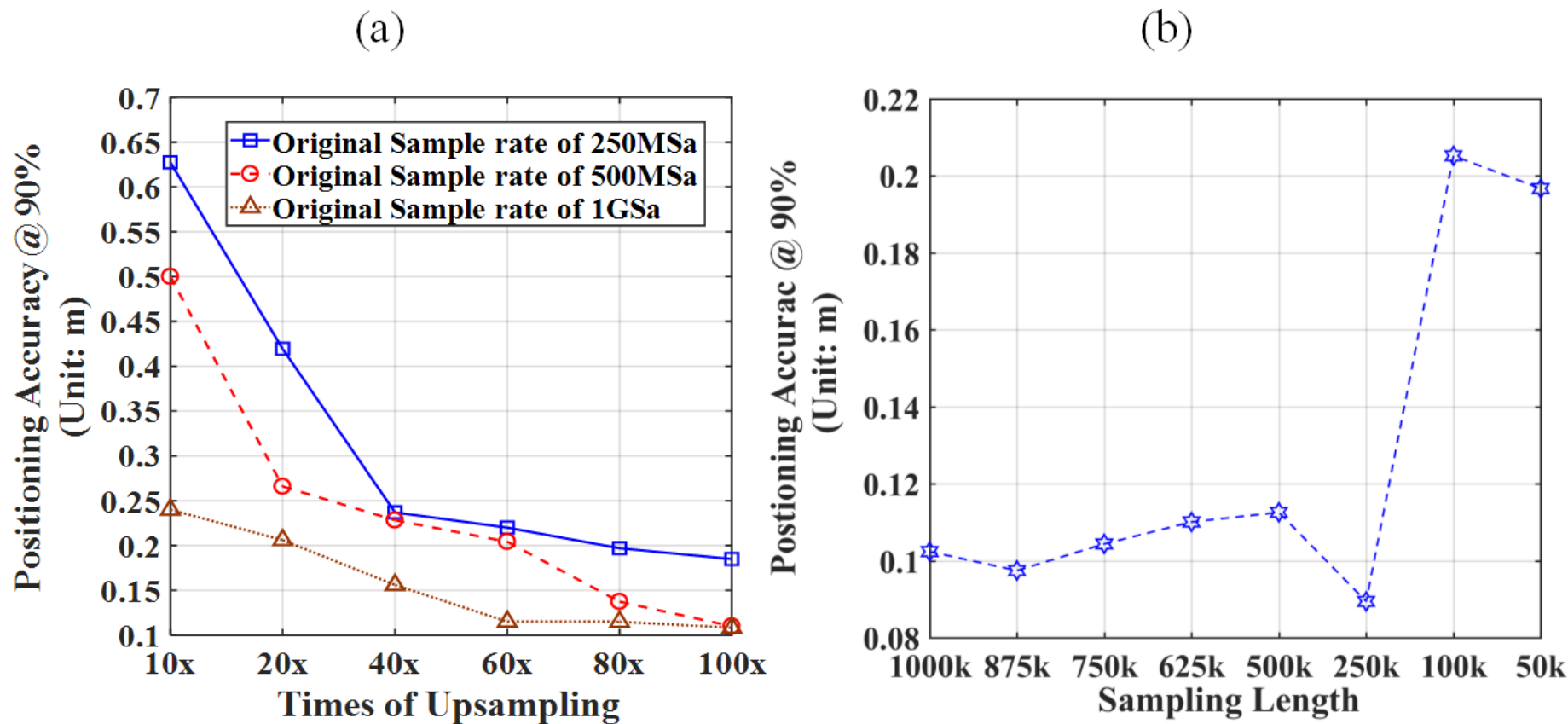
传统 TDOA 运算机制



提出的 TDOA 运算机制以降低硬件复杂度

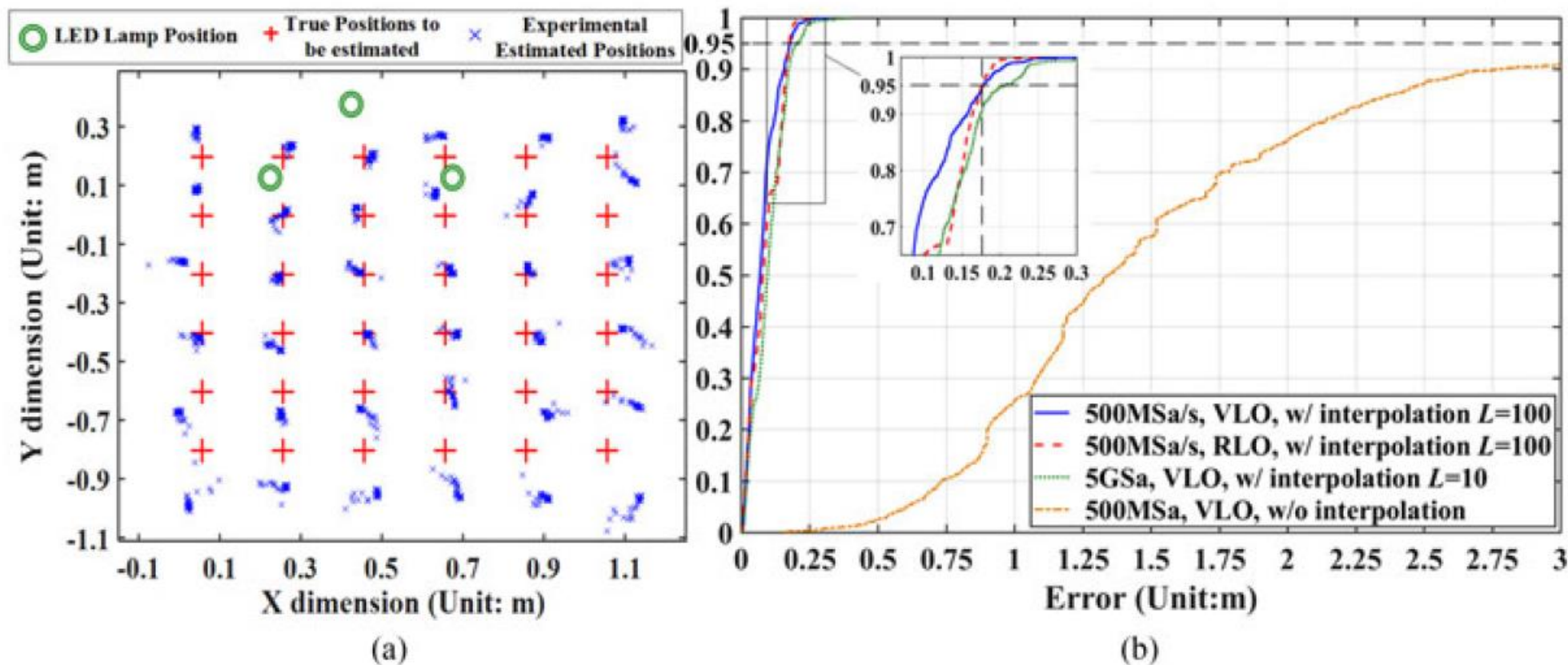


1. 基于到达时间差(TDOA)和差分相位差(PDOA)的可见光定位研究



较佳组合：不低于250k Samples + 80~100的插值倍数

