



基于可见光传输的通感能一体化 技术研究

陈丹阳 博士

北京科技大学光通信与智能化应用研究团队

2023.05.11

01

引言

02

通信位置感知一体化

03

位置感知能量收集一体化

04

通信能量收集一体化

05

基于可见光传输的通感能一体化

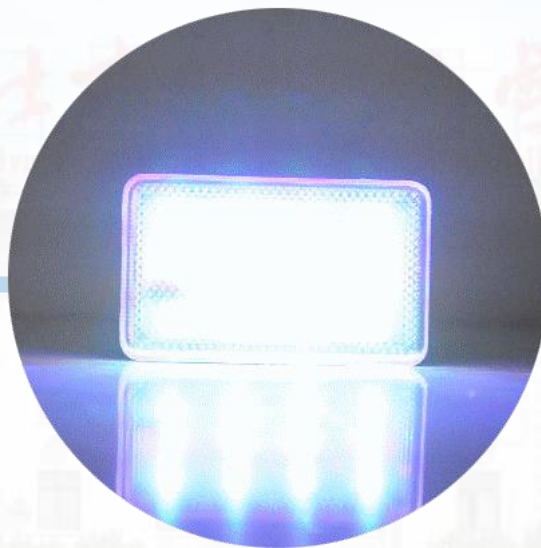
06

总结与展望

引言



烽火狼烟



LED照明



LiFi
(Light Fidelity)

6G无线网络--使能技术之一

2020年《6G 无线热点技术研究白皮书》明确指出，可见光通信照明定位融合技术在部署成本、室内高精度定位、保密性、无电磁辐射等方面具备显著优势，可有效满足随着智能移动终端的日益普及和无线通信的高速发展，人们对通信和定位与日俱增的需求。

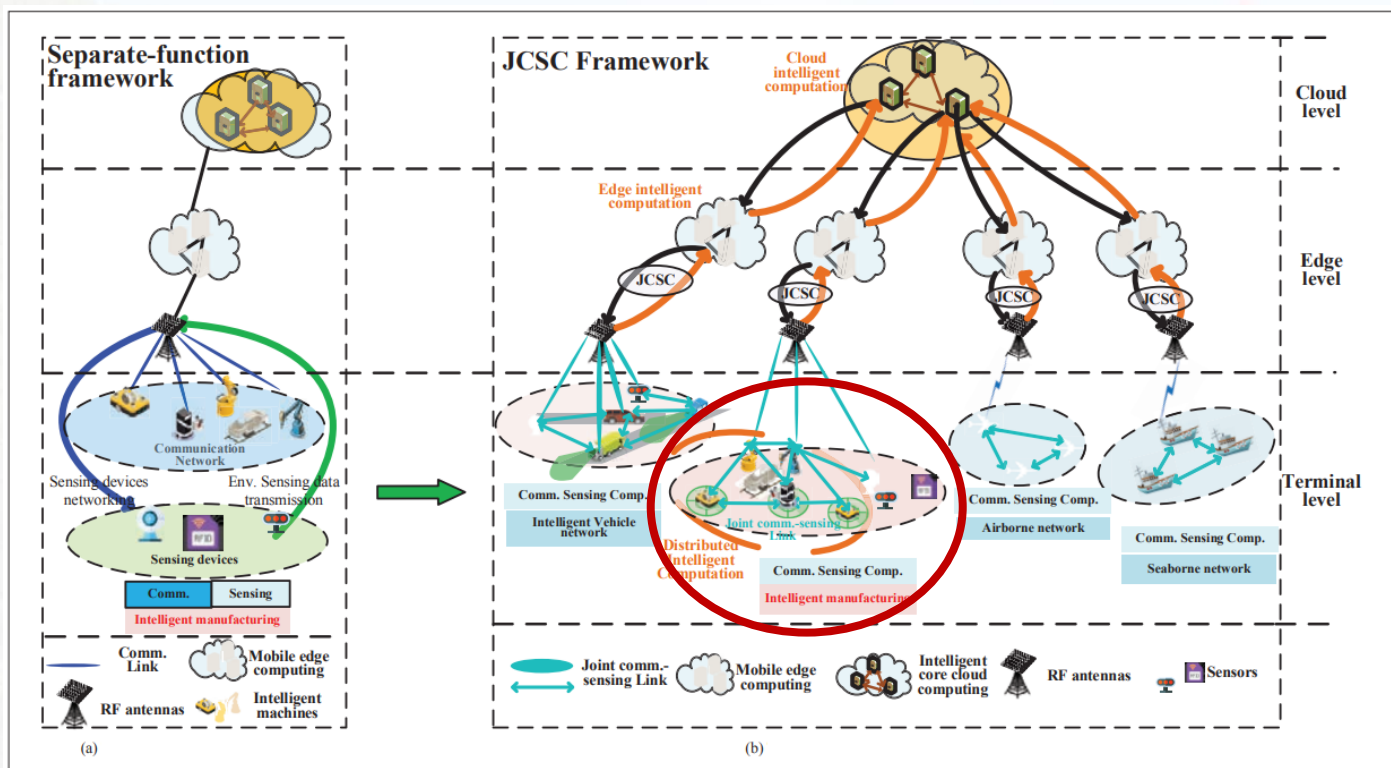
7大未来产业之一

2021年，深圳市明确将可见光通信与光计算、区块链与量子信息、类脑智能、细胞与基因（生物育种）、合成生物、深地深海、空间技术列为七大未来产业。

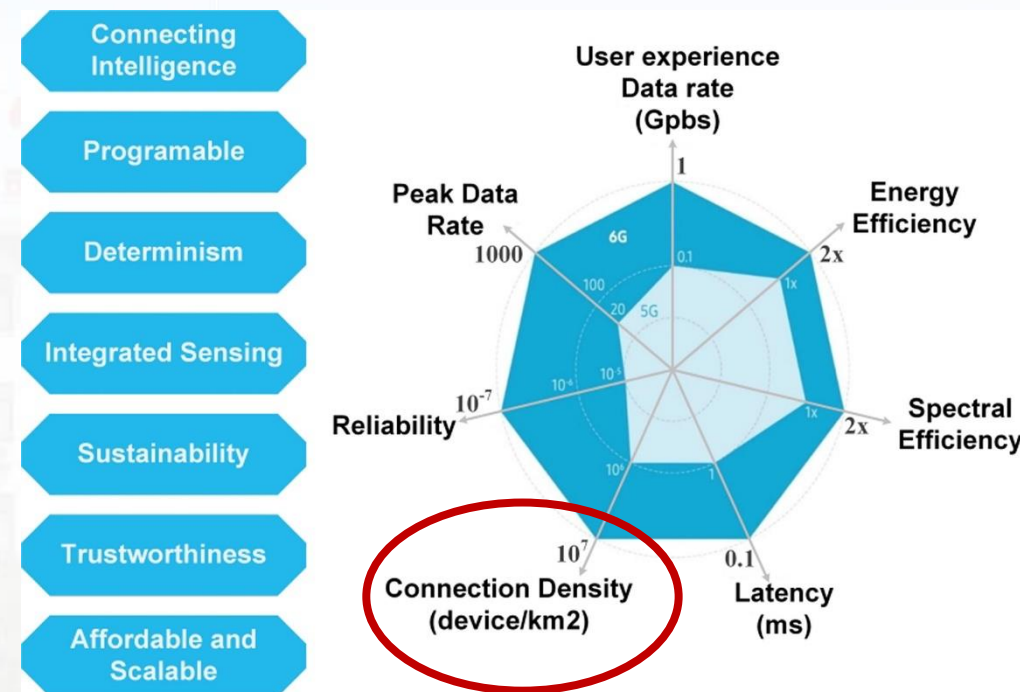
美国军方安全数据传输新宠

2021年，美国陆军投资420万美元用于全球首次大规模部署LiFi。美国欧洲和非洲陆军（USAREUR-AF）的尖端部署基于pureLiFi的无线技术，该技术使用光而不是射频来传输数据。

6G的通感一体化需求迫切



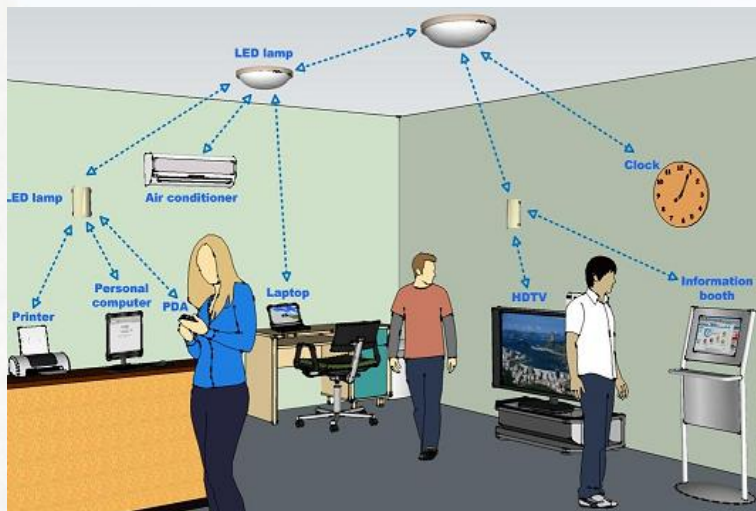
碳排放问题突出



➤ 建立一种具有无处不在的绿色6G移动通信网络势在必行

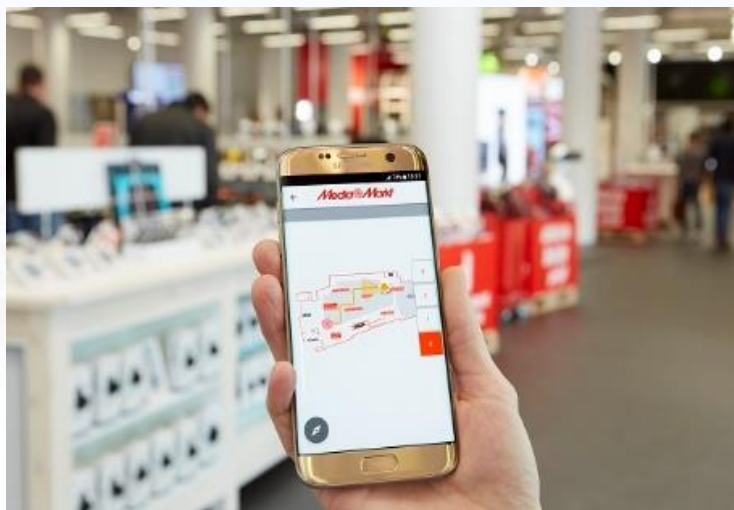
- IEEE Network, 2021, 35(6): 34-42.
- Alexandria Engineering Journal, 2023, 64: 245-274.

