

更快、更高、更强 — 更团结，人工智能赋能6G移动通信



王伟 副研究员

鹏城实验室 交叉前沿研究部

2024年10月26日，深圳市图书馆

ChatGPT关于人类不断突破自我与科技创新之间关系的论述

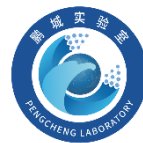
无论是人类还是技术的发展，都在不断追求新的高度。从科学探索、技术创新到人类精神层面的成长，都是一个不断突破、不断攀登的过程。人类历史上，每一次重大的进步都是来自于敢于挑战极限、不断创新的精神。

技术方面，我们看到无线通信、人工智能、量子计算、太空探索等领域的快速发展，正在重新定义人类的未来。同样，人类在面对未知和挑战时，总是有着不断前行的动力。这种永无止境的追求，既是人类的本质，也是推动社会和技术进步的核心力量。

—— ChatGPT 4.0



更快、更高、更强



“更快、更高、更强”，奥林匹克格言，1894年-2021年。



奥林匹克运动不仅是一场体育盛事，更是一种激励人类不断挑战自我、追求卓越的象征。



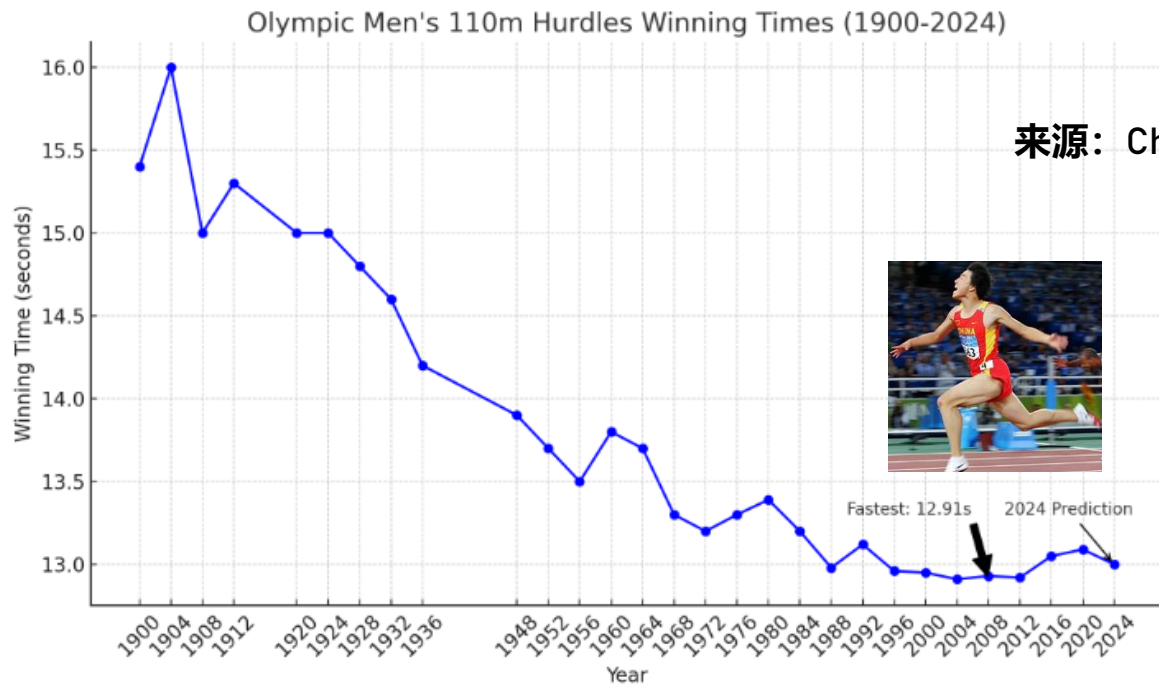
更快、更高、更强



刘翔，中国男子110米栏运动员，
在2004年雅典奥运会男子110米
栏项目的决赛中，以12.91秒的成
绩夺得金牌，并创下奥运会赛会
记录。