1. 基于到达时间差(TDOA)和差分相位差(PDOA)的可见光定位研究



平均误差: 9.2cm
95%定位误差: < 17.5cm

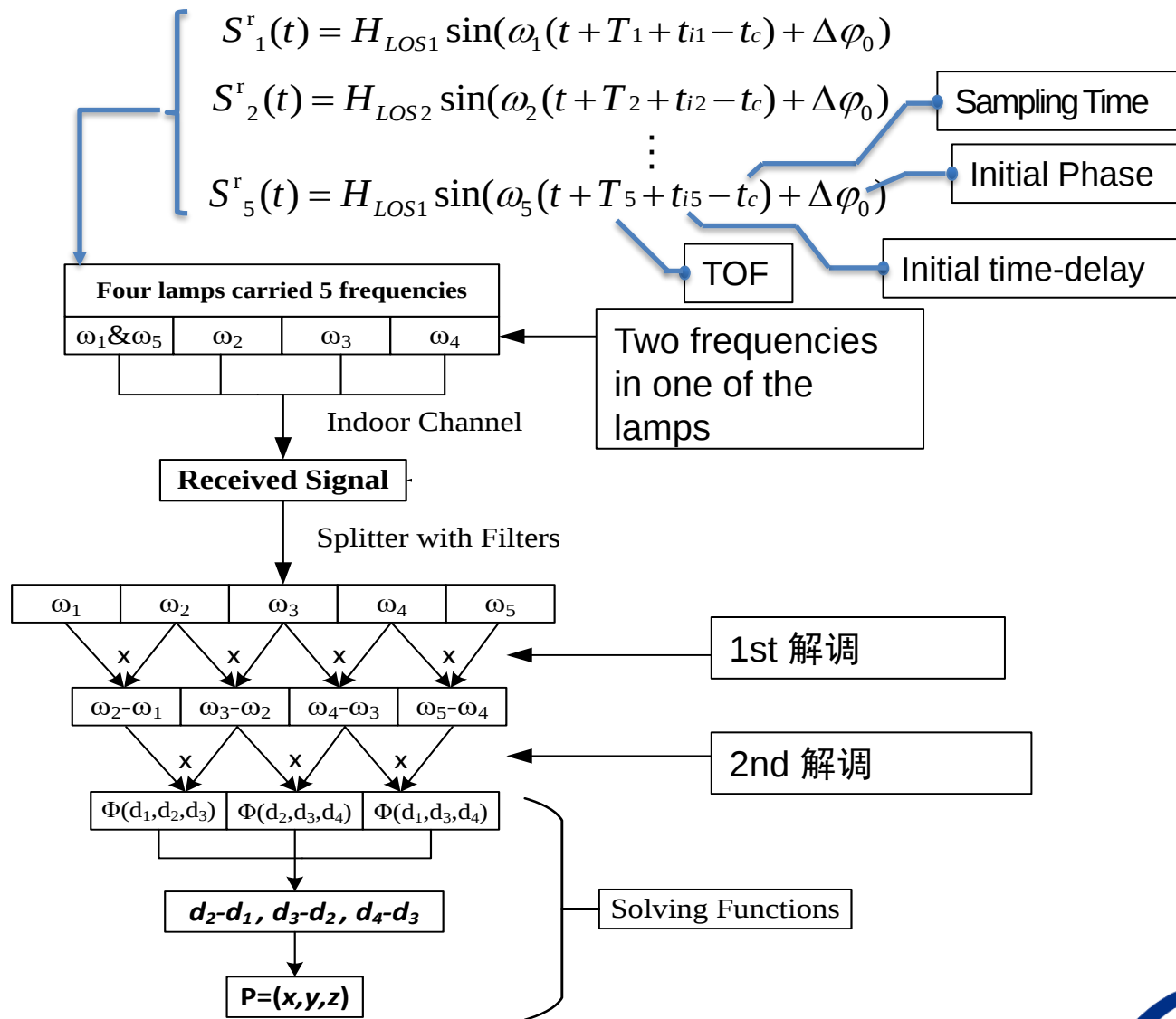
1. 基于到达时间差(TDOA)和差分相位差(PDOA)的可见光定位研究

• DPDOA 优势

1. 避免使用同步头
2. 避免使用本振信号
3. 两次差分消除更多共模误差

• 其他方法加持

1. 希尔伯特变换