通信



- 丰富的频谱资源
- 绿色环保的通信方式
- 安全可靠性强
- 方便快捷，应用场景广
- 具有高速通信的潜力

位置信息感知



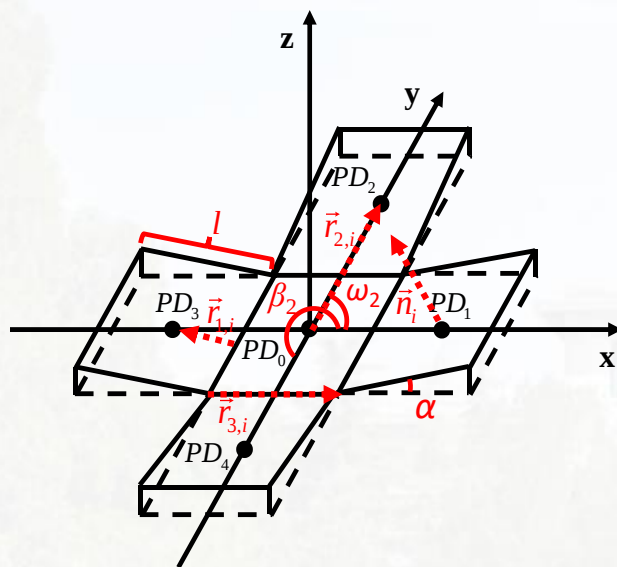
- 兼顾照明
- 低成本
- 厘米级甚至毫米级定位

能量收集

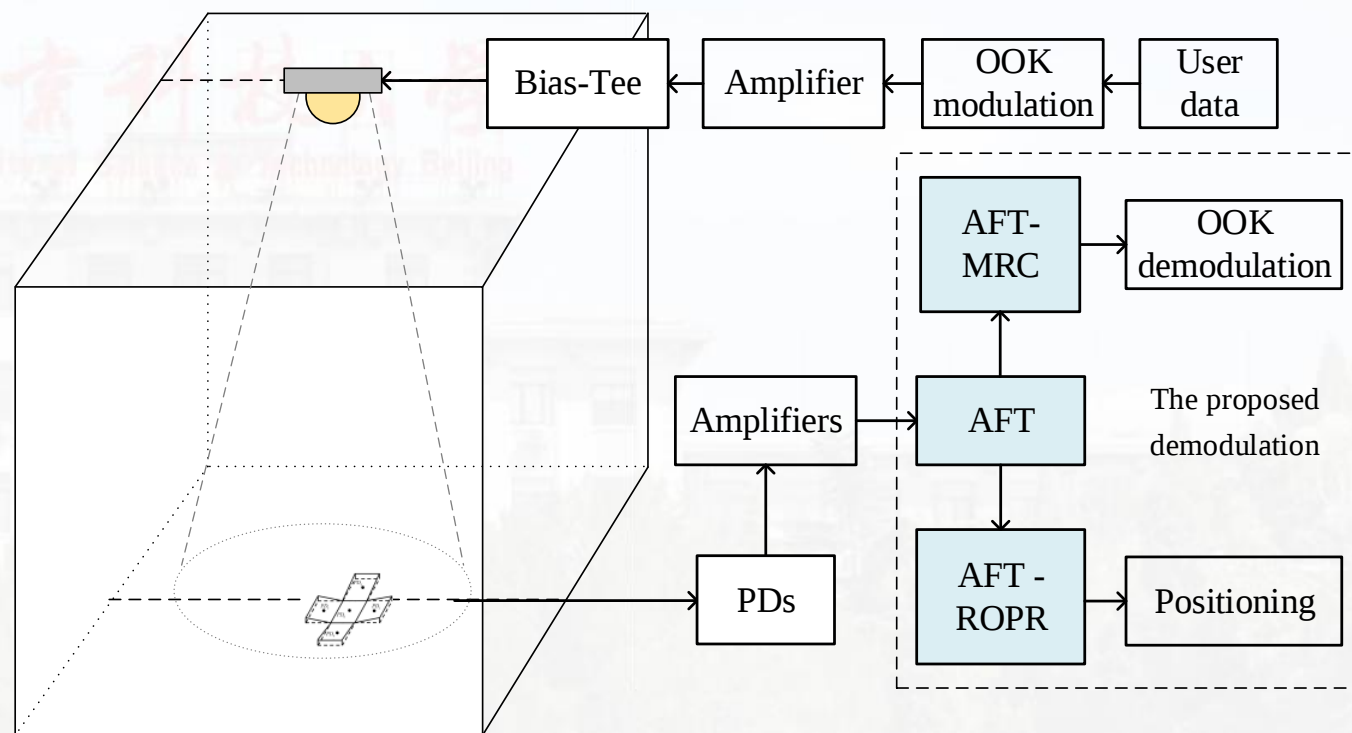


- 实现复杂度低
- 能量自持续

➤ 系统模型

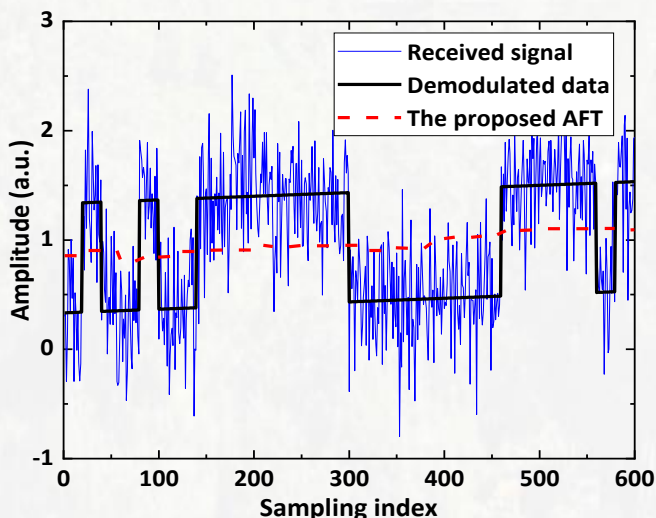
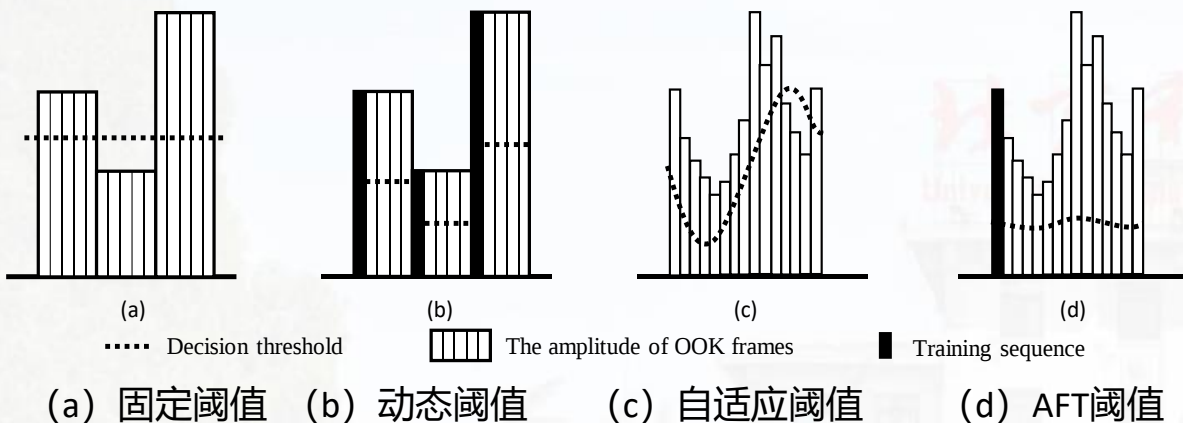


一种多PD对称结构VLCP接收终端结构



VLCP一体化系统模型

➤ 自适应门限AFT算法



接收信号及解调结果

➤ 门限随信号变化用
以实现RSS定位,
同时实现通信

➤ 多维接收结构定位算法

$$P_{r,0} = \frac{kh^{m+1}}{d^{m+3}}$$

$$P_{r,i} = \frac{kh^m}{d^{m+3}} \left[(x_t - x_{r,i}) \sin(\alpha) \cos(\beta_i) + (y_t - y_{r,i}) \sin(\alpha) \sin(\beta_i) + h \cos(\alpha) \right]$$

$$T_i - h \cdot RSSR_i = x_r \cdot A_i + y_r \cdot B_i$$

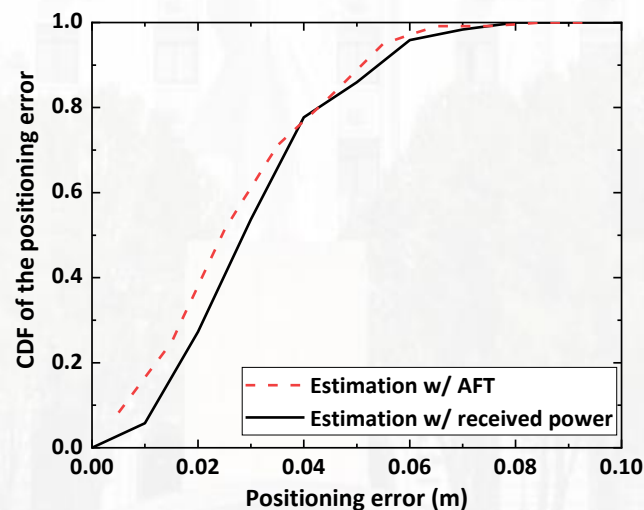
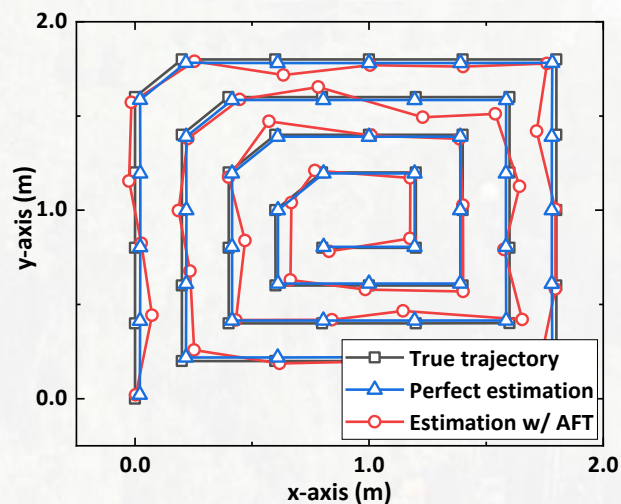
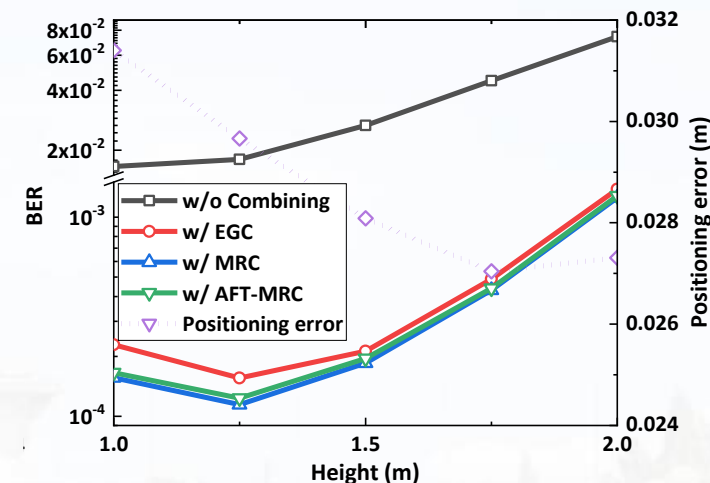
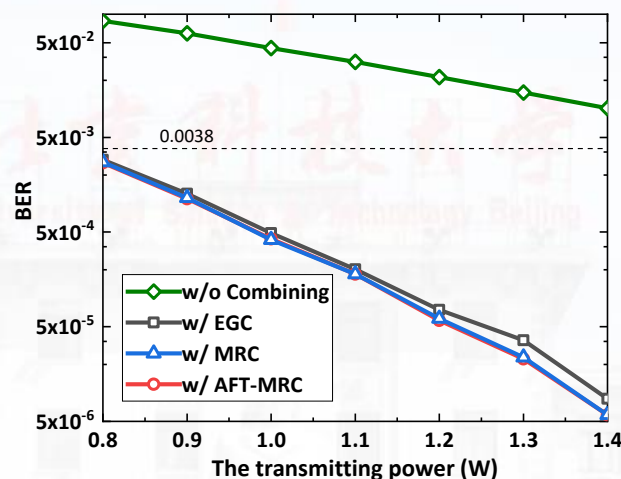
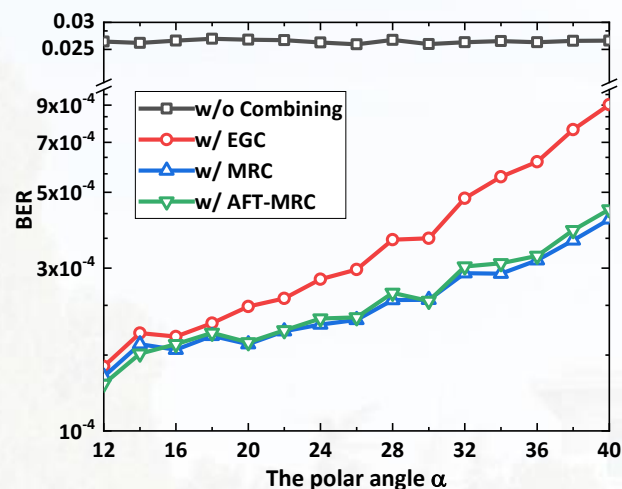
$$A_i = \sin(\alpha) \cos(\beta_i)$$

$$B_i = \sin(\alpha) \sin(\beta_i)$$

$$T_i = [x_t - r \cos(\alpha) \cos(\omega_i)] A_i + [y_t - r \cos(\alpha) \sin(\omega_i)] B_i + h \cos(\alpha)$$

