

2020年学术推进计划结题答辩

6G移动通信基础理论与关键技术研究

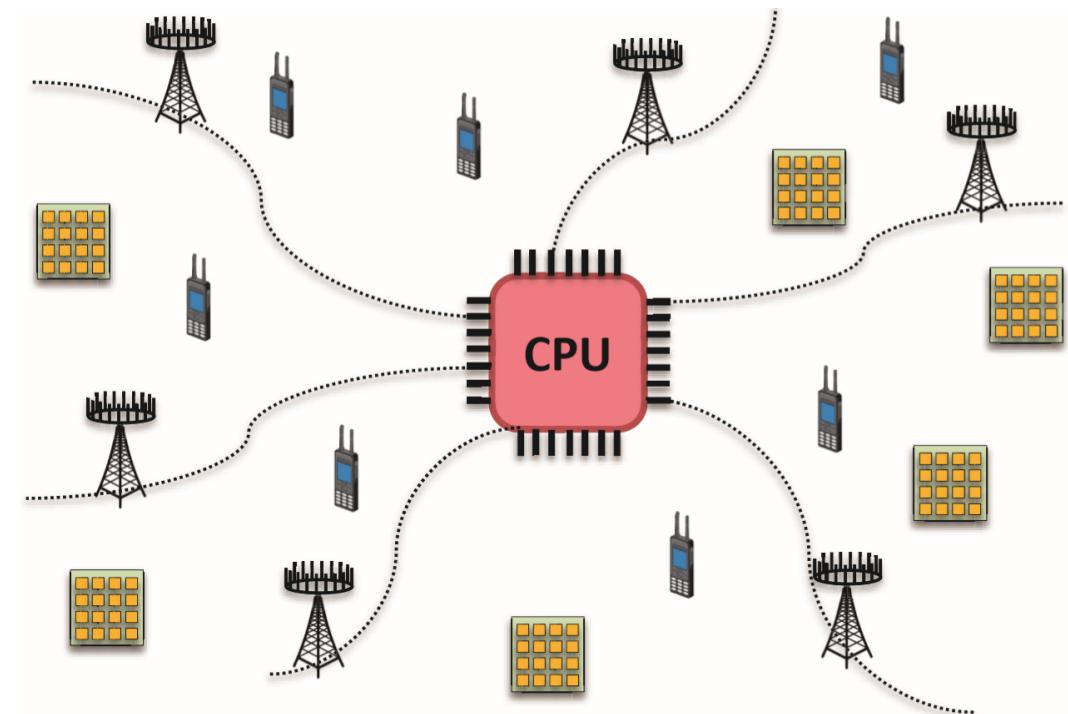
清华大学电子工程系

刘坤瓒 于子涵 张子健

2020年12月

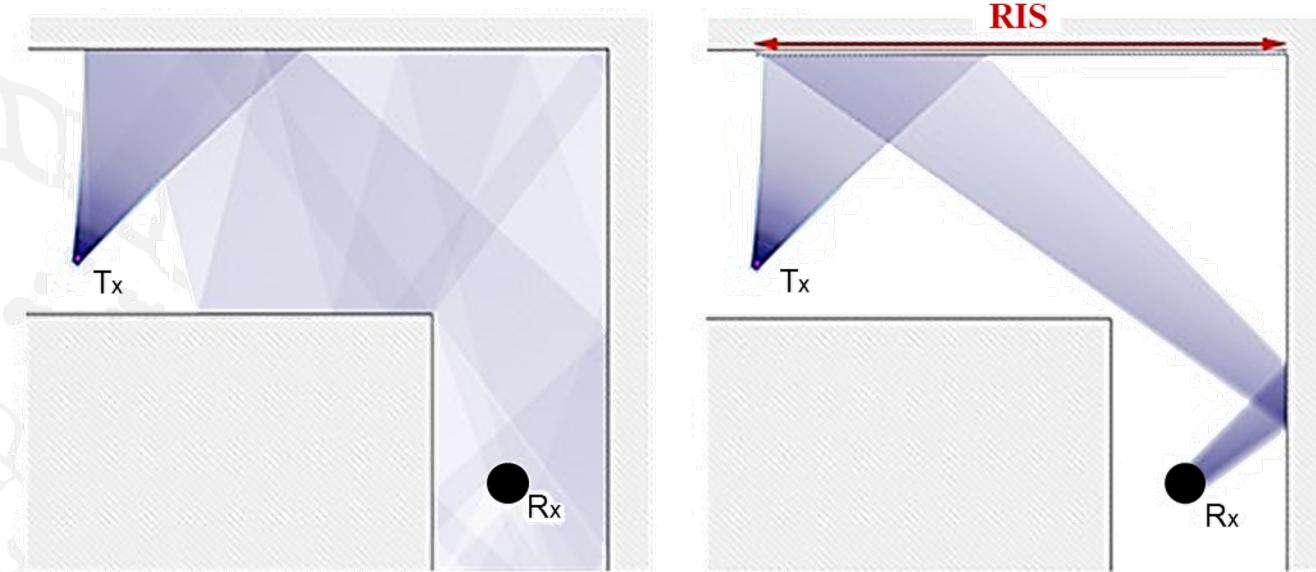
总览

本项目利用6G通信关键备选技术智
能超表面进行网络设计与优化，兼
具理论分析与实验检测。



智能超表面

- 部署可控电磁材料组成的表面来调控电磁波反射相位
- 主动重构通信信道环境



传统无线通信：
被动适应信道环境

智能超表面辅助的无线通信：
主动改变信道环境

从适应信道到改变信道

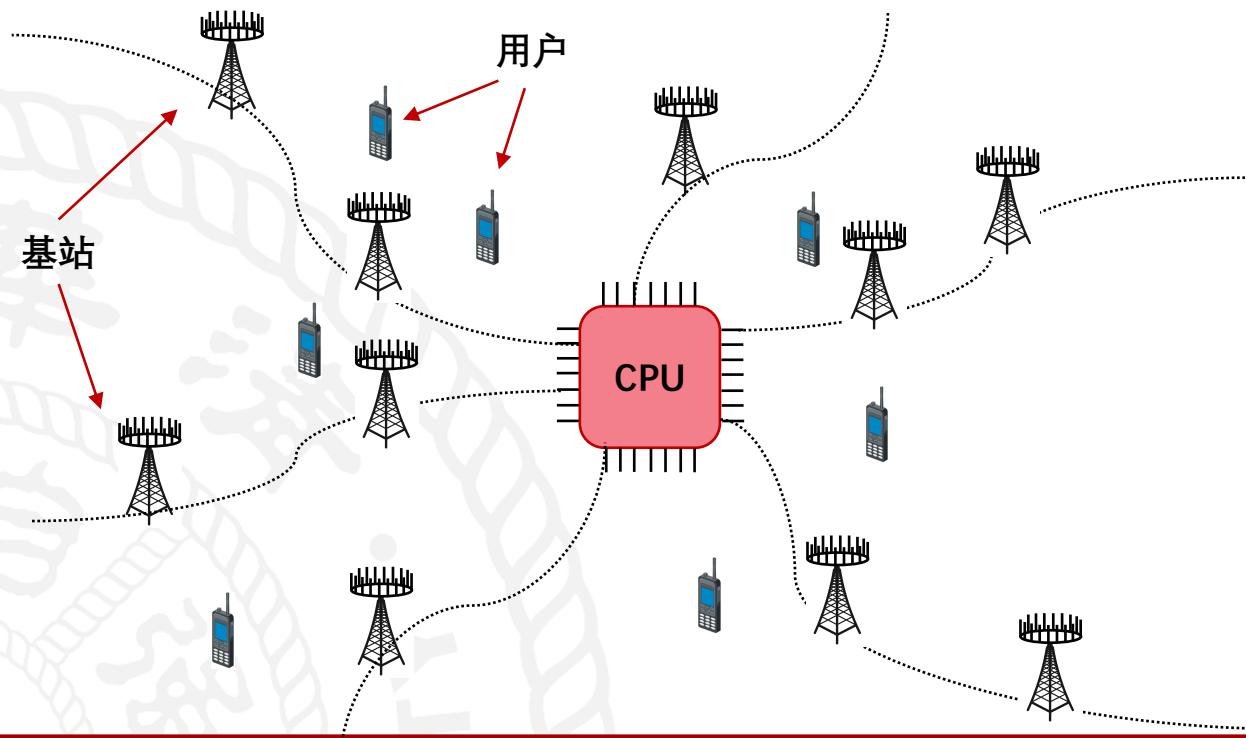
智能超表面的优势

- 主动重构信道环境
- 提高系统传输速率和覆盖范围
- 体积轻薄、低成本、低功耗

智能超表面是6G移动通信备选技术之一！