2. 卡尔曼滤波
3. 三边法定位





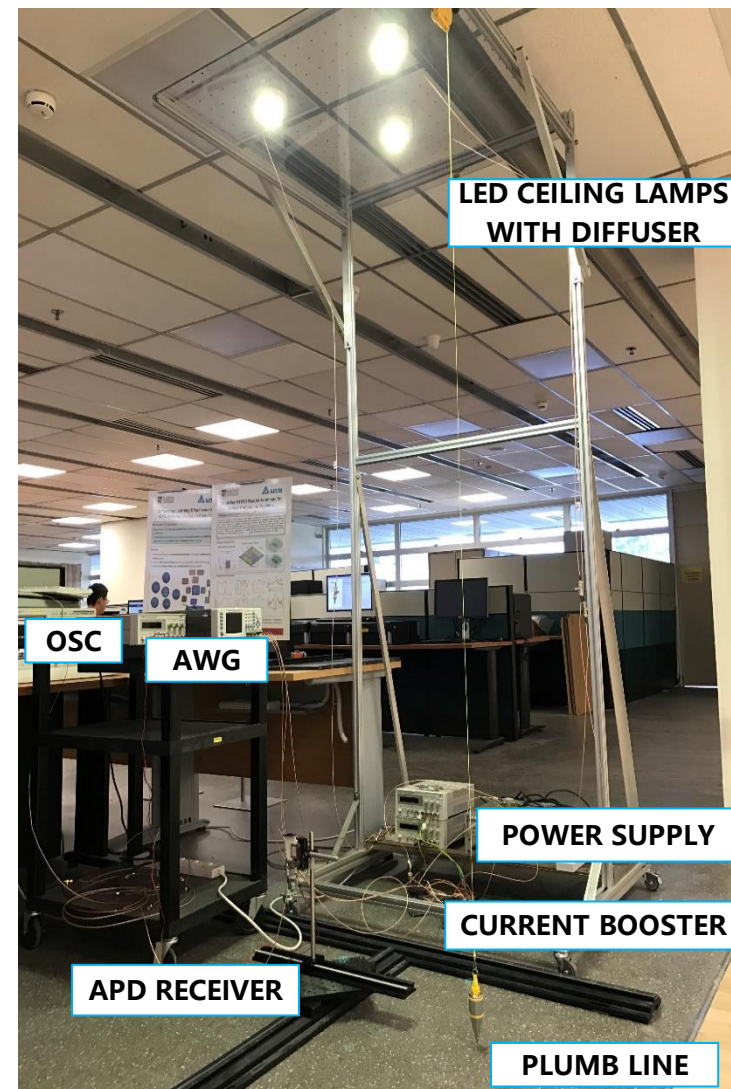
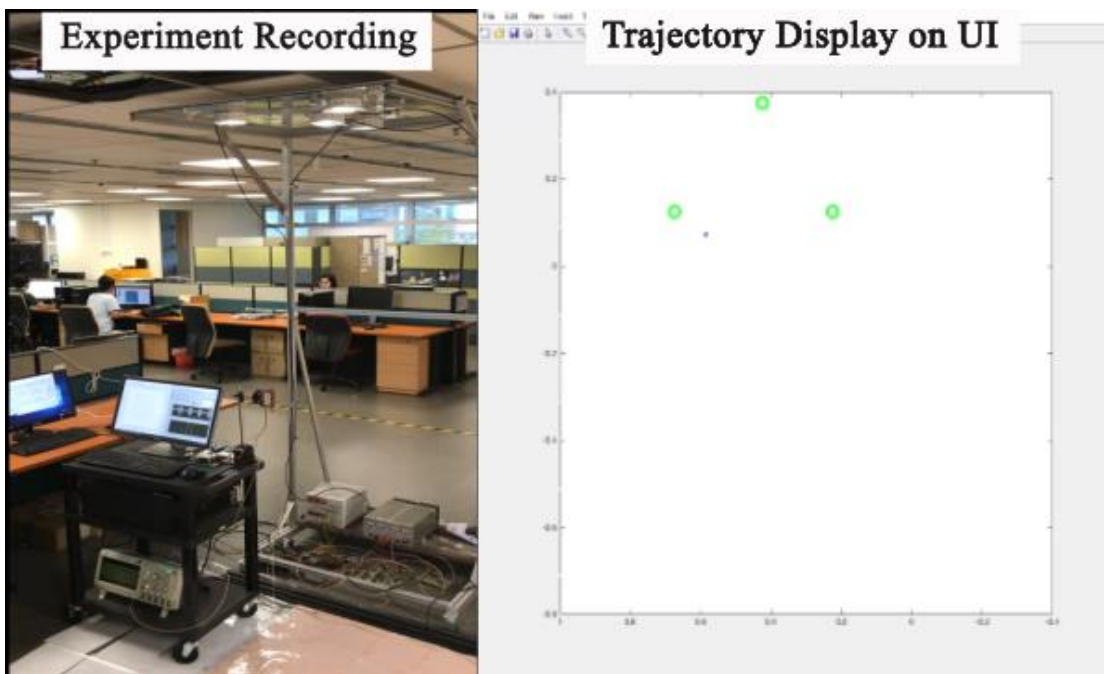
1. 基于到达时间差(TDOA)和差分相位差(PDOA)的可见光定位研究

实验设置: 2D/3D 定位使用 3~4 盏LED灯具

覆盖范围: $2 \times 2 \text{ m}$ (4 m^2)