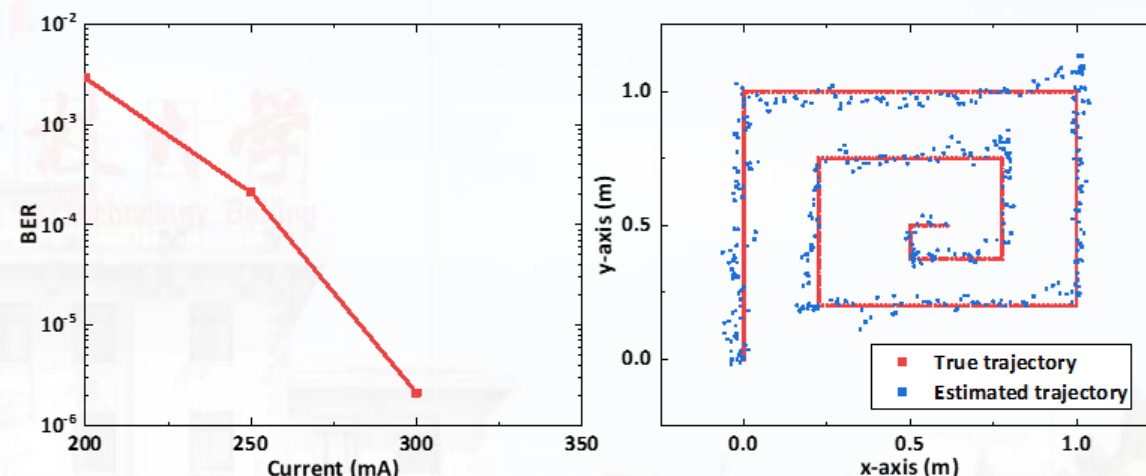
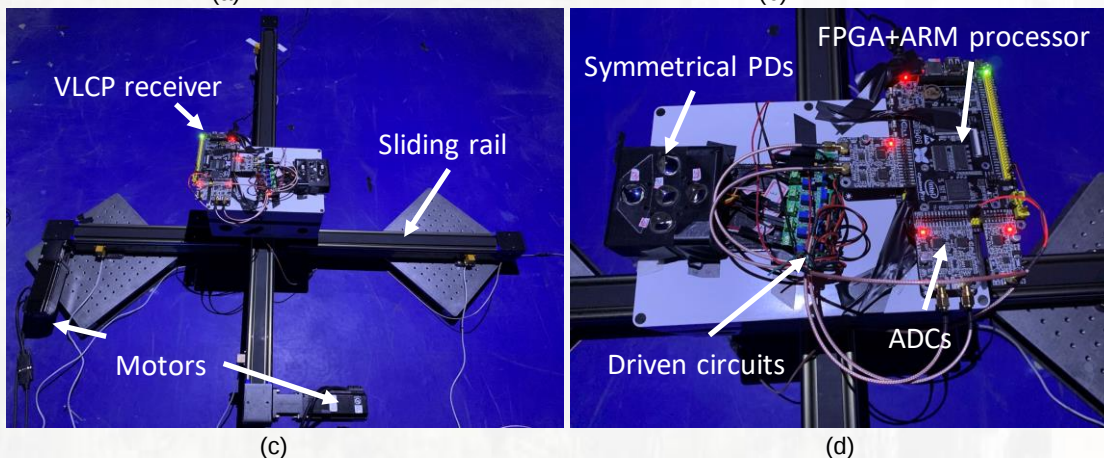
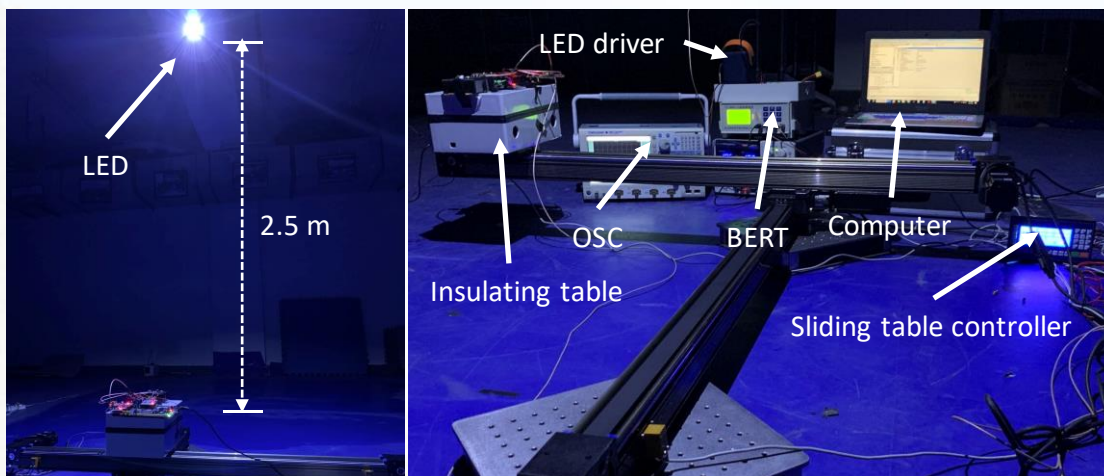
$$RSSR_i = \frac{P_{r,i}}{P_{r,0}} \quad (i = 1, 2)$$

仿真结果



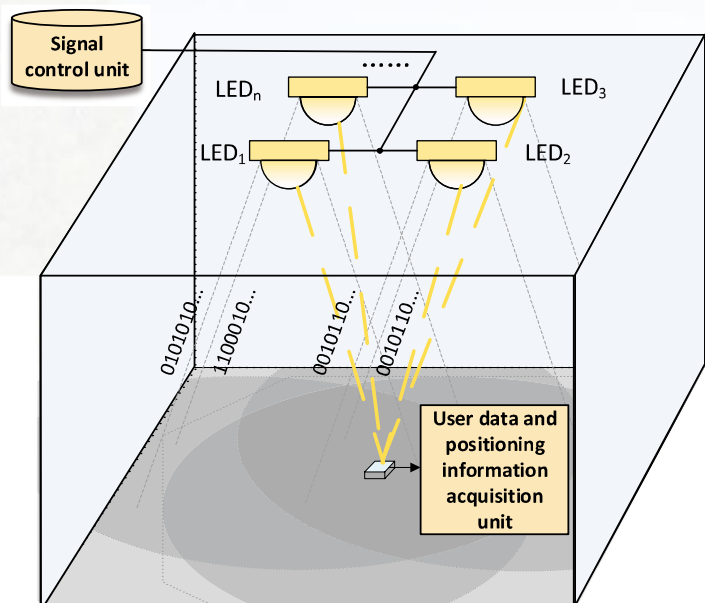
- 不同功率、高度等条件下，BER与传统MRC性能相当
- 平均定位误差约为 3 cm，和传统RSS定位性能相当

实验系统及结果

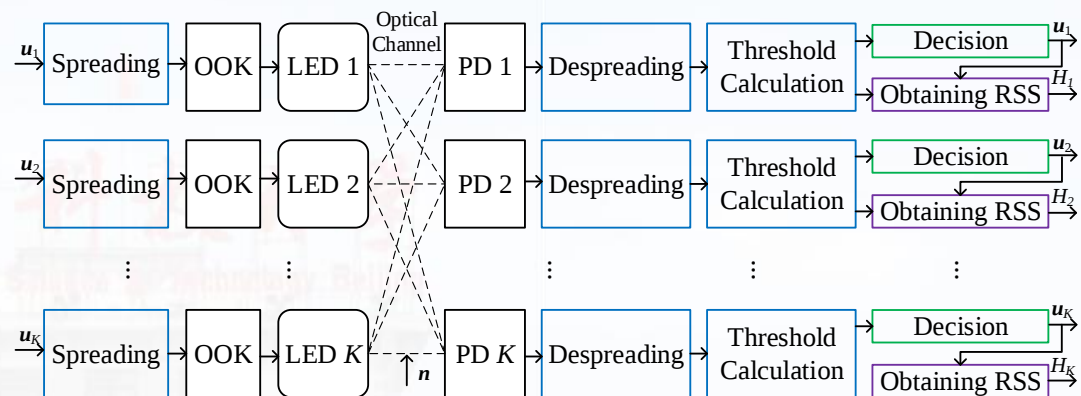


- 中心的照度仅为 6.4 lux时, BER为 1.9×10^{-3} , 通信速率120 Kbit/s
- 中心照度为91.2lux时, 平均定位精度 3.43 cm

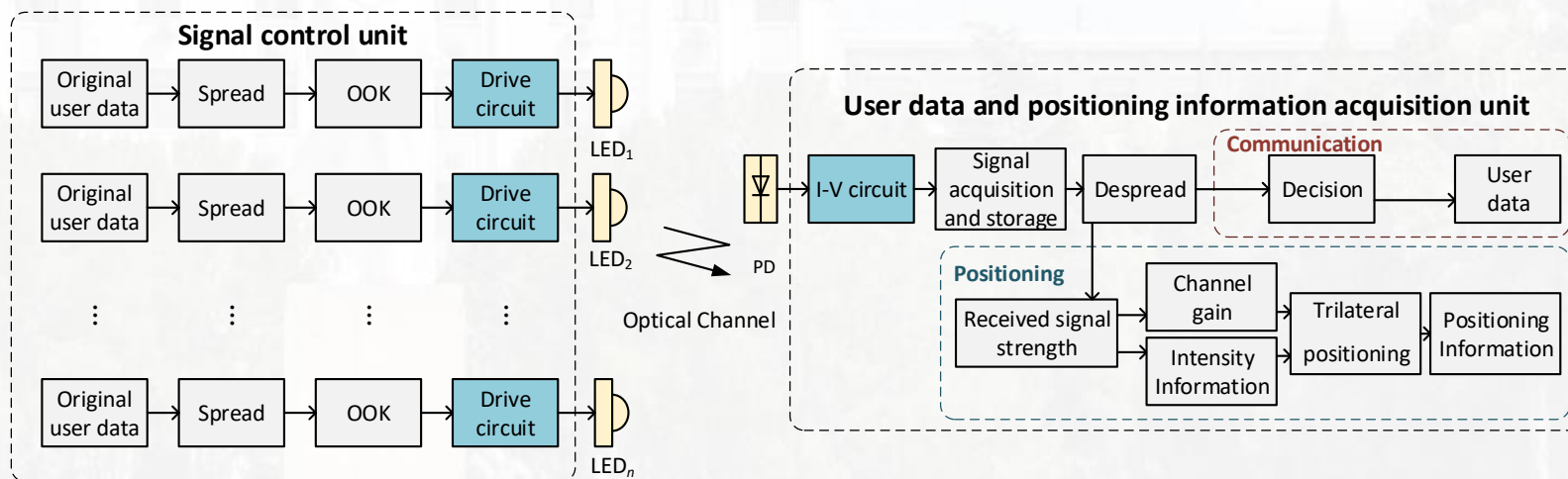
系统模型



基于CDMA的VLCP一体化系统



基于Unipolar code set的CDMA-VLCP系统

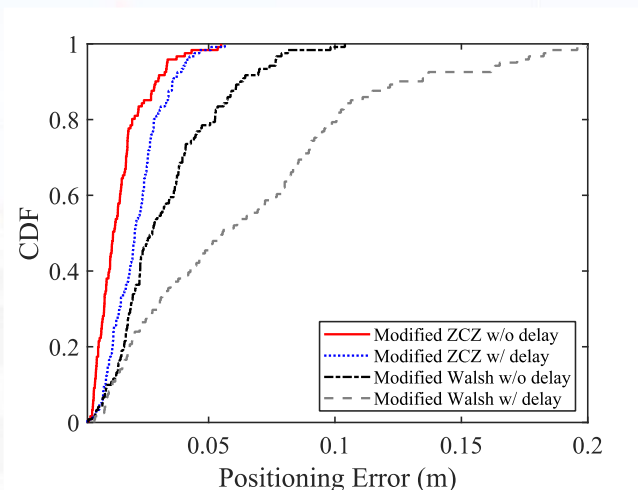
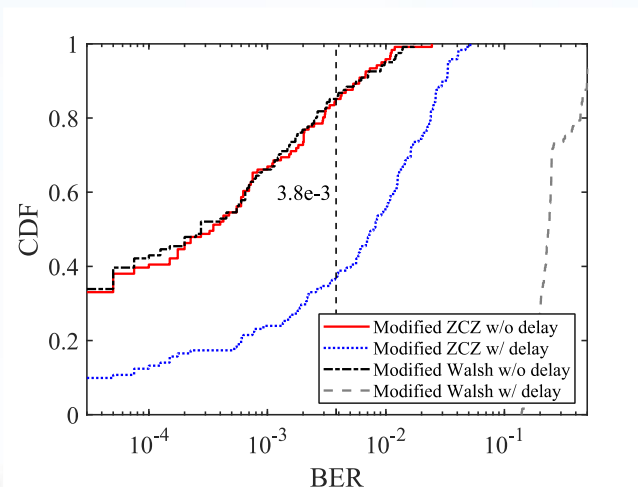