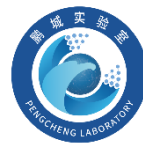
更快、更高、更强



从1900年到2020年奥运会男子110米栏冠军的成绩变化曲线



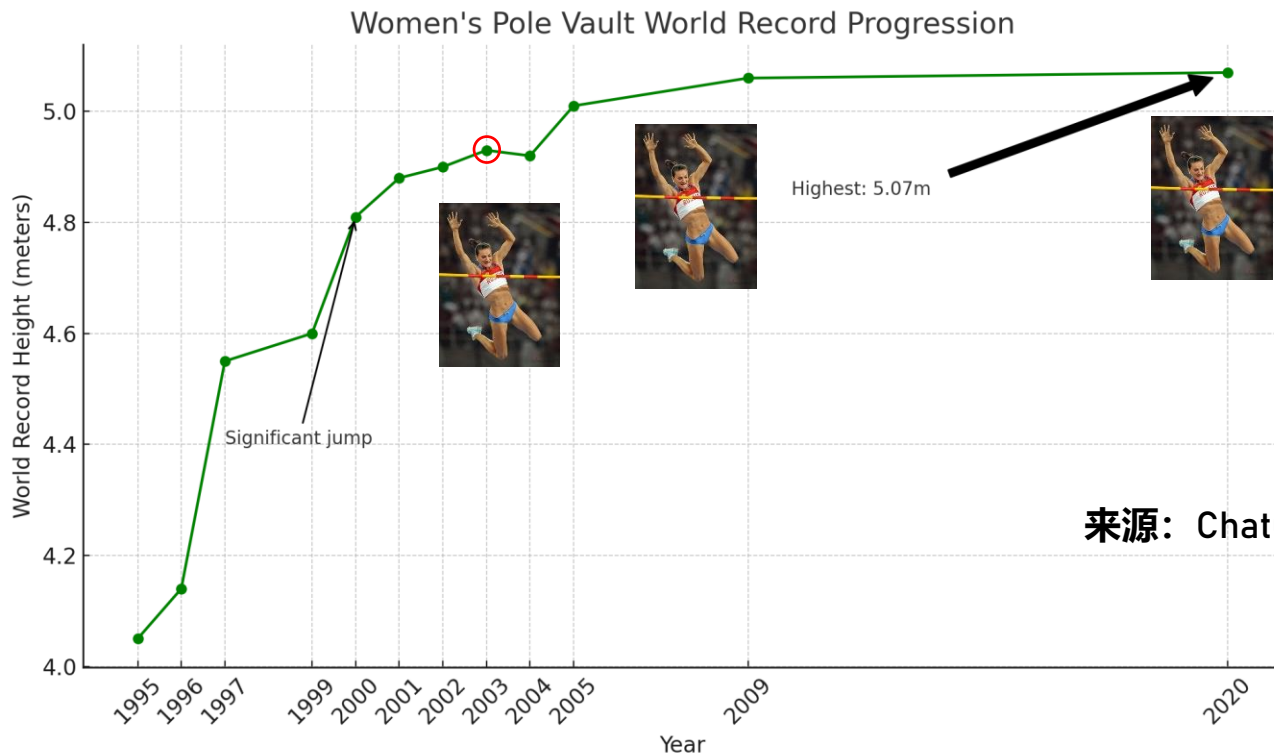
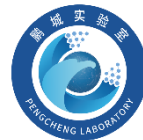
更快、更高、更强



叶莲娜·伊辛巴耶娃 (Yelena Isinbayeva)
俄罗斯女子撑杆跳高运动员，在2009年瑞士苏黎世国际田联黄金联赛以**5.06米**的成绩刷新世界纪录。



更快、更高、更强

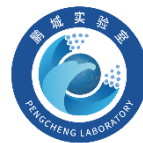


来源: ChatGPT 4.0

从1995年到2023年女子撑杆跳（室外）世界纪录的进展



更快、更高、更强



全红婵，中国女子跳水运动员，在2021年东京奥运会，以五跳三跳满分总466.2分（注：整套动作满分是477分）打破世界纪录夺得女子单人10米跳台金牌。



更快、更高、更强



全红婵，中国女子跳水运动员，在2021年东京奥运会，以五跳三跳满分总466.2分（注：整套动作满分是477分）打破世界纪录夺得女子单人10米跳台金牌。

“小全跳了三个满分，我觉得很羡慕，我跳了20年水，也没跳过这么多满分，小全这一场比赛就把它全都跳出来了，真的很羡慕。”