实验高度可调: 2-2.3 m

实现了亚分米级定位精度

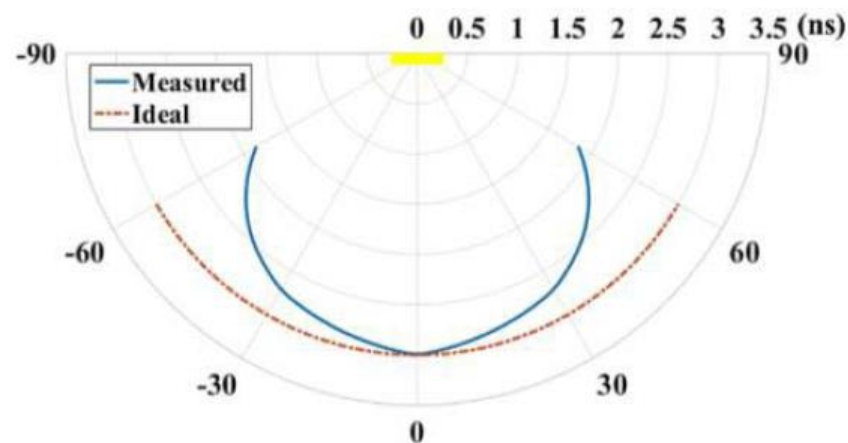


2. 基于神经网络的RSS-PDOA-可见光定位研究

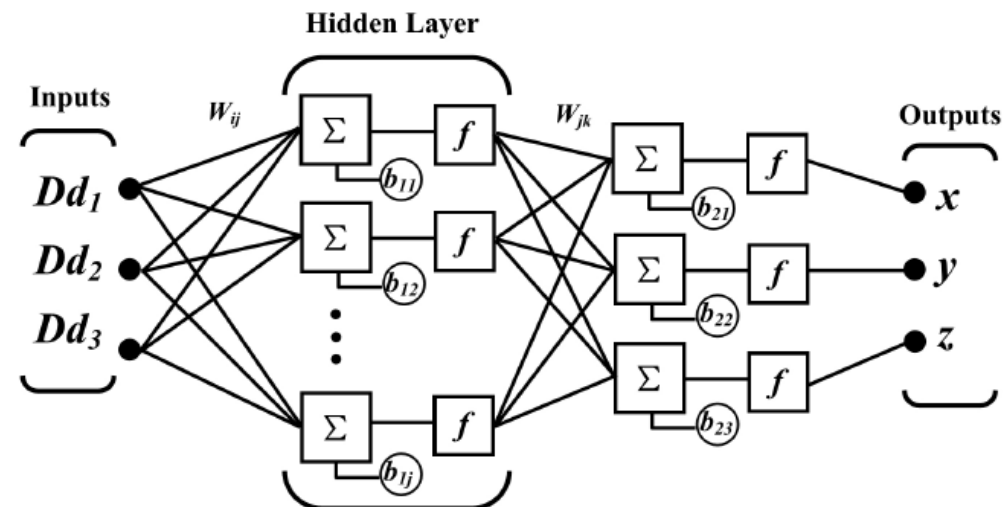
模型驱动的误差校正模式



数据驱动的误差校正模式

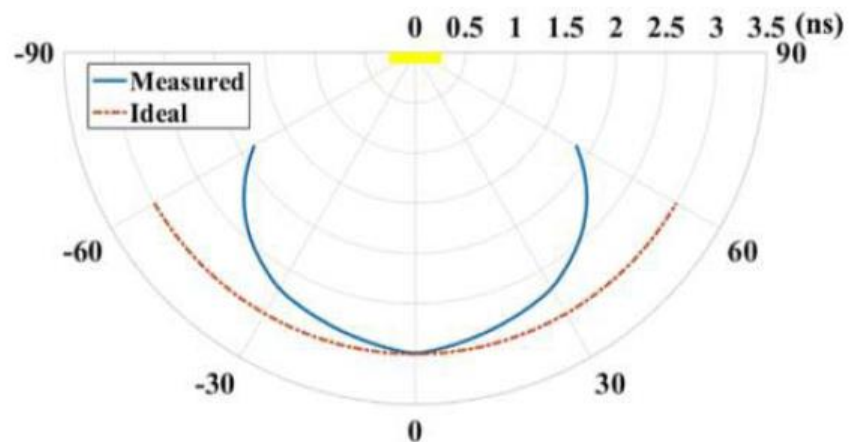


实际定位信道和理论建模的差异

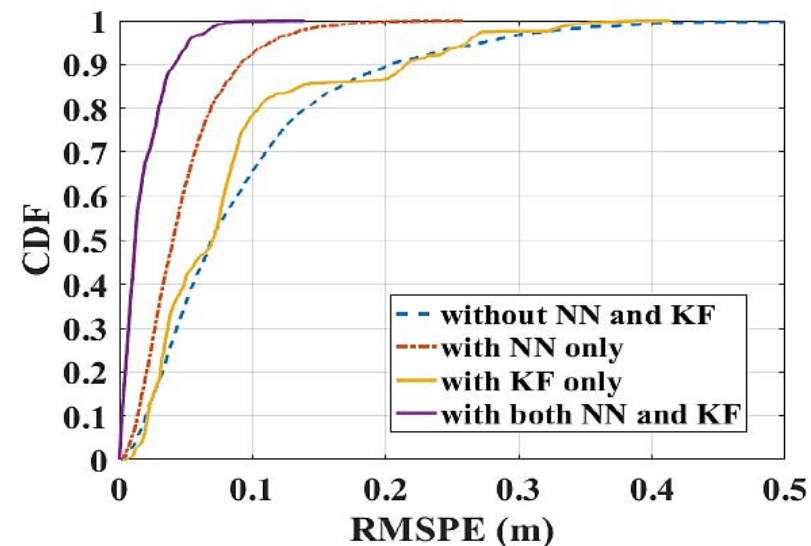


2. 基于神经网络的RSS-PDOA-可见光定位研究

模型驱动的误差校正模式



数据驱动的误差校正模式