基于Modified code set的CDMA-VLCP系统

基于单PD接收模型的通信位置感知一体化

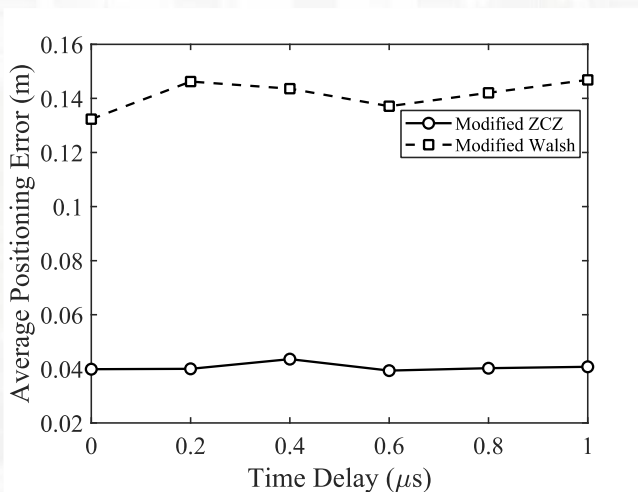
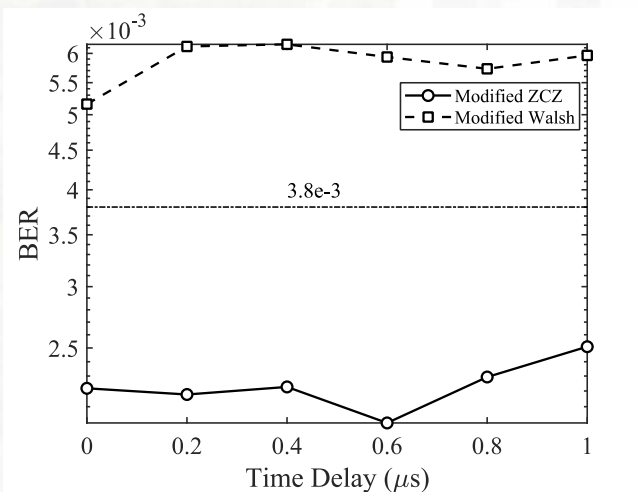
➤ 仿真结果

同步



➤ 良好的通信性能是保障位置感知精度的关键

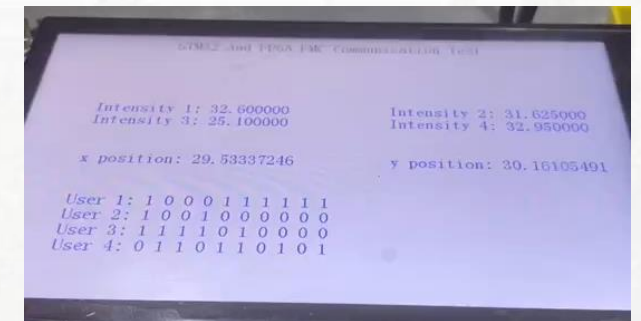
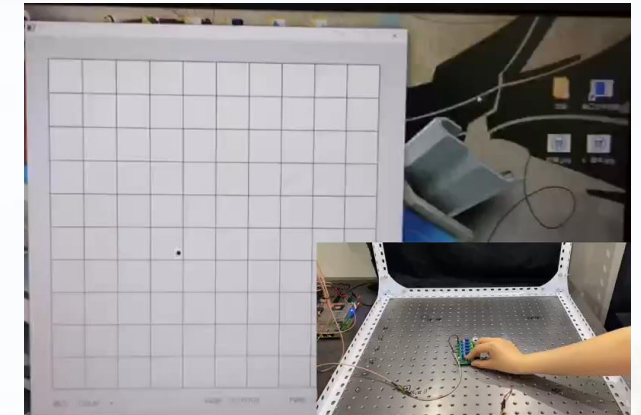
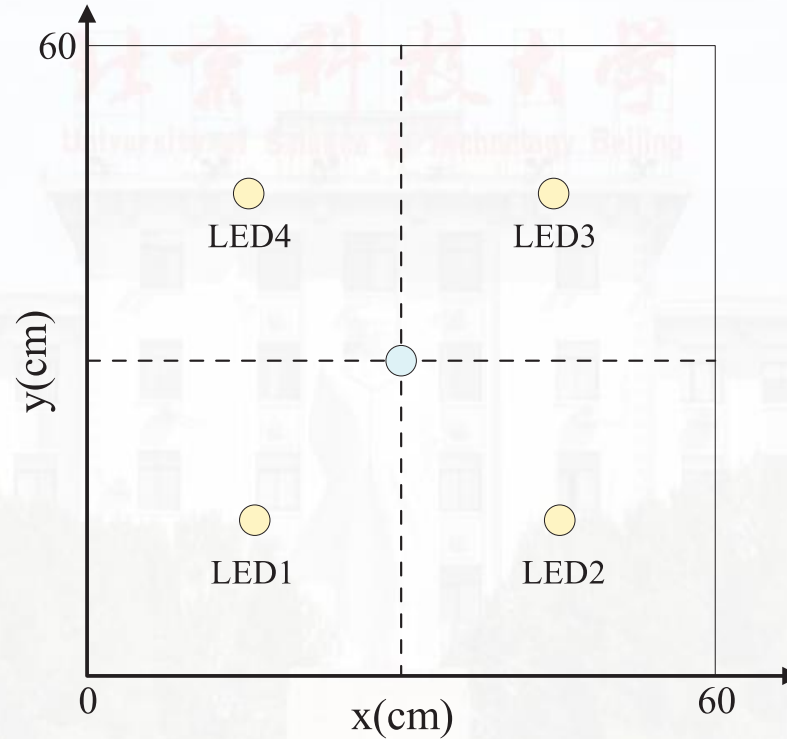
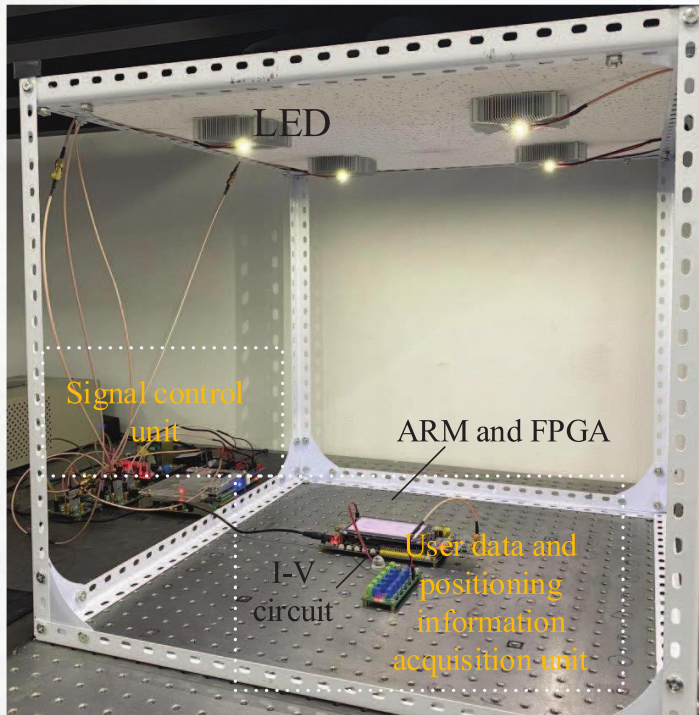
准同步



➤ 所构造的码集能够有效适应准同步条件下工作

基于单PD接收模型的通信位置感知一体化

➤ 实验系统

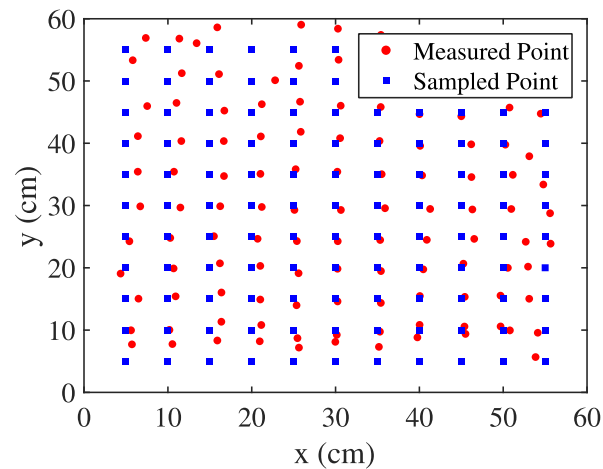
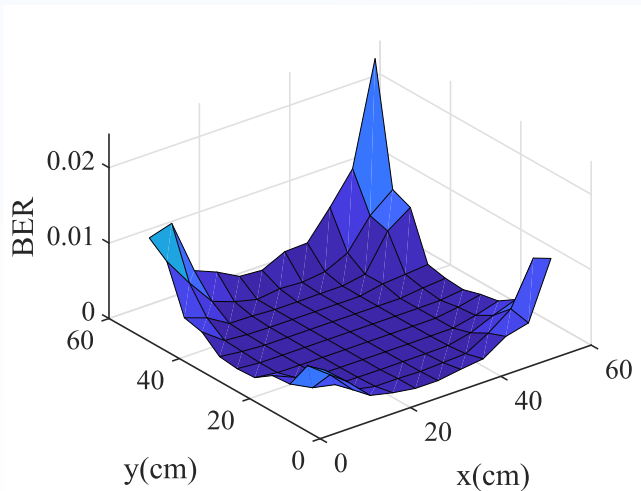


基于CDMA的VLCP一体化实验系统及结果展示

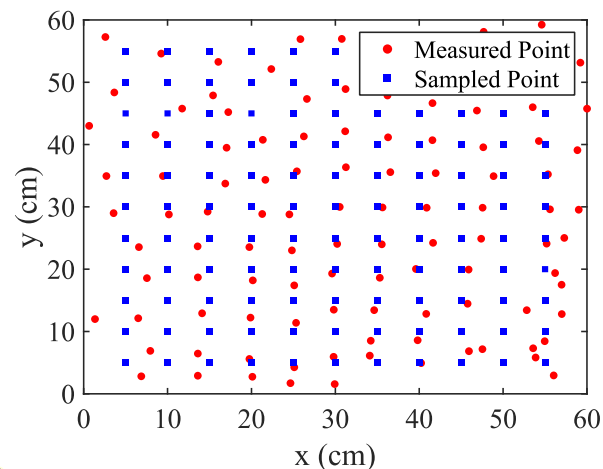
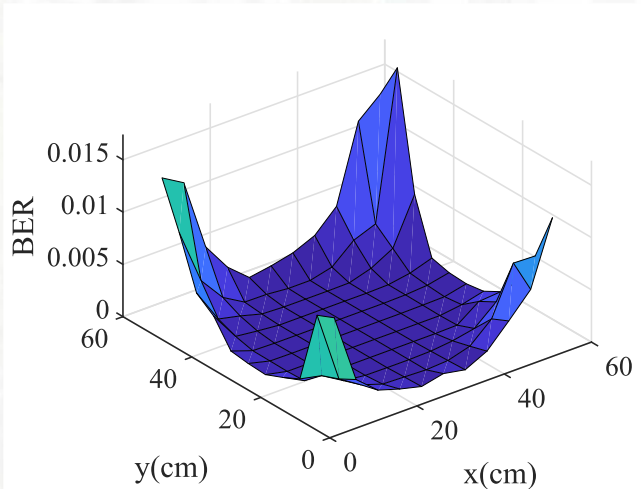
基于单PD接收模型的通信位置感知一体化