-- 郭晶晶



更快、更高、更强 – 更团结



2021年7月20日，国际奥委会第138次全体会20日投票表决，同意在奥林匹克格言“更快、更高、更强”之后，加入“更团结”。

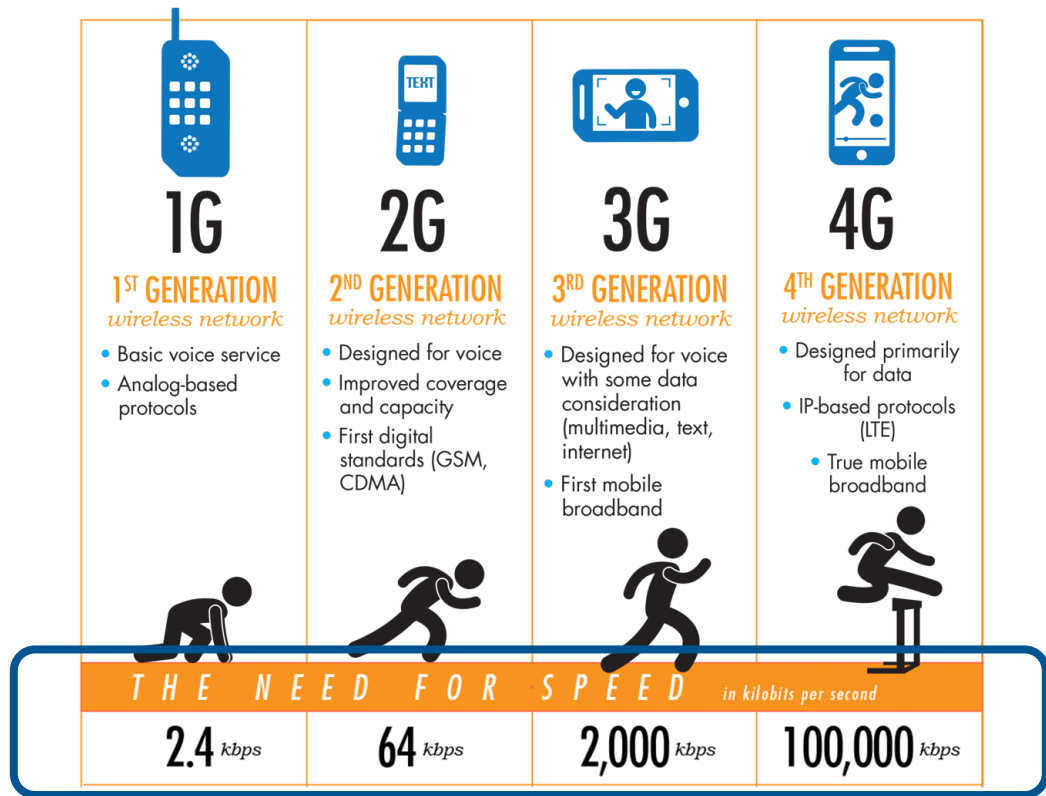


“当前，我们更加需要团结一致，这不仅是为了应对新冠疫情，更是为了应对我们面临的巨大挑战。当今世界彼此依靠，**单靠个体已经无法解决这些挑战**。因此，我发起提议，**为了实现更快、更高、更强，我们需要在一起共同应对，我们需要更团结。**”

-- 时任国际奥委会主席巴赫

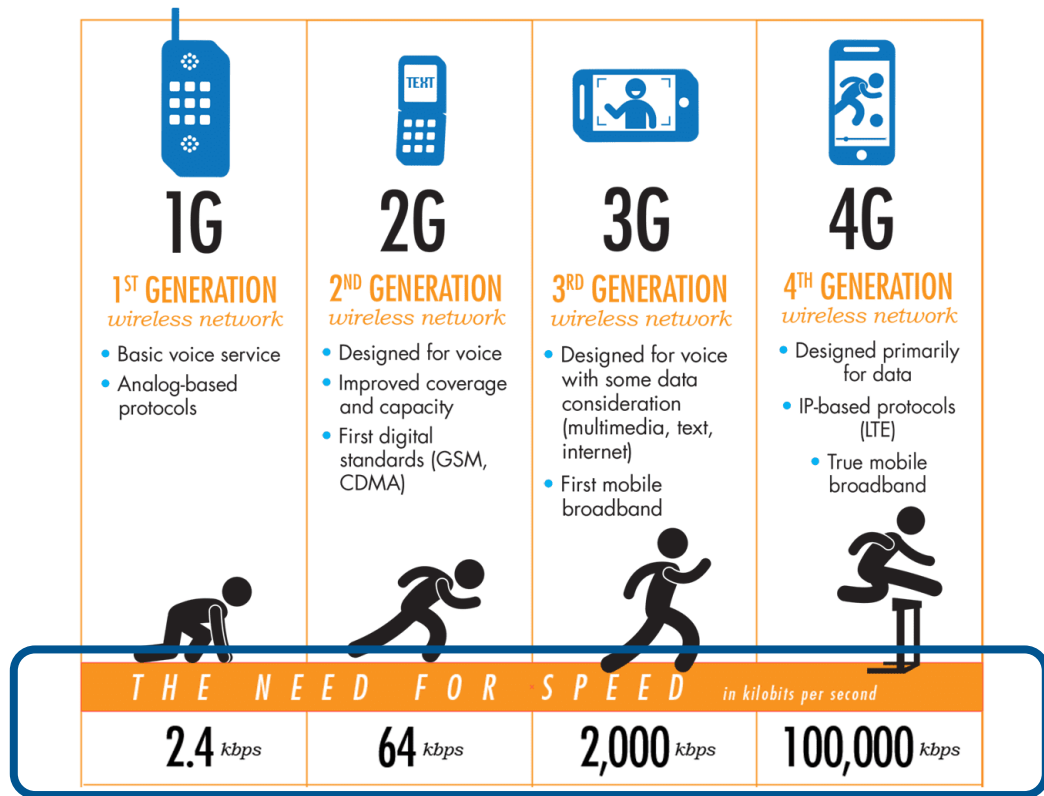


无线通信中的“更快、更高、更强”