[Zhao'19] J. Zhao and Y. Liu, "A Survey of Intelligent Reflecting Surfaces (IRSs): Towards 6G Wireless Communication Networks," *arXiv preprint arXiv:1905.00152*, Jun. 2019.

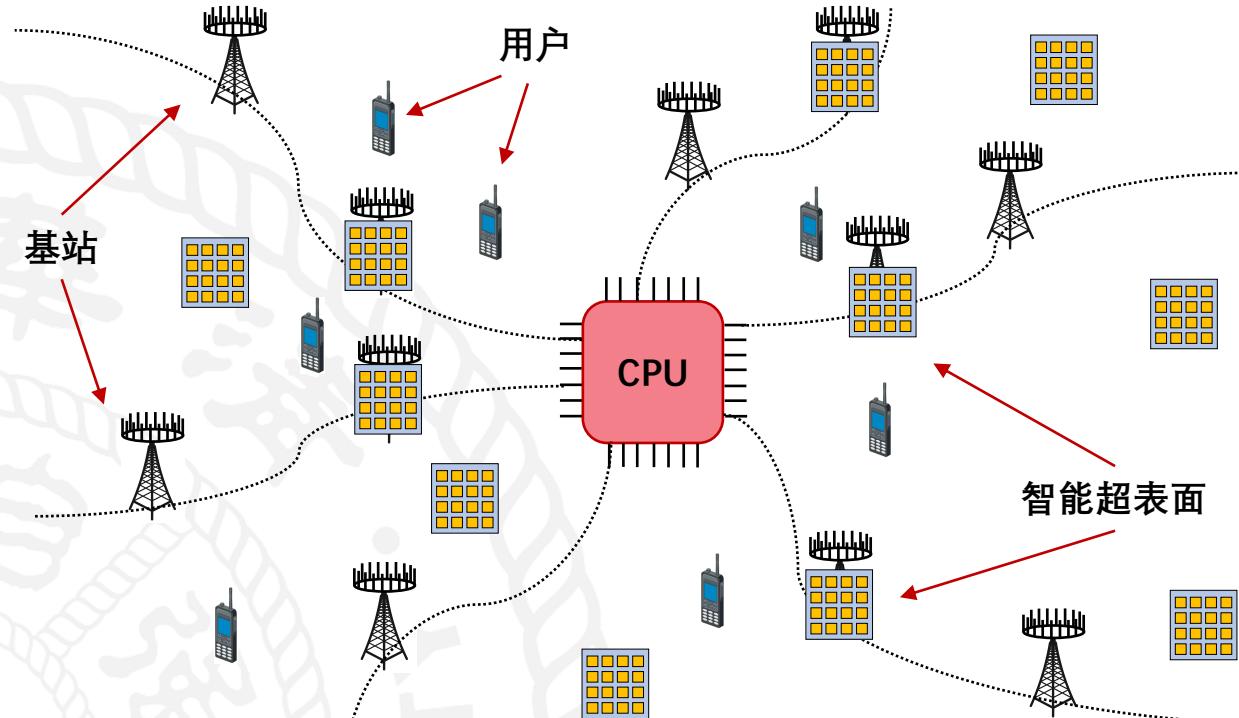
传统网络



如何在功耗和成本受限条件下显著提升网络能力？

[Nayebi'15] E. Nayebi, A. Ashikhmin, T. L. Marzetta, and H. Yang, “Cell-free massive MIMO systems,” in *Proc. 2015 49th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, Nov. 2015, pp. 695–699.