实验结果

Modified ZCZ



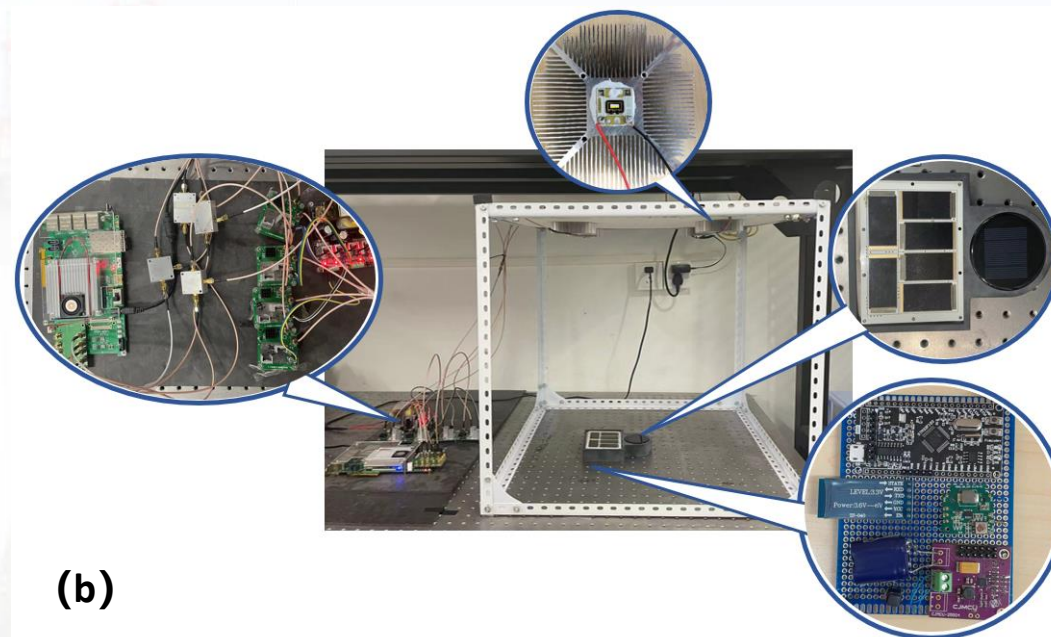
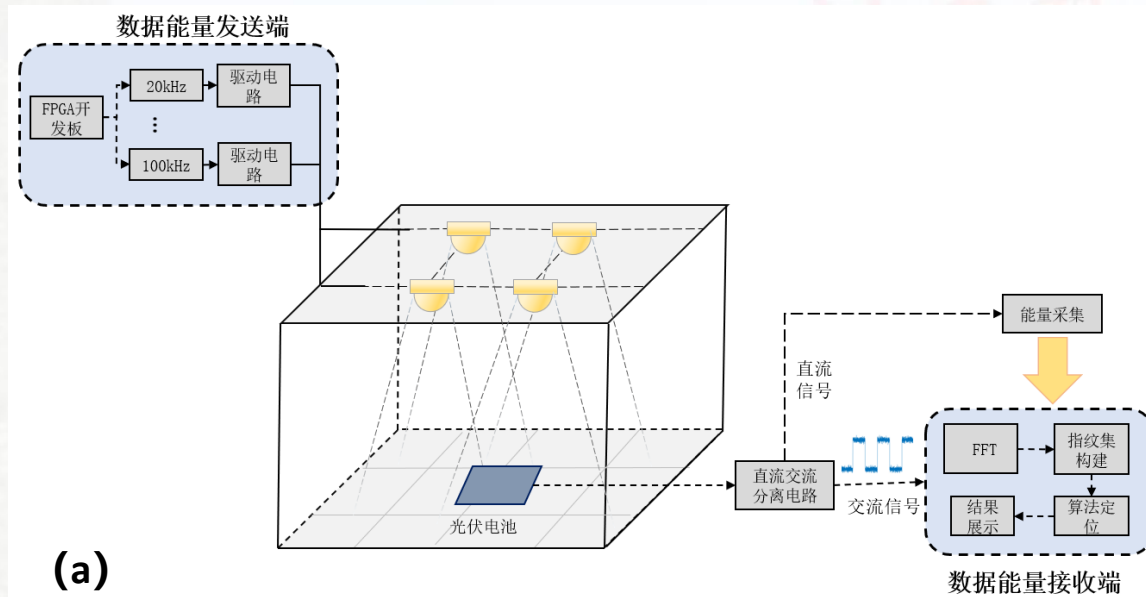
Modified Walsh



对于四用户实时系统，取得了 1.8×10^{-3} 的误码率，平均定位误差低至1.5cm

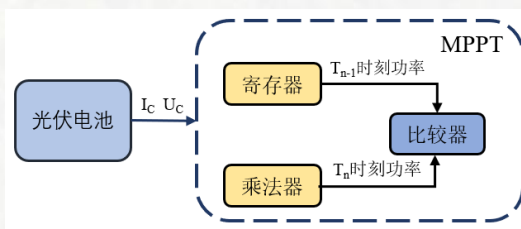
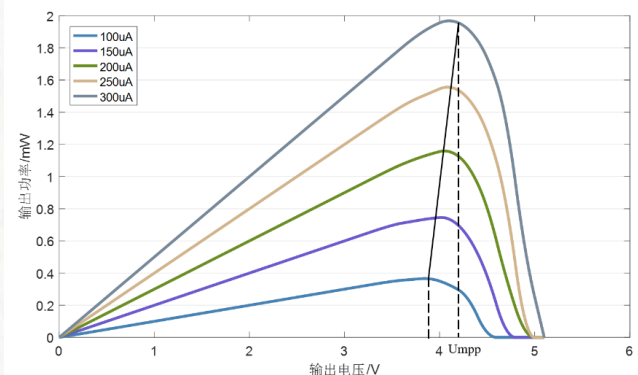
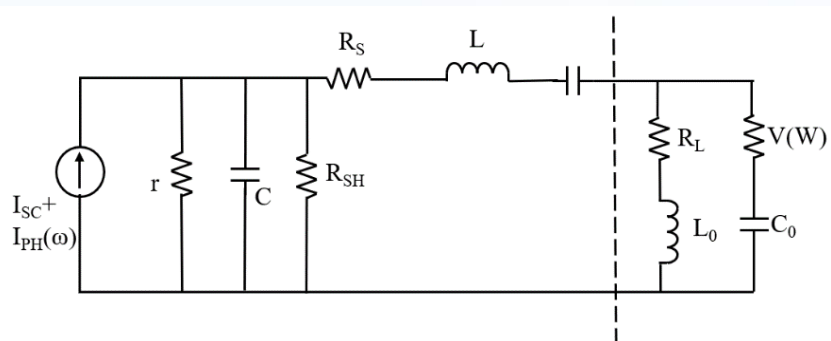
- Chen D, et al. Integrated visible light communication and positioning CDMA system employing modified ZCZ and Walsh code[J]. Optics Express, 2022, 30(22): 40455-40469.
- Chen D, et al. Performance Evaluation of ZCC and OZCZ Code Set in an Integrated VLCP-CDMA System[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2022, 34(16): 846-849.

➤ 系统模型

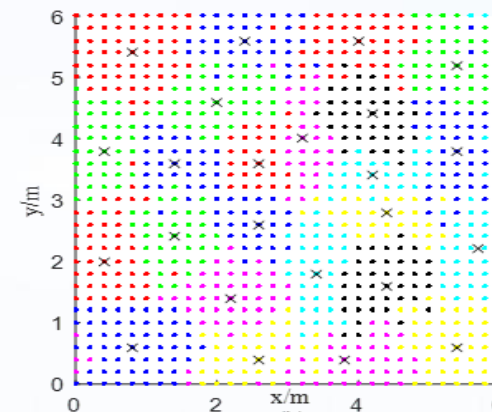
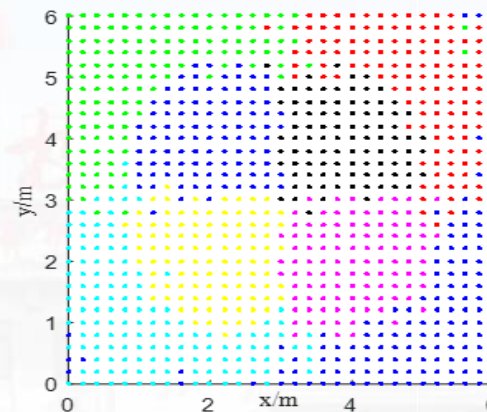


基于硅光电池的可见光位置感知和供能一体化 (a) 系统模型 (b) 实验系统

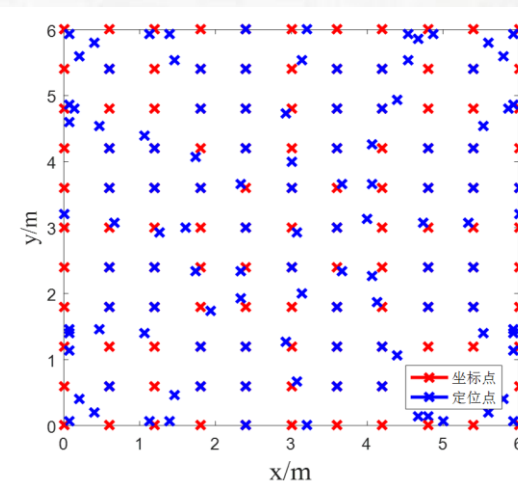
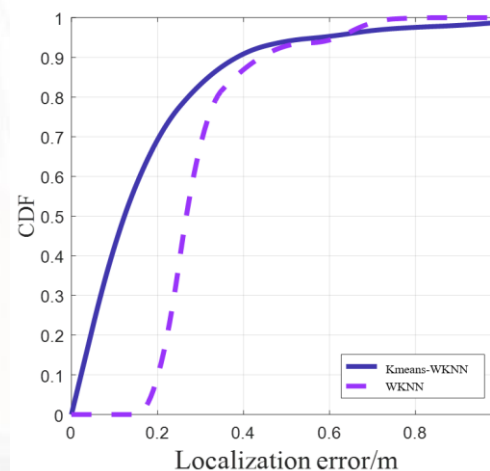
➤ MPPT算法



➤ Kmeans-WKNN

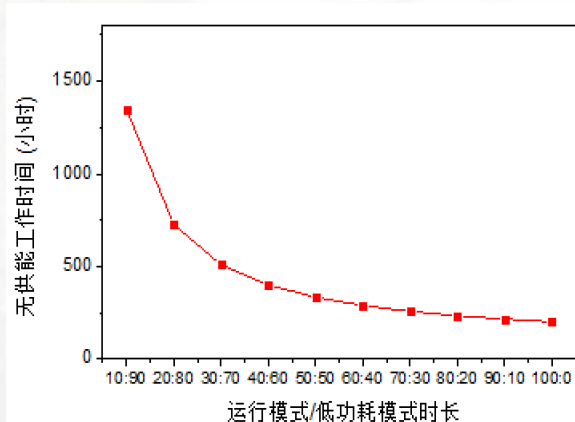
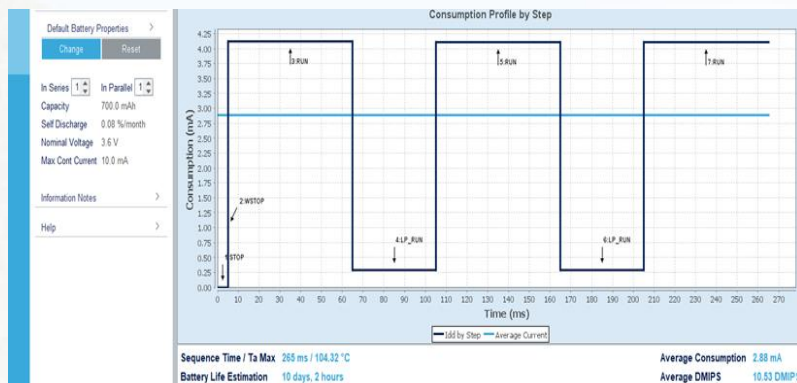