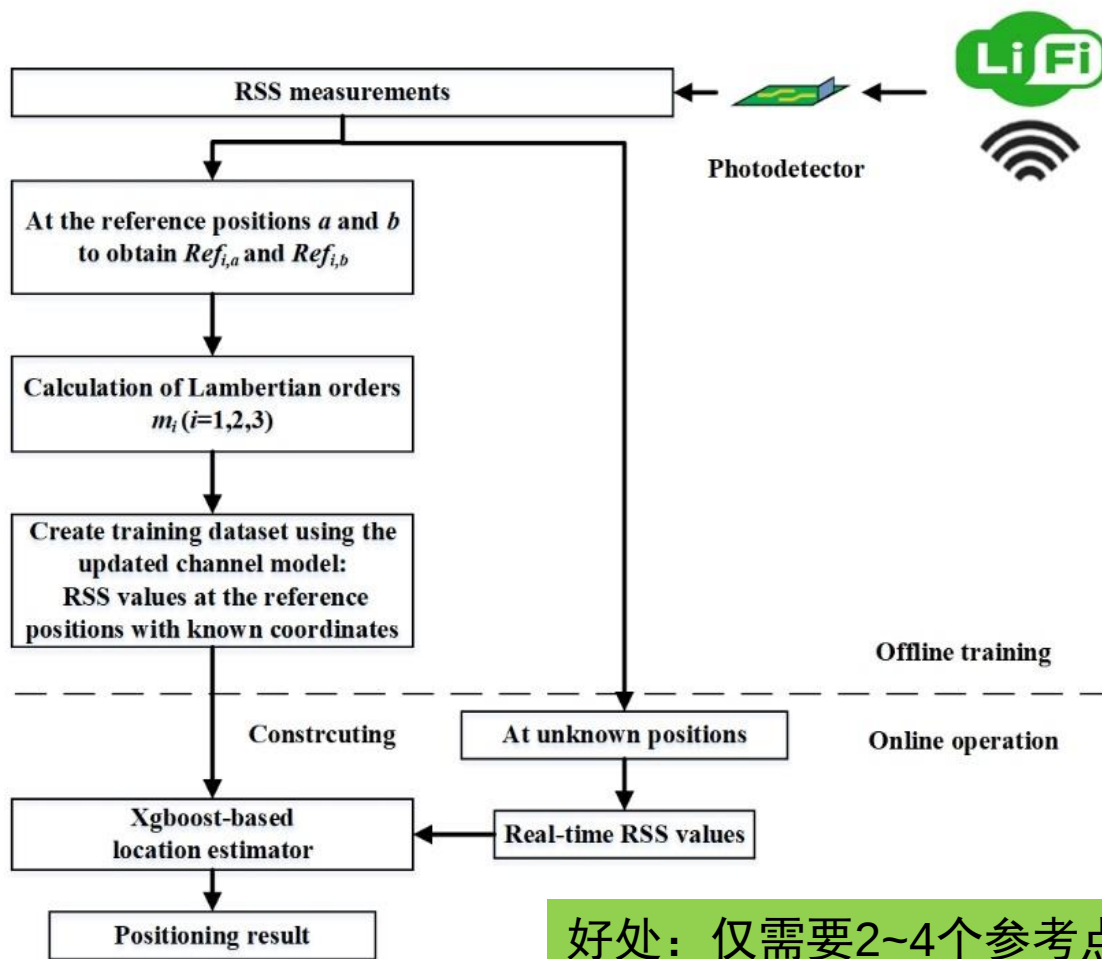


使用基于神经网络的纠正算法，定位误差降低 >50%，
结合卡尔曼滤波，定位误差进一步降低50%



3. 基于深度学习的可见光定位研究

解决实际部署中痛点：繁琐性和耗时性



好处：仅需要2~4个参考点便可以充分训练深度学习的定位估计模型

模型+数据的双驱动：
稀疏化地测量出参考点的RSS

$$RSS_{i,p_k} \approx A_r \cdot F_s \cdot L_g \cdot \frac{m_i + 1}{2\pi d_{i,p_k}^2} \cdot TSS \cdot N \cdot \left(\frac{h_{p_k}}{d_{i,p_k}} \right)^{m_i+1}$$