智能超表面辅助的网络



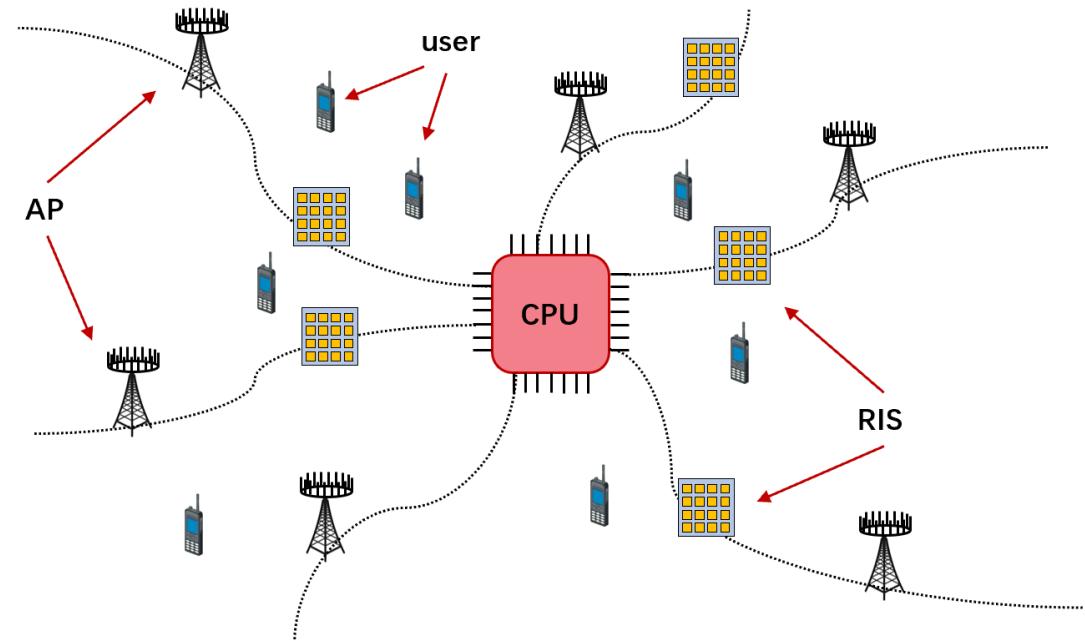
智能超表面辅助的无蜂窝网络：
低功耗低成本显著提升网络能力

[Zhang'19] Z. Zhang and L. Dai, “A Joint Precoding Framework for Wideband Reconfigurable Intelligent Surface-Aided Cell-Free Network,” arXiv preprint arXiv:2002.03744, 2019.

网络研究：研究对象

系统模型

- 多基站（多天线）
- 多用户（多天线）
- 多智能超表面
- 多载波



[Zhang'20] Z.Zhang and L. Dai, "Capacity improvement in wideband reconfigurable intelligent surface-aided cell-free network," *International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)*, 2020.

网络研究：研究问题

前人工作

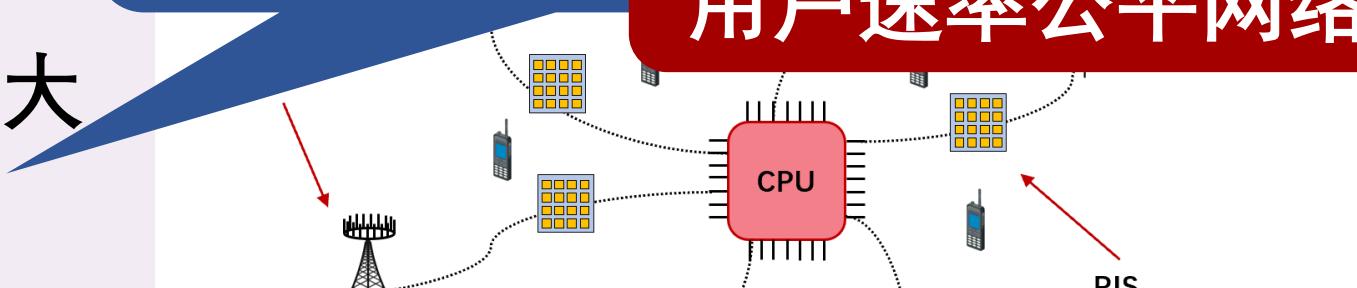
- 仅有1项工作研究了**最大化用户速率之和**问题

提问1：在用户速率之和最大的网络中，每个用户获得的速率是否是公平的？

用户速率公平网络

提问2：在用户速率之和最大的网络中，能量的利用率会不会太低？

用户能效公平网络



[Zhang'20] Z.Zhang and L. Dai, "Capacity improvement in wideband reconfigurable intelligent surface-aided cell-free network," *International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)*, 2020.