➤ 仿真结果

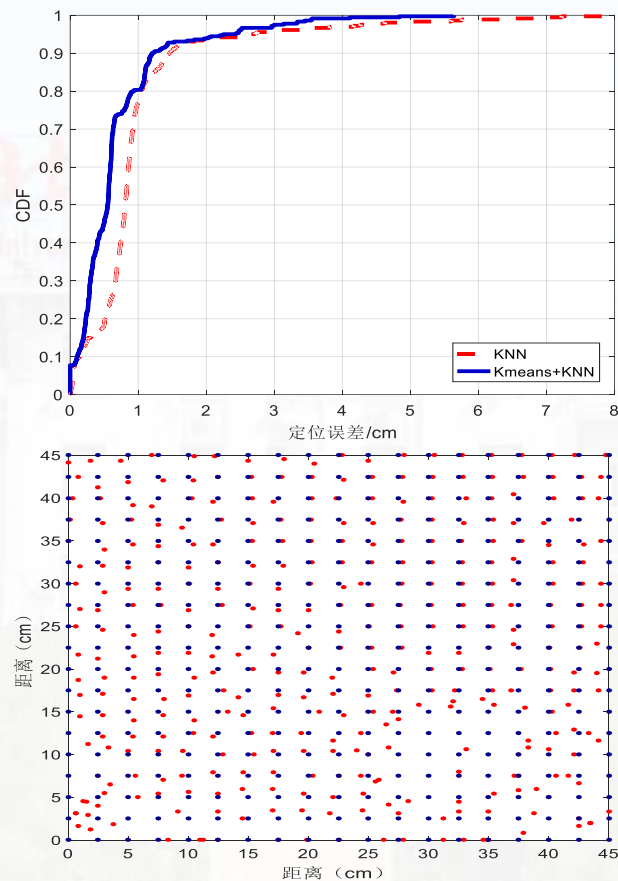


位置感知能量收集一体化

实验结果



供能性能：实现能量自
持续数据传输和处理

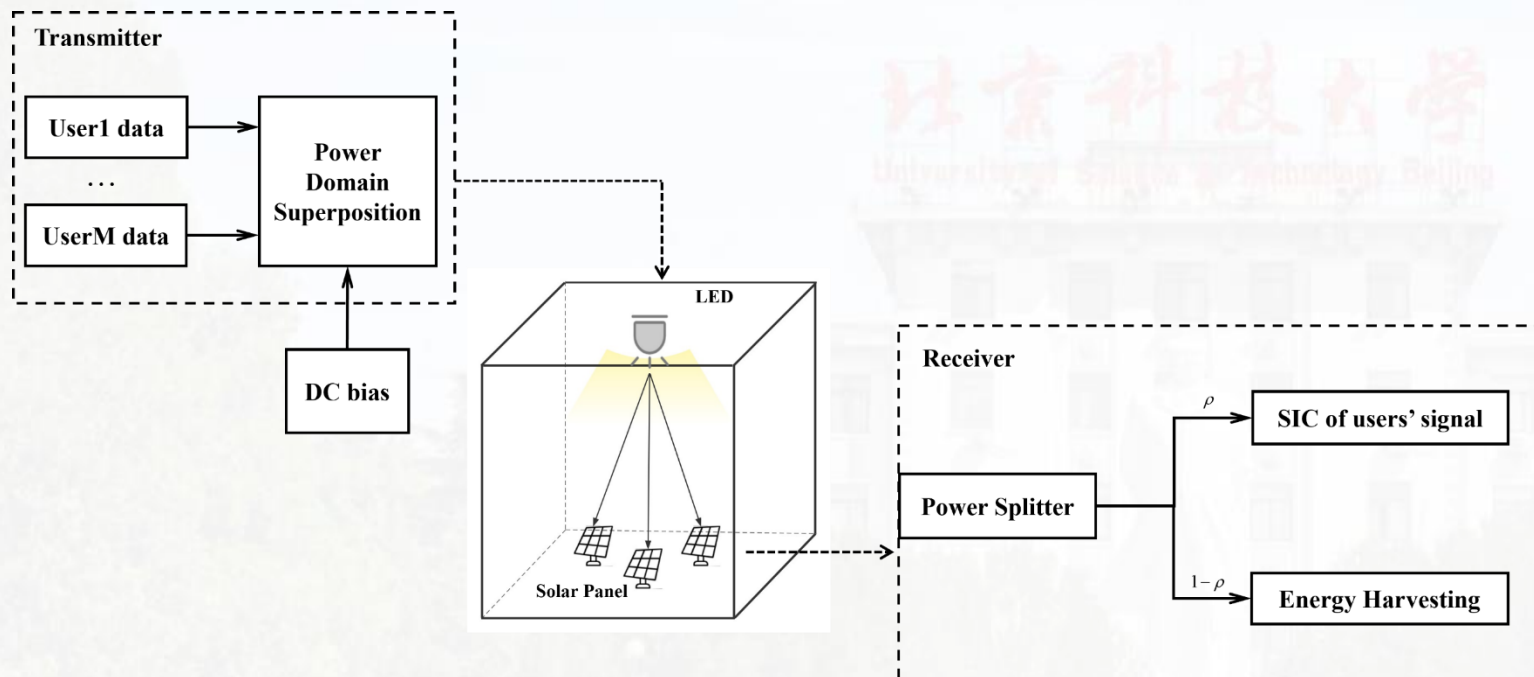


位置感知性能：毫米级



实验展示

➤ 系统模型

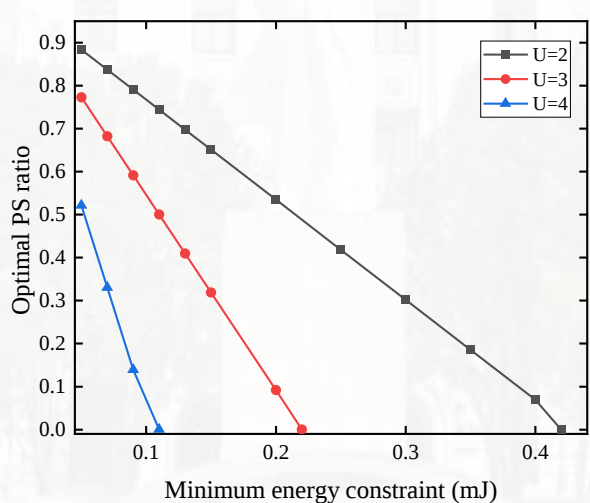
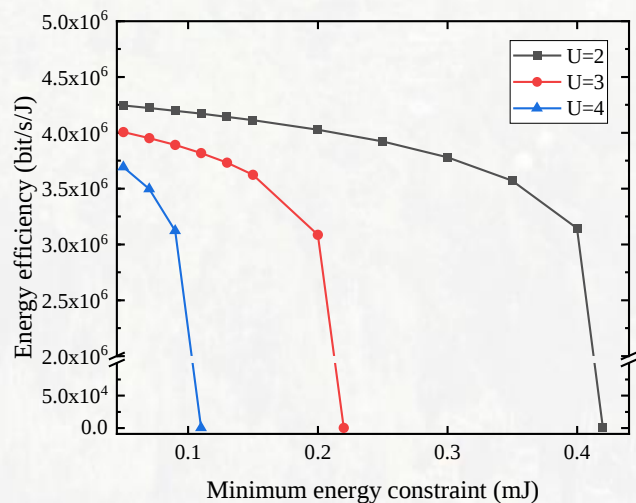
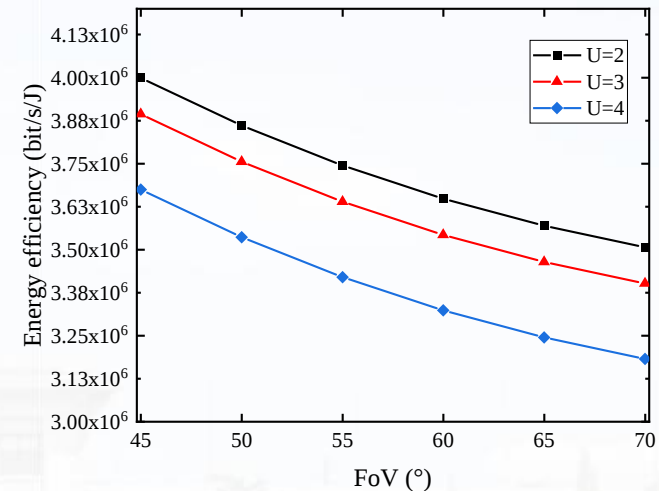
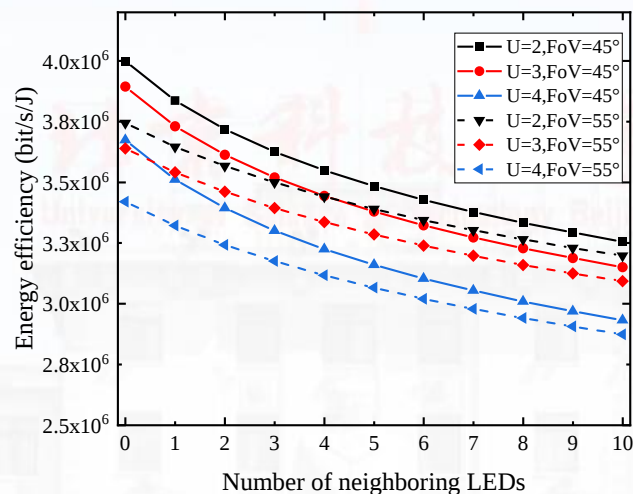
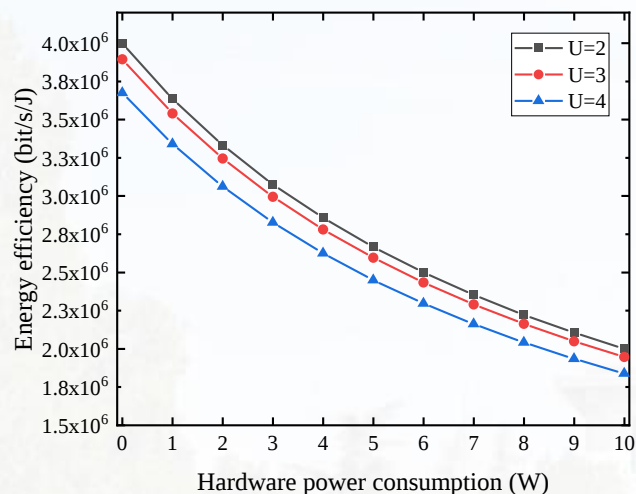


基于NOMA-SLIPT的通信能量收集一体化系统

$$\begin{aligned} \max_{\rho, P_k} \quad & \frac{\sum_{k=1}^M B_s \log_2 \left(1 + \frac{e}{2\pi} \gamma_k \right)}{\sum_{k=1}^M P_k + P_C - \sum_{k=1}^M E_k}, \\ \text{s.t.} \quad & B_s \log_2 \left(1 + \frac{e}{2\pi} \gamma_k \right) \geq R_{\min}, \\ & (1 - \rho) \eta I_{DC,k} V_{OC,k} \geq E_{\min}, \\ & 0 \leq \rho \leq 1. \end{aligned}$$

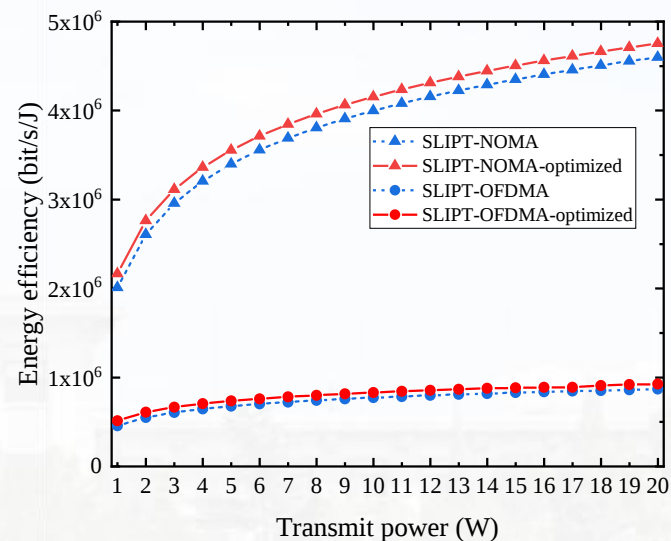
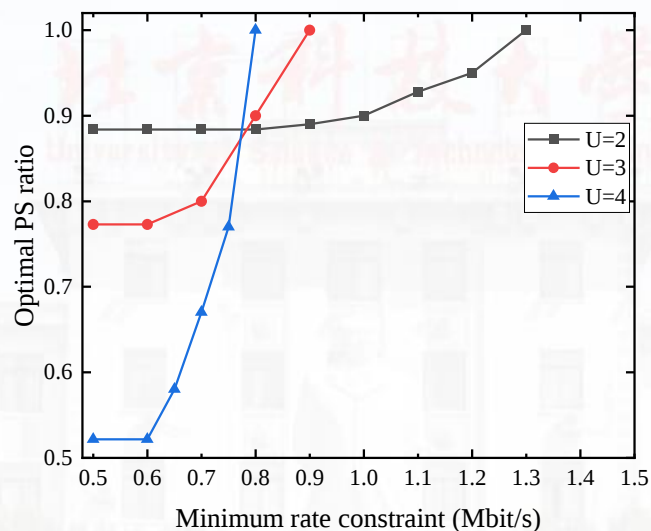
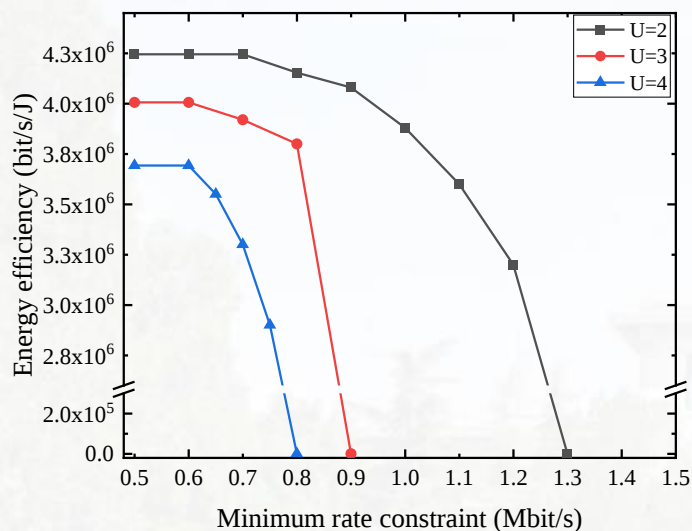
参数优化问题建模