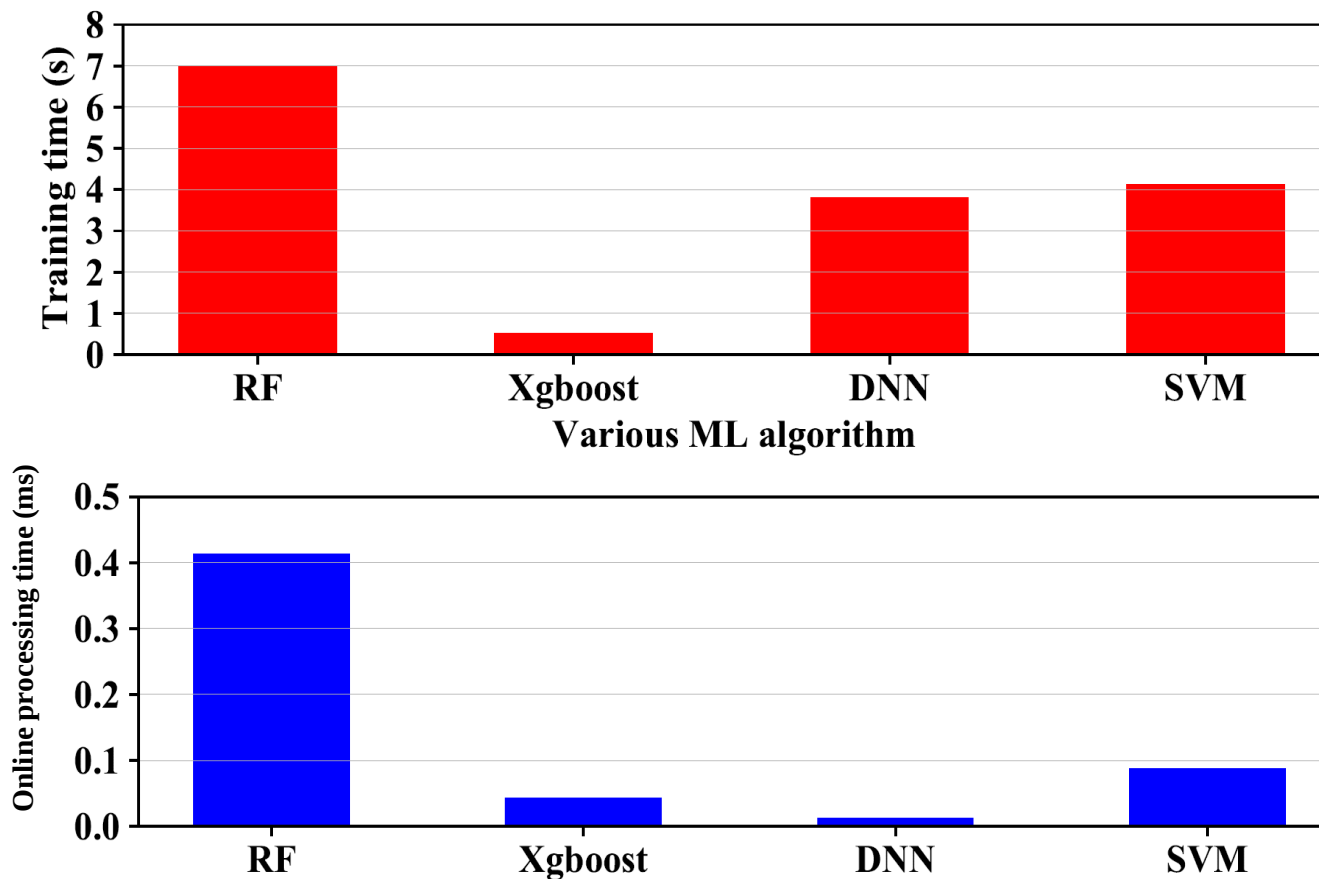
RSS数据集扩展

DL训练、Transfer Learning



3. 基于深度学习的可见光定位研究

解决实际部署中痛点：繁琐性和耗时性



Xgboost Regressor可以大幅提升训练速度，同时保证精度，缩短例行维护时间

可见光定位的工业应用前景





可见光定位在实际应用中的挑战及未来研究方向

Technology	Accuracy	Accuracy degradation due to metallic environment and RF interference	Simultaneous Communication and Positioning	Deployment Costs	2D / 3D
RFID	1~5 m	Moderate	No	Moderate	2D Only
UWB	<0.2 m	Moderate	Hard	High	2D / 3D
BLE	0.3~5 m	Significant	Yes	Low	2D / 3D
BLE 5.0	<0.2 m	Significant	Yes	Moderate	2D / 3D
Wi-Fi	0.5~5 m	Moderate	Yes	Low	2D / 3D
VLP	<0.2 m	No	Yes	Moderate	2D / 3D



结论：在特殊应用场景（RF-prohibited scenarios）具备较强的不可替代性，但是在一般定位场景中的角色依然偏向于辅助补充型的角色！



可见光定位在实际应用中的挑战及未来研究方向

- 1) **NLOS问题**
- 2) **成本与功耗**
- 3) **充分利用现有IoT平台?**



- 1) **漫反射室内定位;**
 - 2) **光伏传感器的室内定位**
 - 3) **Hybrid Wi-Fi/Li-Fi 定位系统**
- 结合计算机视觉实现室内的全方位定位传感**



F. Yang, S. Li, H. Zhang, Y. Niu, C. Qian, and Z. Yang, "Visible Light Positioning via Floor Reflections," *IEEE Access* 7, 97390-97400 (2019).

C. Hong, Y. Wu, Y. Lin, Y. Liu, C. Chow, H. Meng, Y. Chang, C. Yeh, K. Hsu, and S. Song, "Visible light positioning (VLP) system using low-cost organic photovoltaic cell (OPVC) for low illumination environments," *Opt. Express* 28 (18), 26137-26142 (2020).