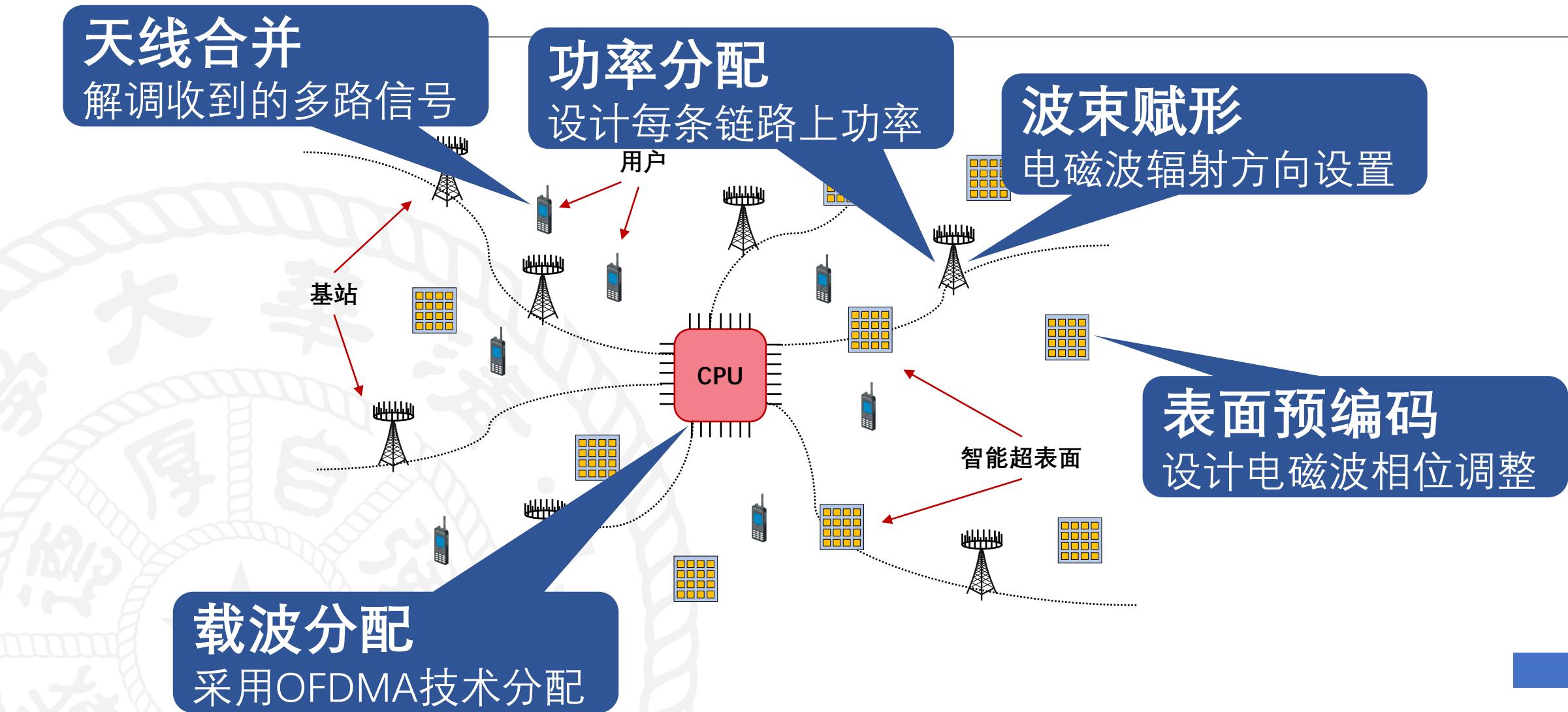
网络研究：研究问题

用户速率公平网络
最大化最差速率用户

Max-Min 问题

用户能效公平网络
最大化最差能效用户

网络研究：网络设计

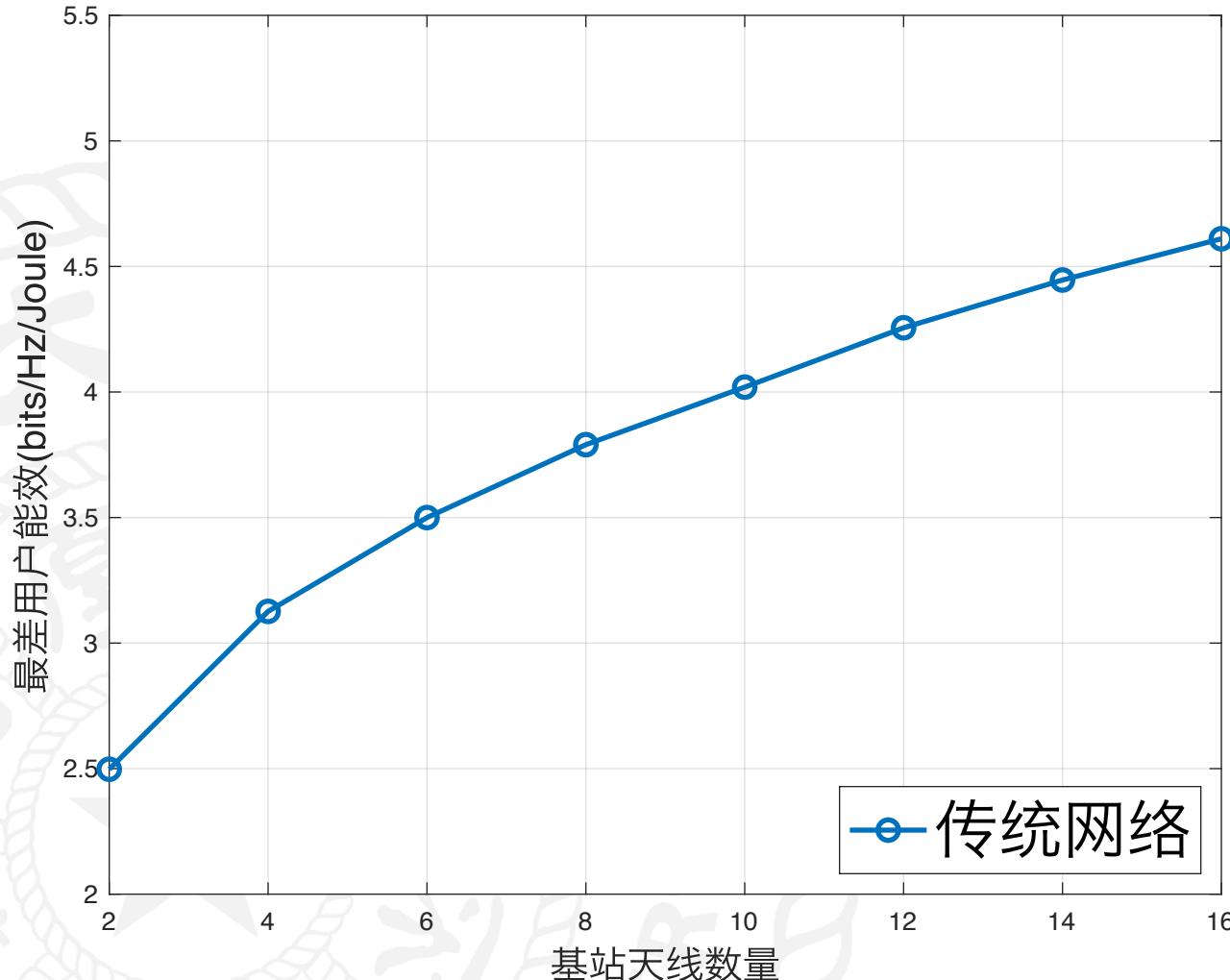


理论分析

$$\begin{aligned} & \max \min \eta_k (\rho, W, w, \theta) = \frac{R_k}{W_k} \\ \text{s.t. } & \text{C1: } R_k \geq R_k^{\text{req}}, \forall k \quad \text{表面预编码} \\ & \text{C2: } W_k \leq W_k^{\text{max}}, \forall k \\ & \text{C3: } \sum_{k=1}^K \rho_{k,p} \leq 1, \forall p \\ & \text{C4: } \rho_{k,p} \in \{0,1\}, \forall k, p \\ & \text{C5: } \theta_{q,n} \in \mathcal{F}, \forall q, n \end{aligned}$$

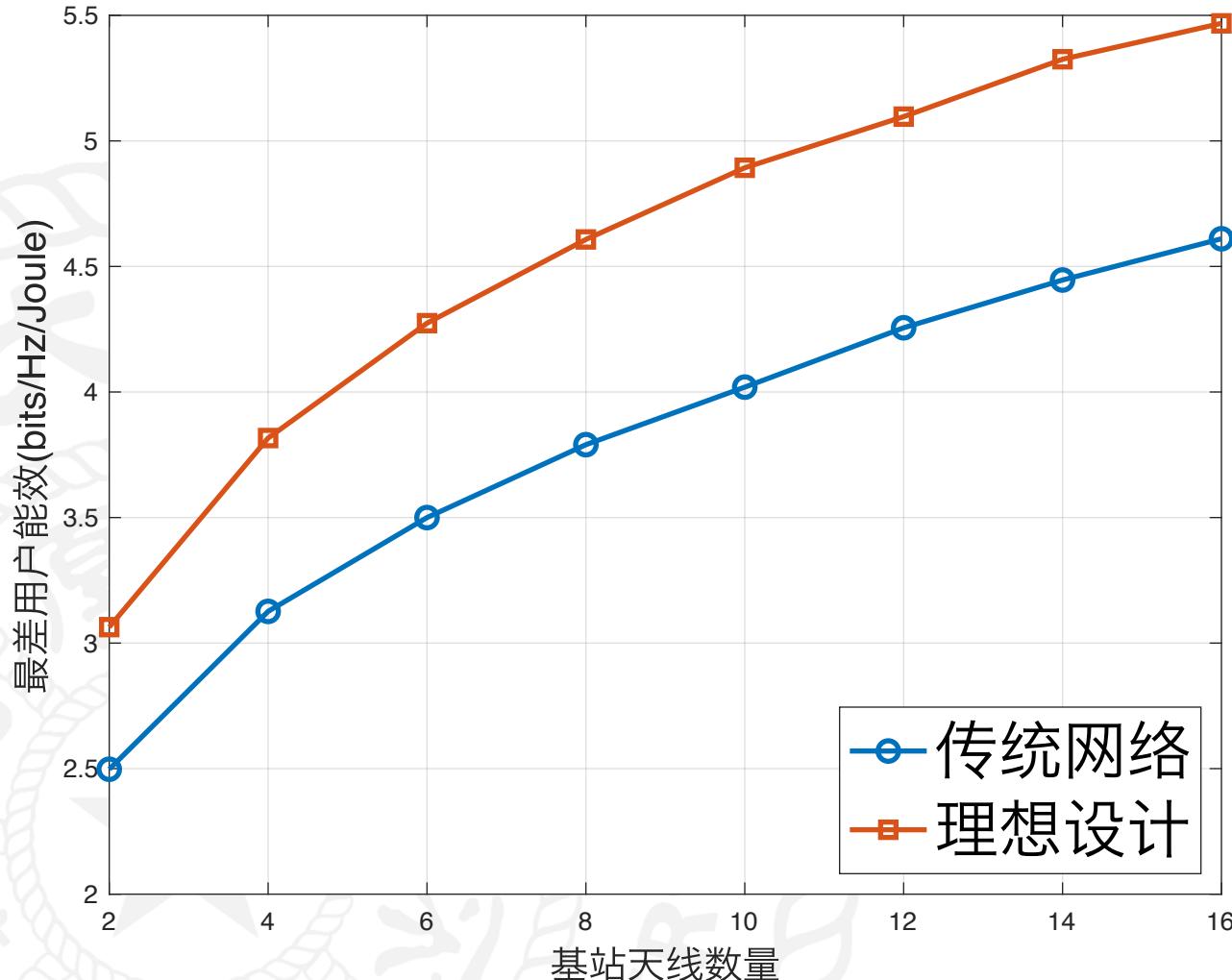
功率分配
载波分配
波束赋形
非凸目标
拉格朗日对偶
分式型规划
Dinkelbach算法
参量松弛
非连续参量
MM算法
非凸约束