仿真结果



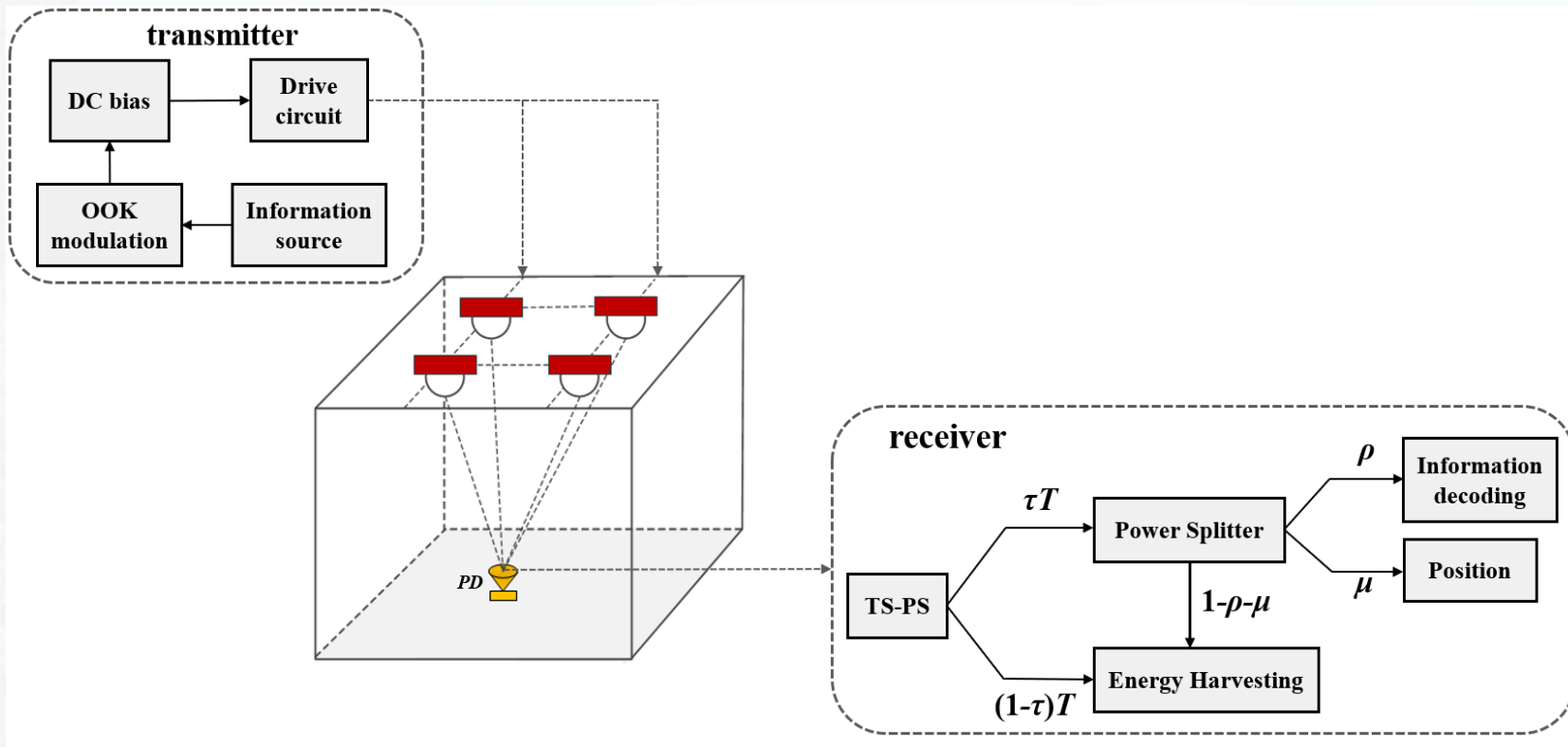
- 硬件损耗、相邻LED数目和 FoV 对系统性能有影响
- 用户最小收集能量要求的提高，导致能量效率降低

仿真结果



- 用户最小传输速率的要求提高，导致能量效率降低
- NOMA-SLIPT系统能量效率优于传统OFDMA

➤ 系统模型



基于可见光传输的通感能一体化系统

$$\max_{\rho, \mu, \tau} E_{TS-PS} = \sum_{i=1}^4 (E_{1i} + E_{2i})$$

$$s.t. \quad C_1: RSE_{CRLB} \leq RSE_{\max}$$

$$C_2: Rb_{TS-PS} \geq Rb_{th}$$

$$C_3: 0 \leq \rho \leq 1$$

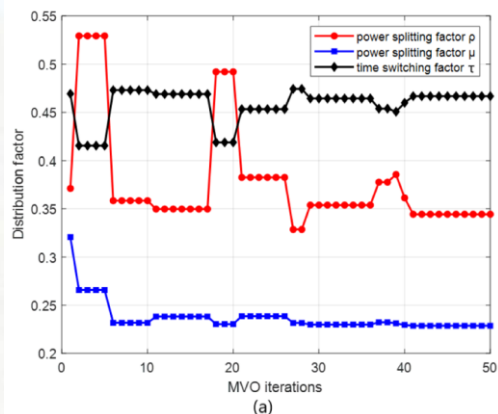
$$C_4: 0 \leq \mu \leq 1$$

$$C_5: 0 \leq 1 - \rho - \mu \leq 1$$

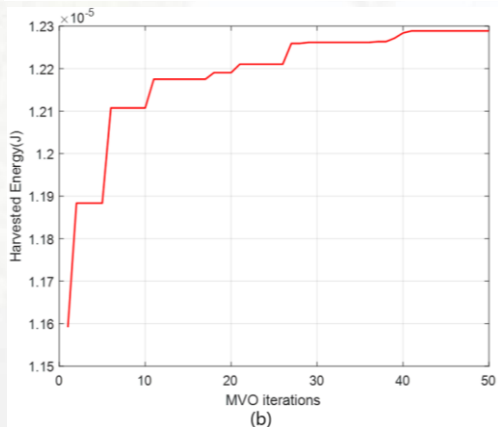
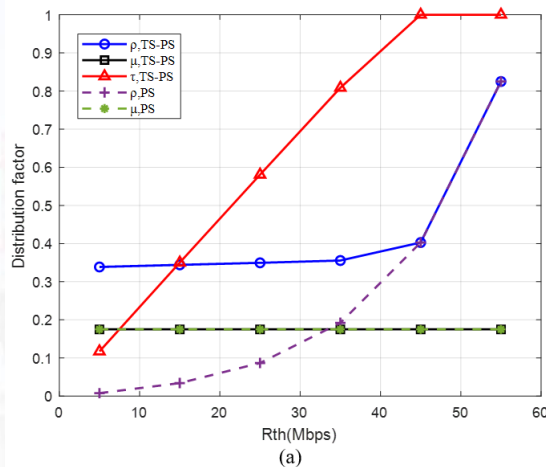
$$C_6: 0 \leq \tau \leq 1$$

资源分配问题建模

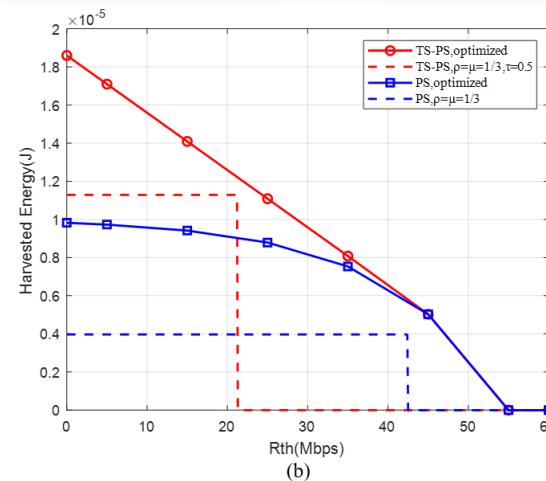
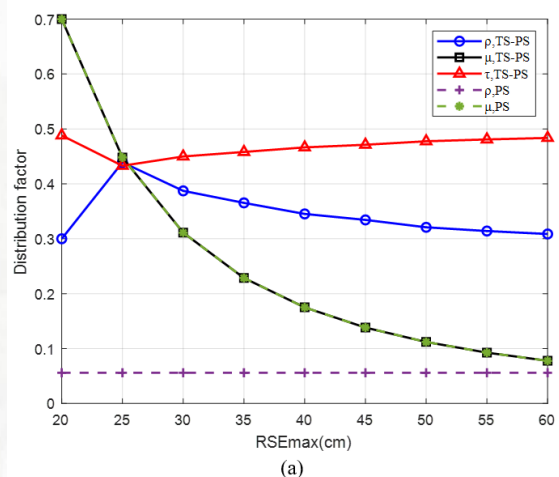
➤ 优化结果