Shao, S., Khreishah, A., & Khalil, I. (2019). Enabling real-time indoor tracking of IoT devices through visible light retroreflection. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 19(4), 836-851.



融合Wi-Fi的可见光通信定位

PROBLEM STATEMENTS

- Current IoT devices use Bluetooth and Lora which suffer from **RF interference in metallic environment and RF restriction**. Areas include shipyards, vessels and hospitals
- **Lack of remote monitoring and tracking** of workers in **confined spaces** and underground tunnels.
- **Slow data transmission** using Bluetooth and Lora
- **Lack of secure communications**
- **Lack of high accuracy of indoor localization**: Inability to precisely locate in terms of storeys due to RF interferences.



PROPOSED SOLUTIONS

- **Hybrid RF/Optical wireless communications and localization** to extend connectivity to areas with RF impossible areas.
- Illumination is ubiquitous in workplace.
- OWC does not suffer interference
- OWC offers high speed, secure data transmission.
- Visible light positioning for accurate indoor tracking between different storeys and levels.



COMPANIES INTERESTS



TAGVANCE

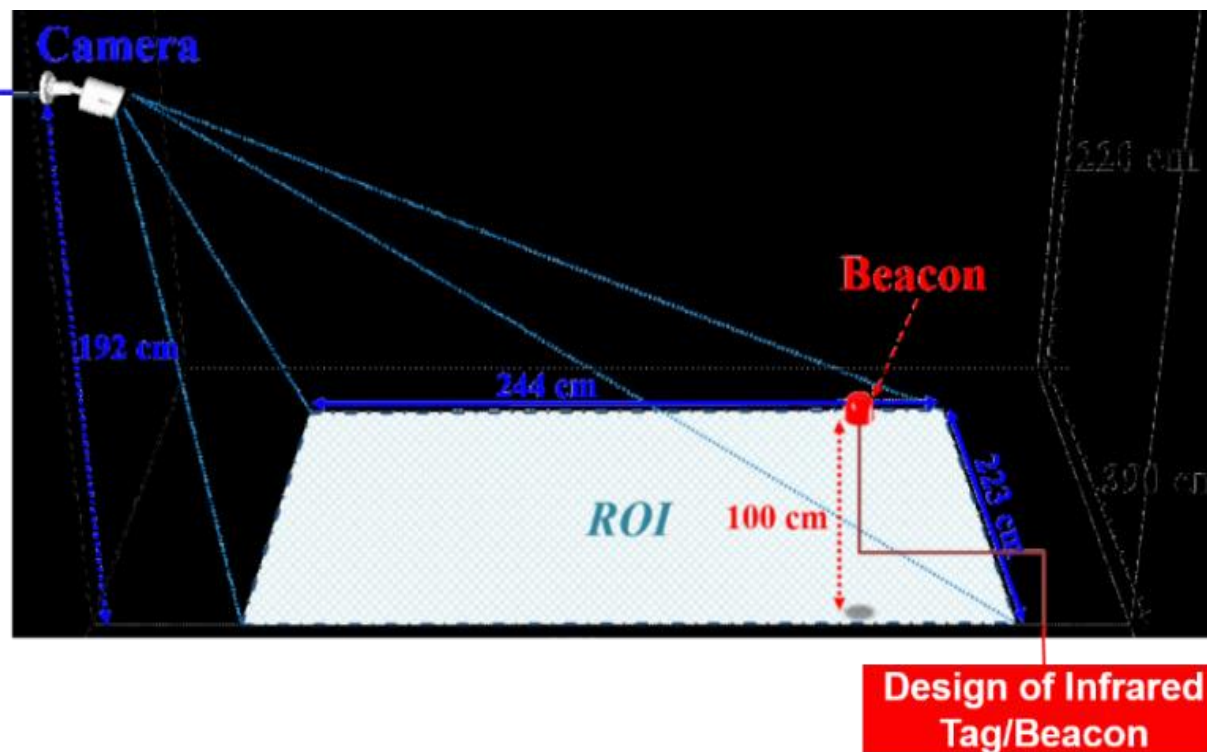
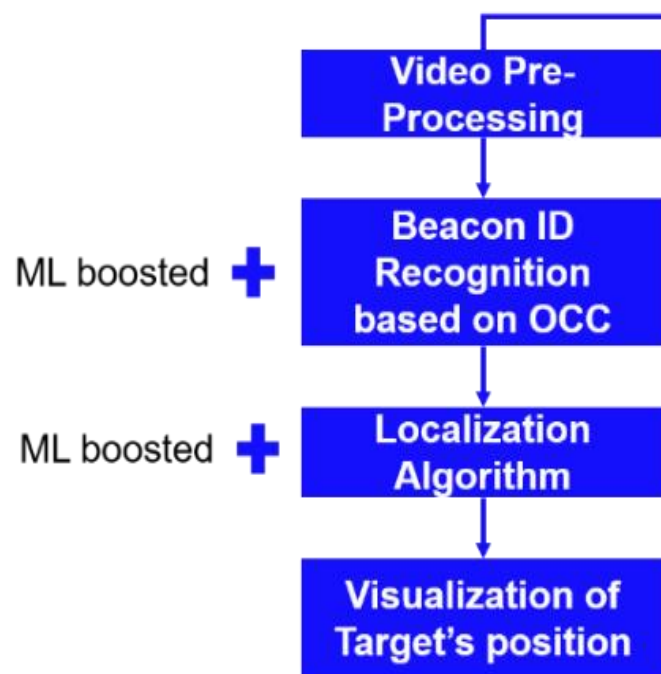