仿真结果



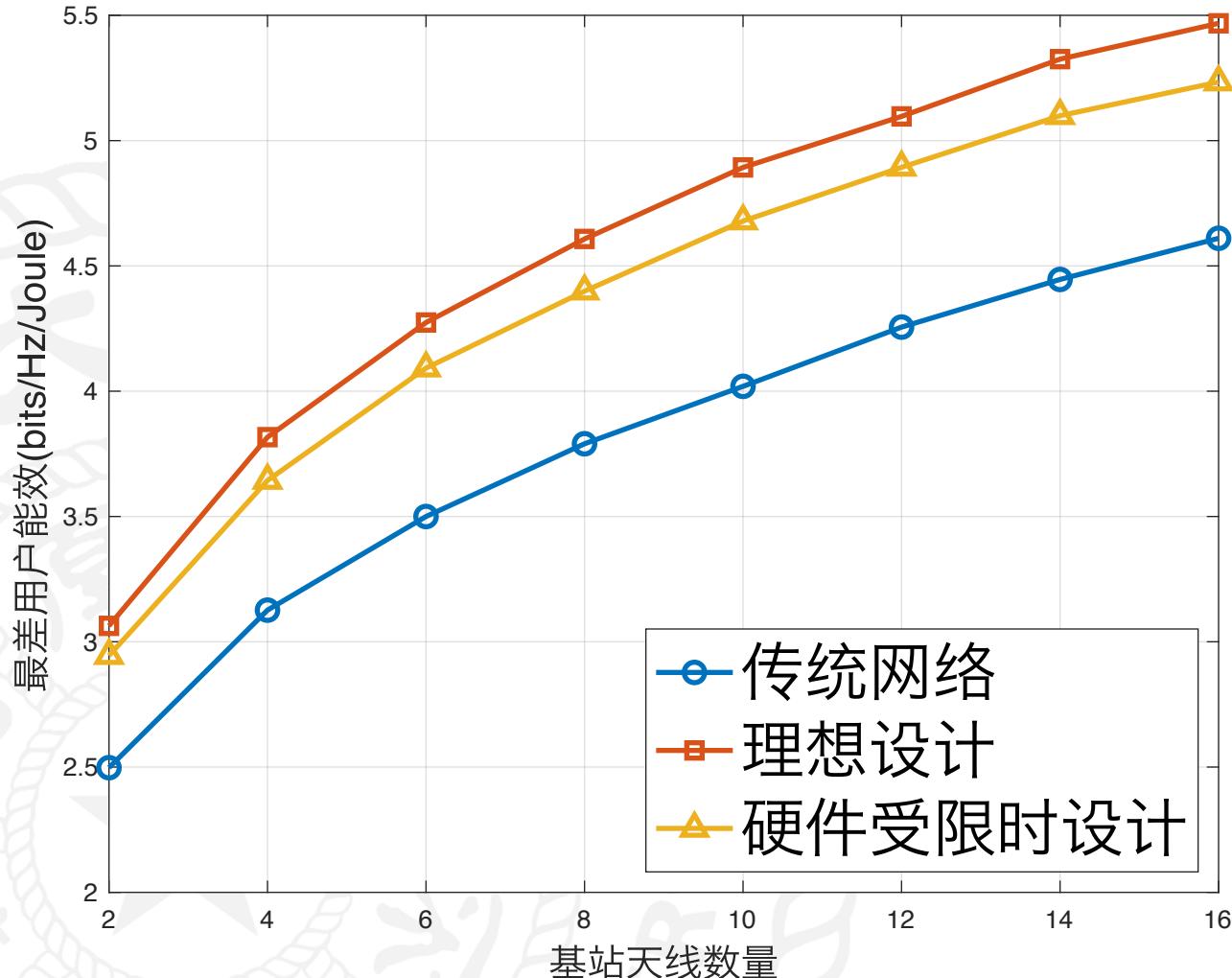
结论1：添加硬件资源可以改善最差用户能效

仿真结果



结论1：添加硬件资源可以改善最差用户能效

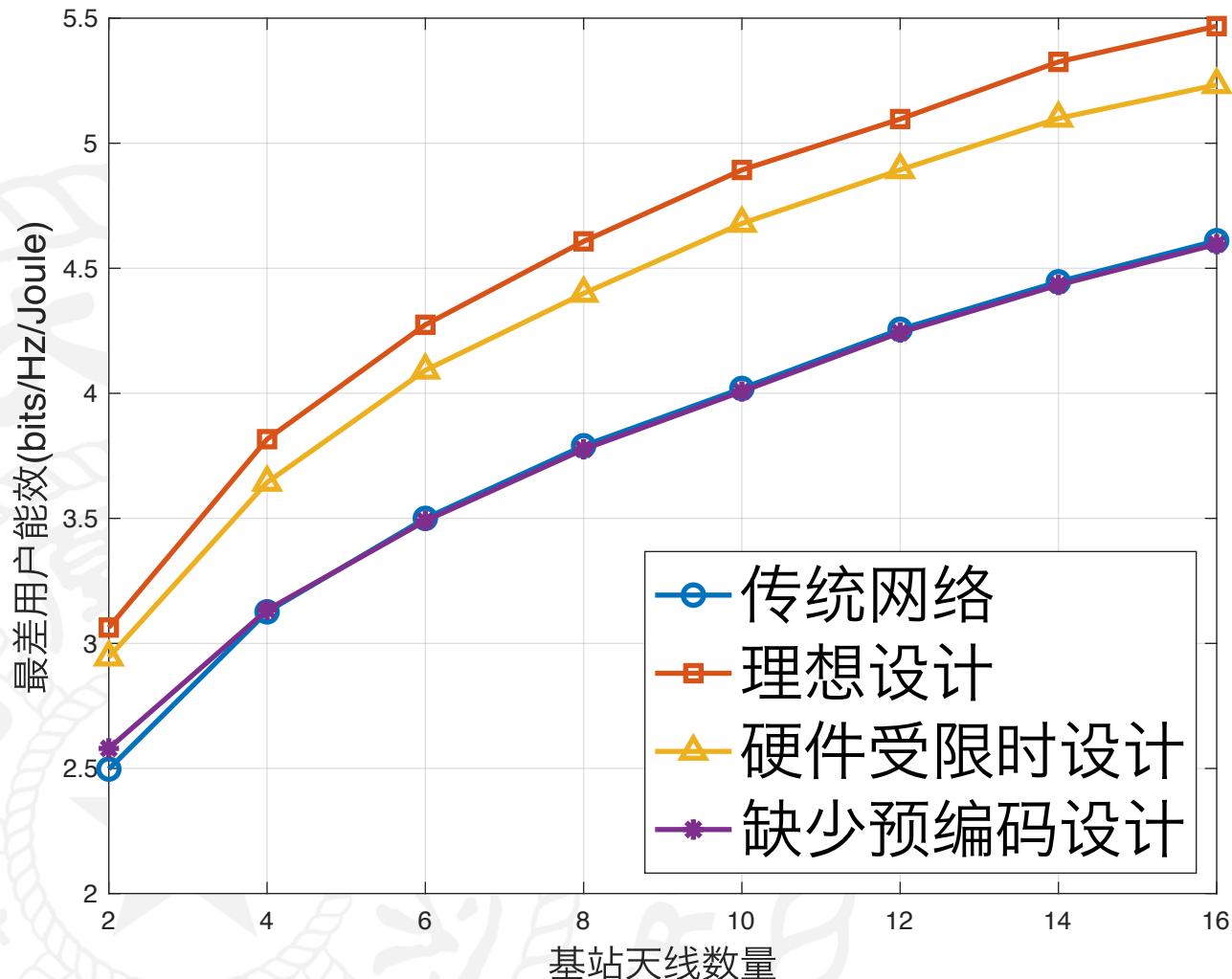
仿真结果



结论1：添加硬件资源可以改善最差用户能效

结论2：硬件受限时仍好于传统网络设计

仿真结果



结论1：添加硬件资源可以改善最差用户能效