通信
速率
约束

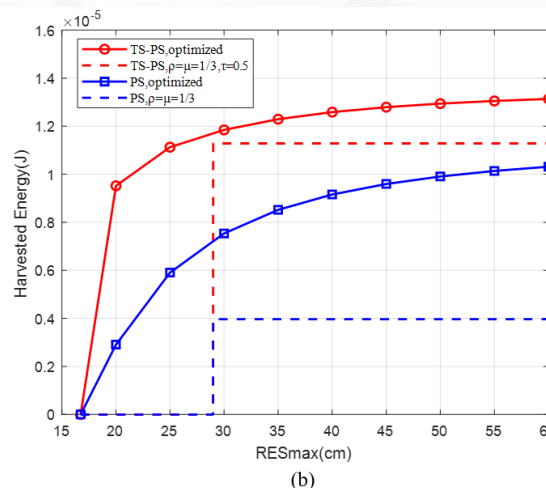


感知
精度
约束



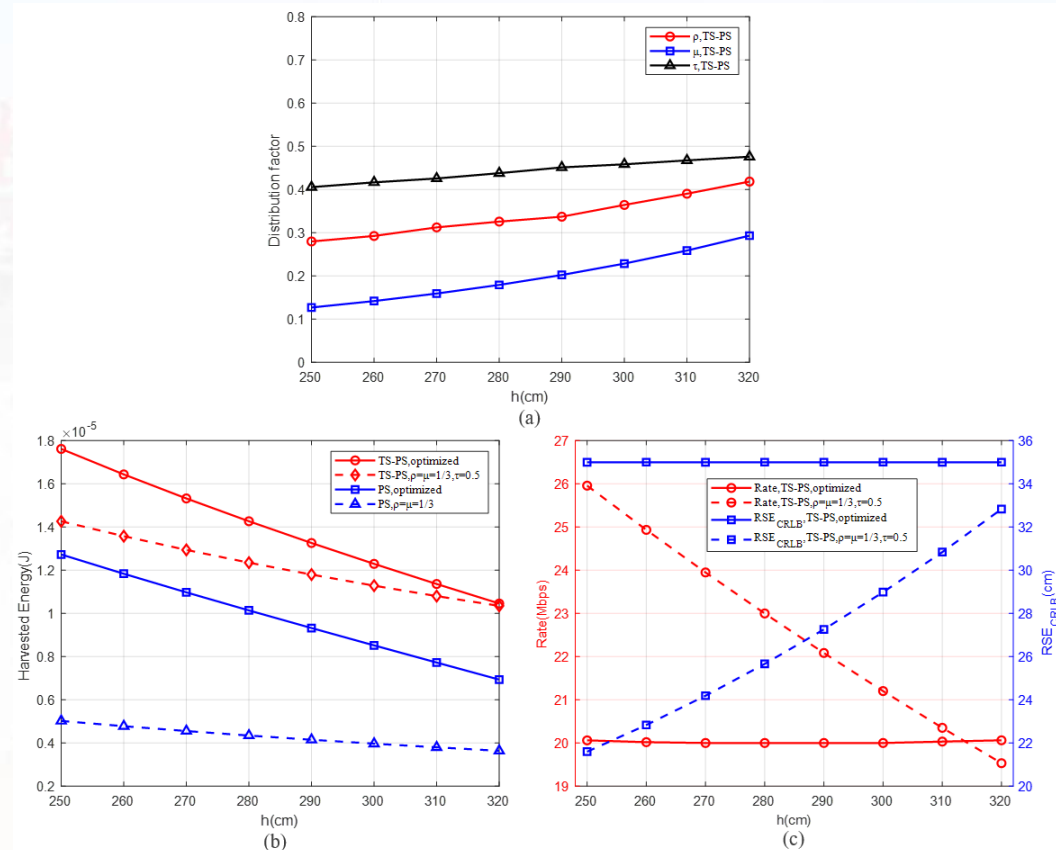
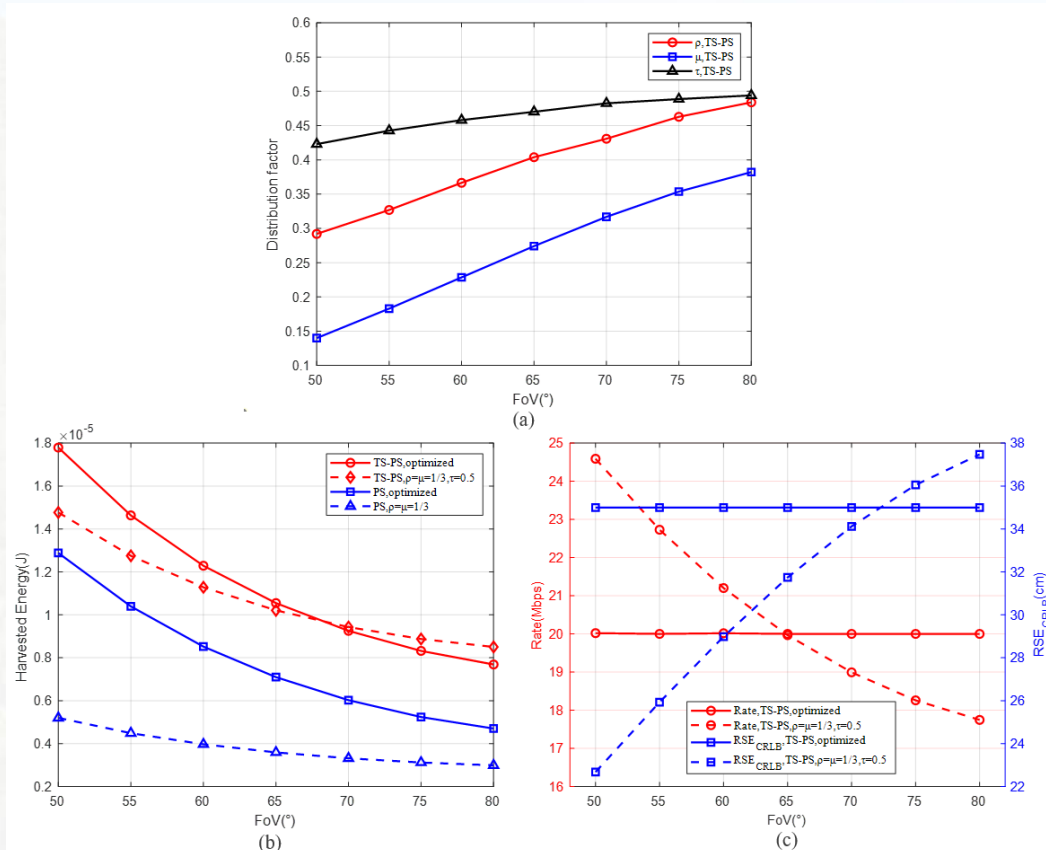
➤ 随着速率的增加，
分配给数据传输
时隙和通信功率
增大且能量收集
减少

➤ 采用MVO方法能够在50次迭代
以内实现时隙和功率资源优化



➤ 随着定位误差增
大分配给定位的
功率减小且能量
收集增加

➤ 优化结果



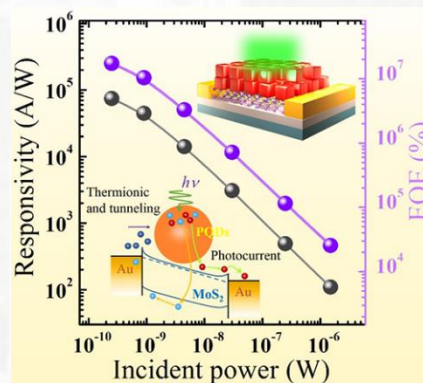
➤ 随着视场角增大、高度的增加，分配给数据传输时隙和功率增加且通信定位结果稳定

- ❖ **通信和位置感知**一体化，通信和定位数据分离技术，考虑移动、准同步情况影响；
- ❖ **位置感知和能量收集**的一体化，保证定位性能的同时降低算法复杂度；
- ❖ **通信和能量收集**的一体化，实现能量效率最大化；
- ❖ 基于可见光传输的**通感能**一体化，考虑应用于通信、定位和供能的资源分配，在满足通信、定位要求的同时最大化能量收集，目标可调整。

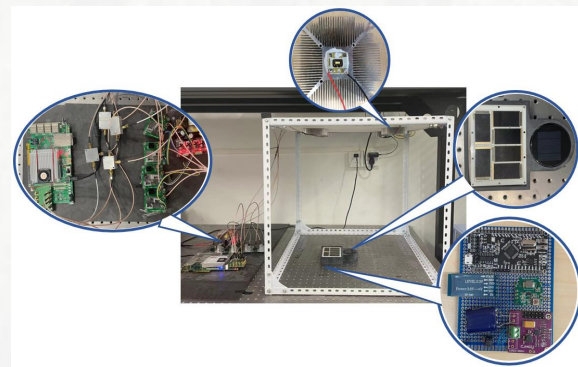
➤ 感知维度提升，综合评价指标构建



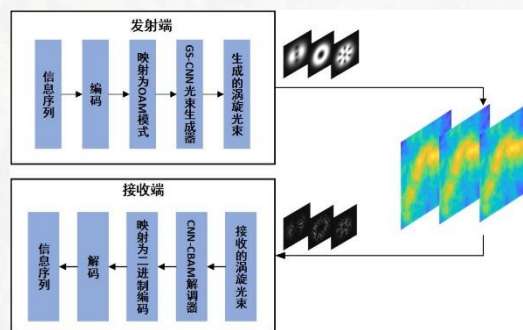
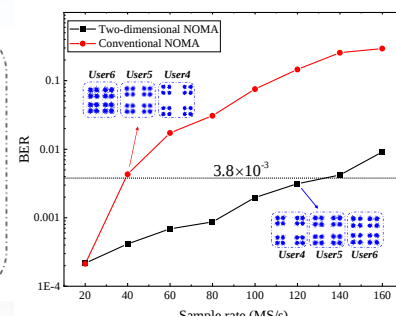
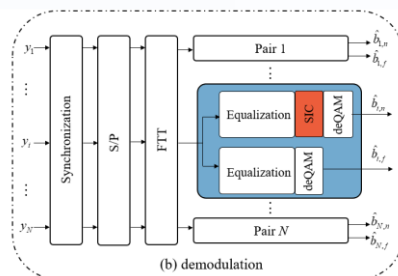
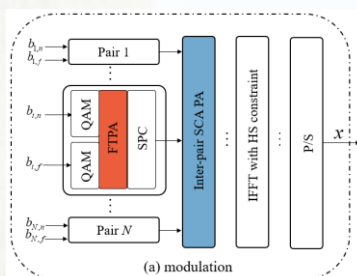
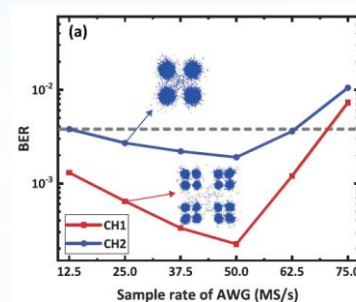
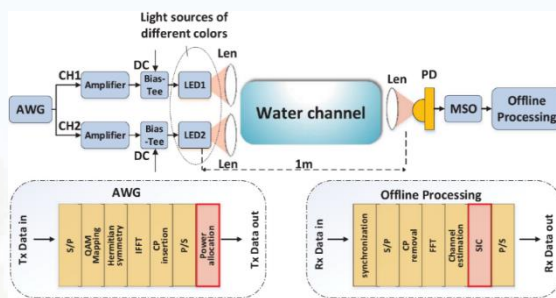
➤ 新型器件和材料突破



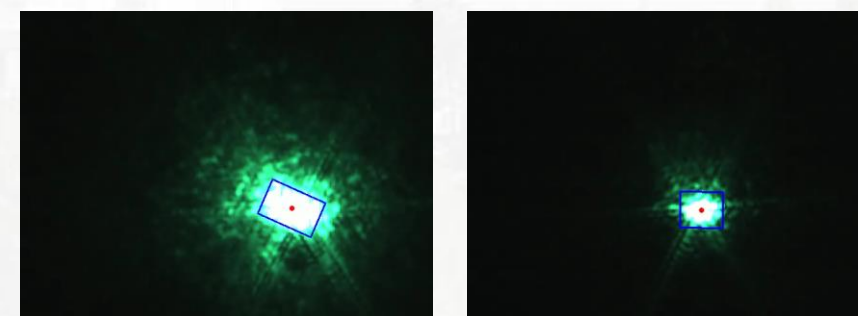
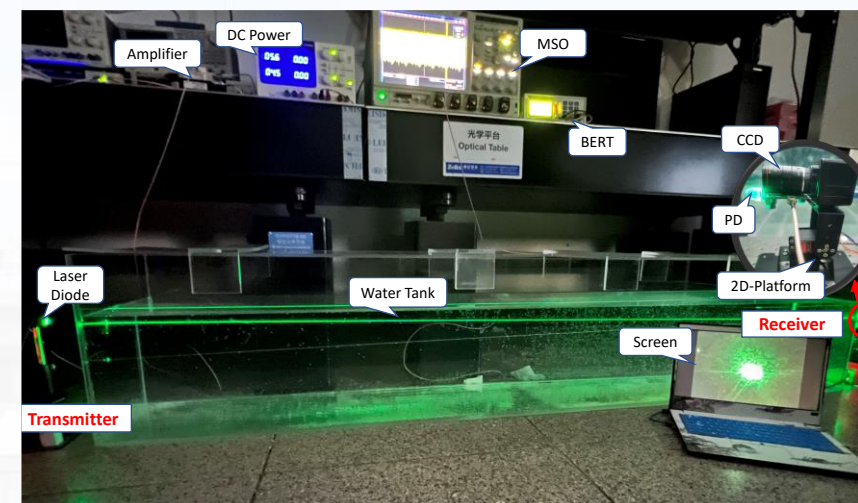
➤ 可见光通感能系统实用化



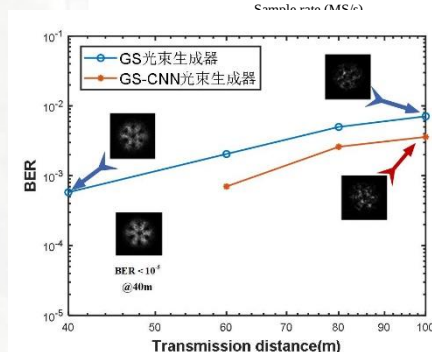
水下光无线通信相关成果



水下光无线通信算法



光学跟瞄辅助的水下光无线通信系统



谢 谢！
请各位专家批评指正！