nanolumi





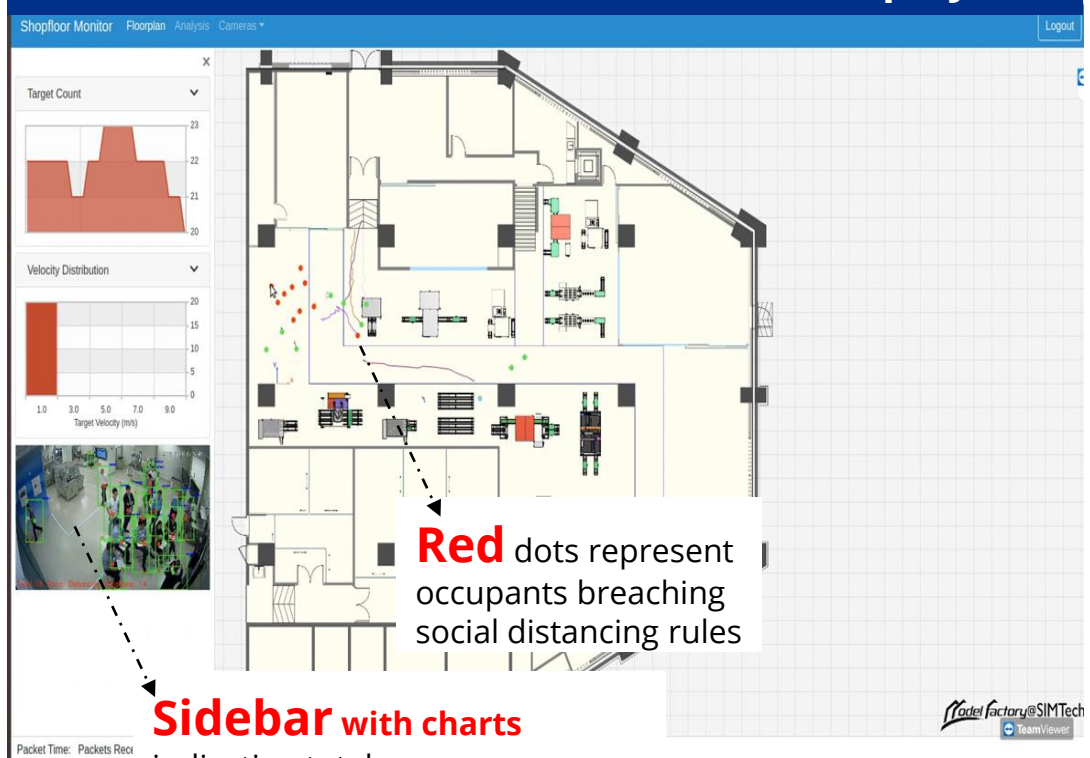
融合计算机视觉的可见光定位





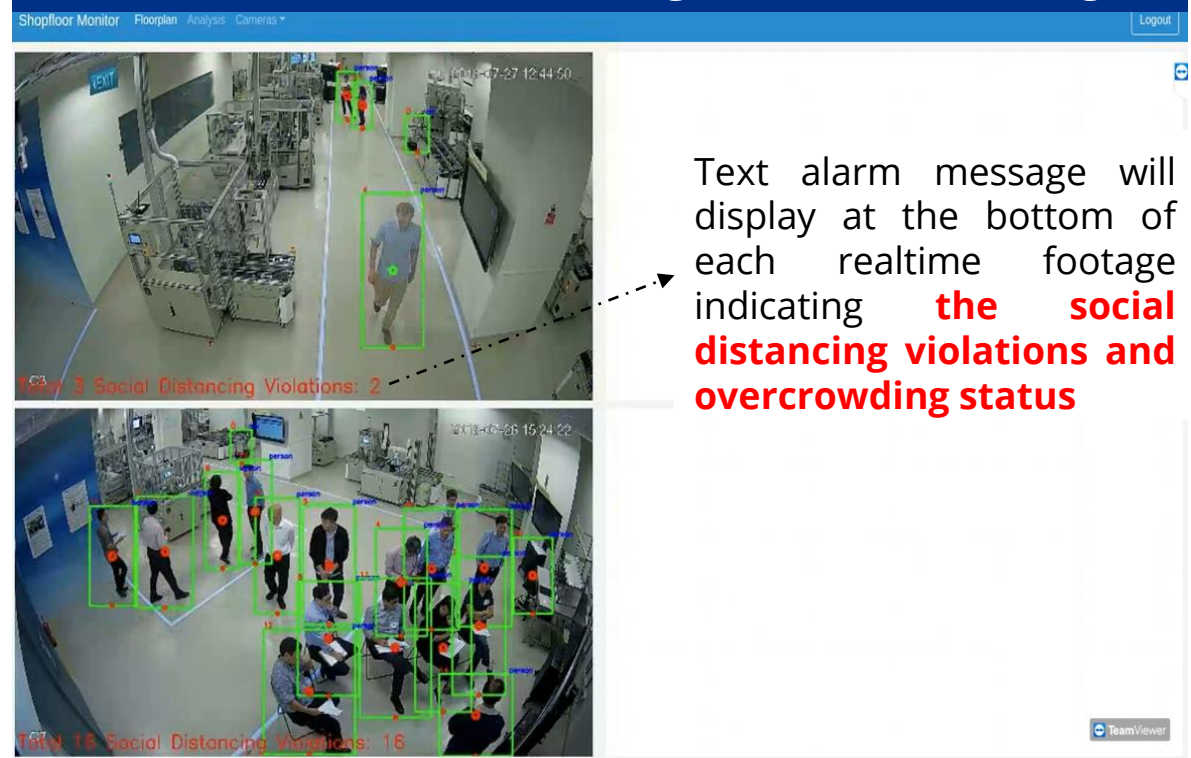
融合计算机视觉的可见光定位

Web APP GUI 1: Realtime footfall display



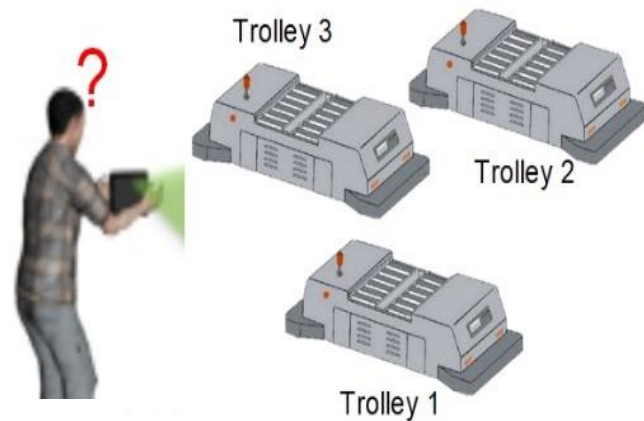
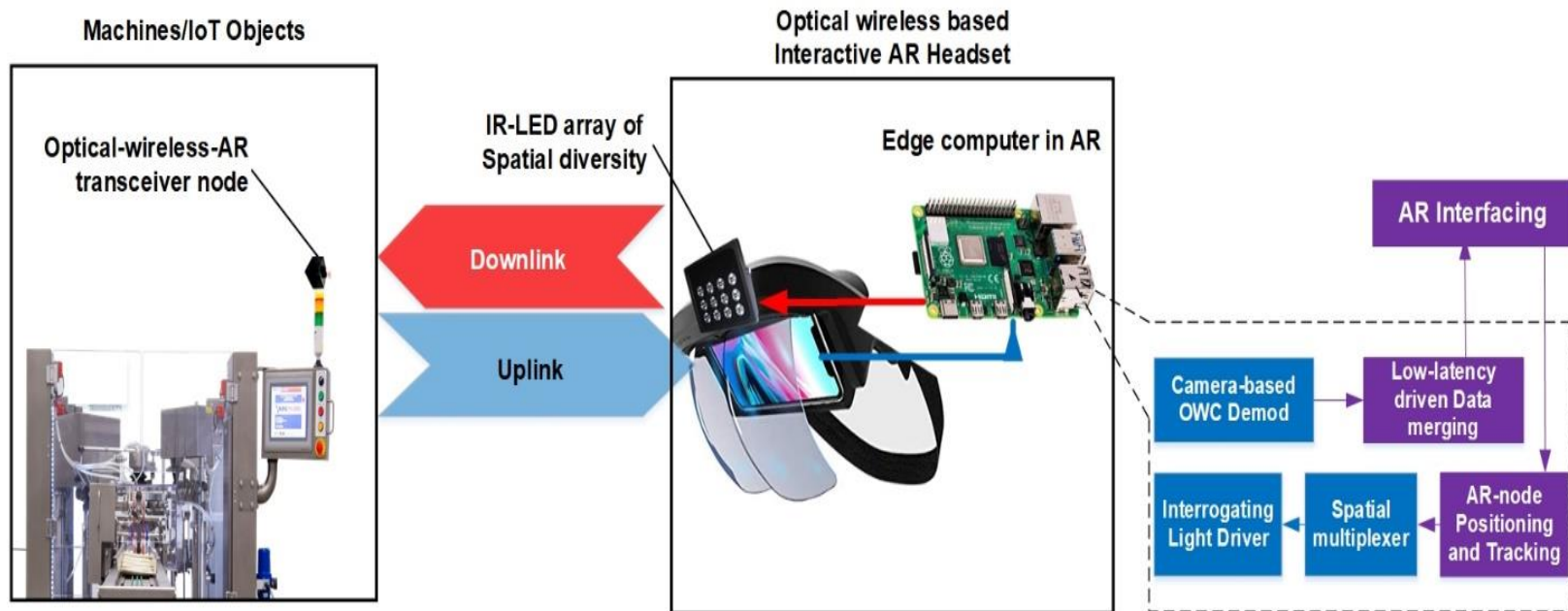
Sidebar with charts indicating total occupancy counts dots and mini-window displaying realtime footage

Web APP GUI 2: Realtime footage with alarm messages





融合计算机视觉的可见光定位





CREATING GROWTH, ENHANCING LIVES



THANK YOU

www.a-star.edu.sg/SIMTech