结论2：硬件受限时仍好于传统网络设计

结论3：预编码设计是网络性能提升的核心原因

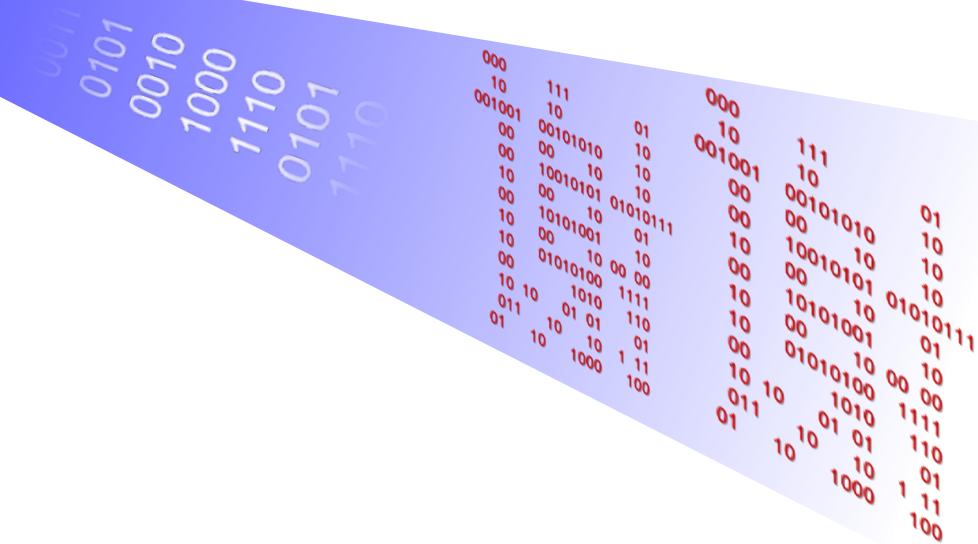
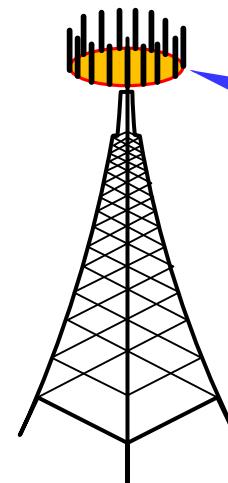
研究小结

- **智能超表面及其优势**：以低成本提高网络容量
- **用户公平网络**：最优化最差用户能效/速率
- **联合优化**：使用各种数学工具解耦问题
- **仿真实验**：证明了我们的设计相比传统网络有明显提升

2020年学术推进计划结题答辩

6G移动通信基础理论与关键技术研究

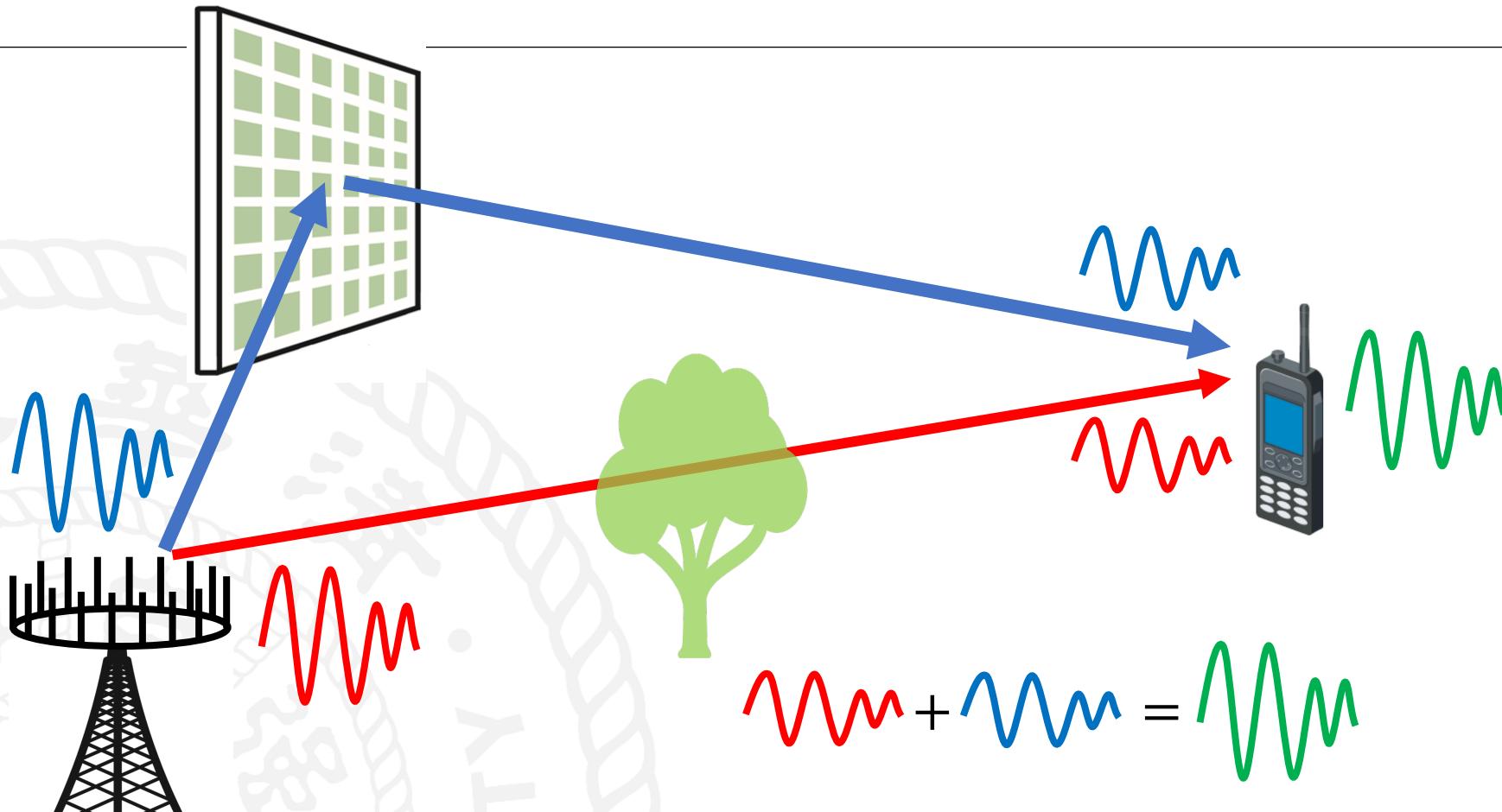
清华大学电子工程系
刘坤瓒 于子涵 张子健
2020年12月



研究小结

- **智能超表面及其优势**：以低成本提高网络容量
- **用户公平网络**：最优化最差用户能效/速率
- **联合优化**：使用各种数学工具解耦问题
- **仿真实验**：证明了我们的设计相比传统网络有明显提升

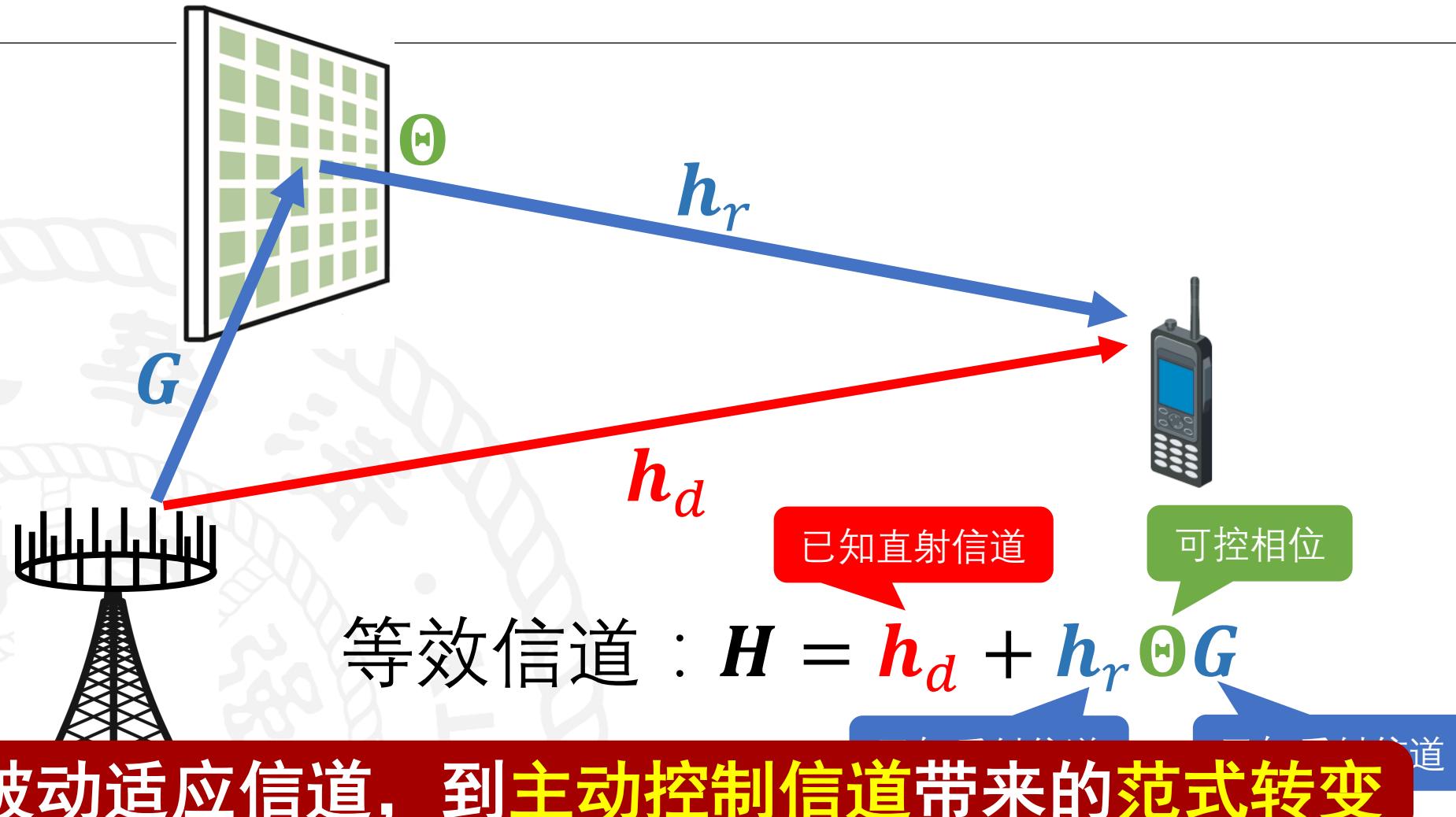
智能超表面



智能超表面通过相位调整满足通信需要

[Basar '19] E. Basar, M. Di Renzo, J. De Rosny, M. Debbah, M. Alouini, and R. Zhang, "Wireless communications through reconfigurable intelligent surfaces," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 116753-116773, Jul. 2019.

从适应信道到改变信道



[Basar '19] E. Basar, M. Di Renzo, J. De Rosny, M. Debbah, M. Alouini, and R. Zhang, "Wireless communications through reconfigurable intelligent surfaces," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 116753-116773, Jul. 2019.