传输速率: 数据从一点向另一点传输的速率。单位 (bit per second, 比特每秒)

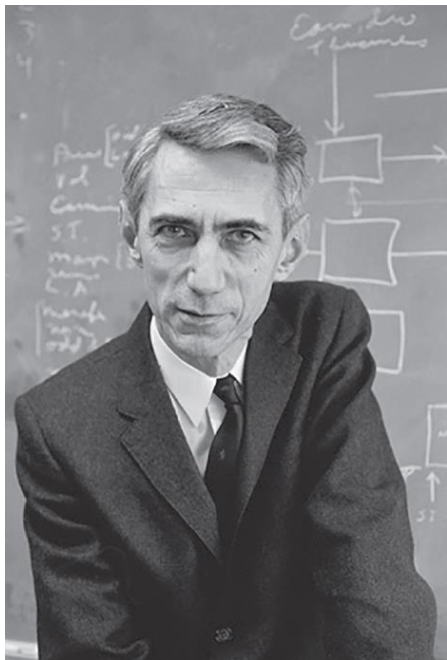
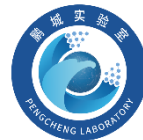
无线通信中的“更快、更高、更强”



传输速率: 数据从一点向另一点传输的速率。单位 (bit per second, 比特每秒)

传输速率有极限吗?

无线通信中的“更快、更高、更强”



克劳德·艾尔伍德·香农
1916年4月30日—2001年2月24日

香农极限（或称香农容量）指的是在信道上进行无差错传输的**理论最大传输速率**。

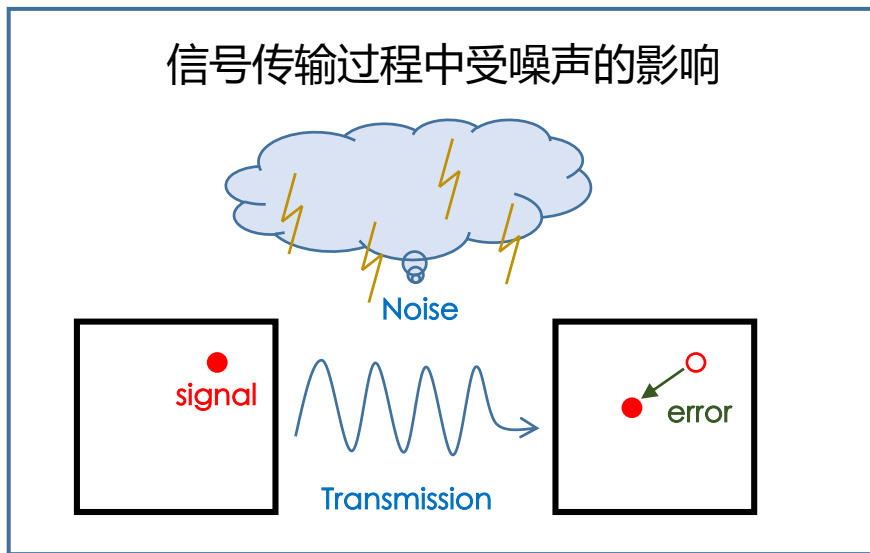
在高斯白噪声背景下的连续信道的容量：

$$C = \underbrace{W}_{\text{Bandwidth}} \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P/W}{N_0} \right)$$

- C: 信道容量（单位bit per second），W: 带宽（单位Hz），P: 信号功率， N_0 : 噪声功率

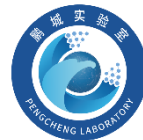


无线通信中的“更快、更高、更强”

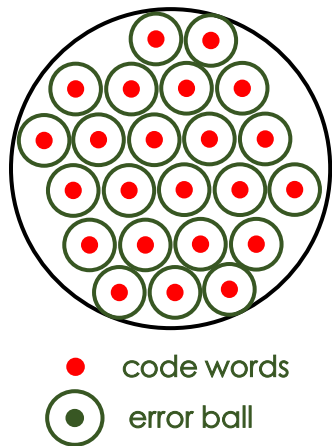


- 有效的**编码**策略可以最小化传输过程中的错误，从而提高信息传输的可靠性。
- 可以通过特定的**编码方案**来接近或达到**香农极限**（Shannon limit）。

无线通信中的“更快、更高、更强”



球填充 (Sphere Packing)



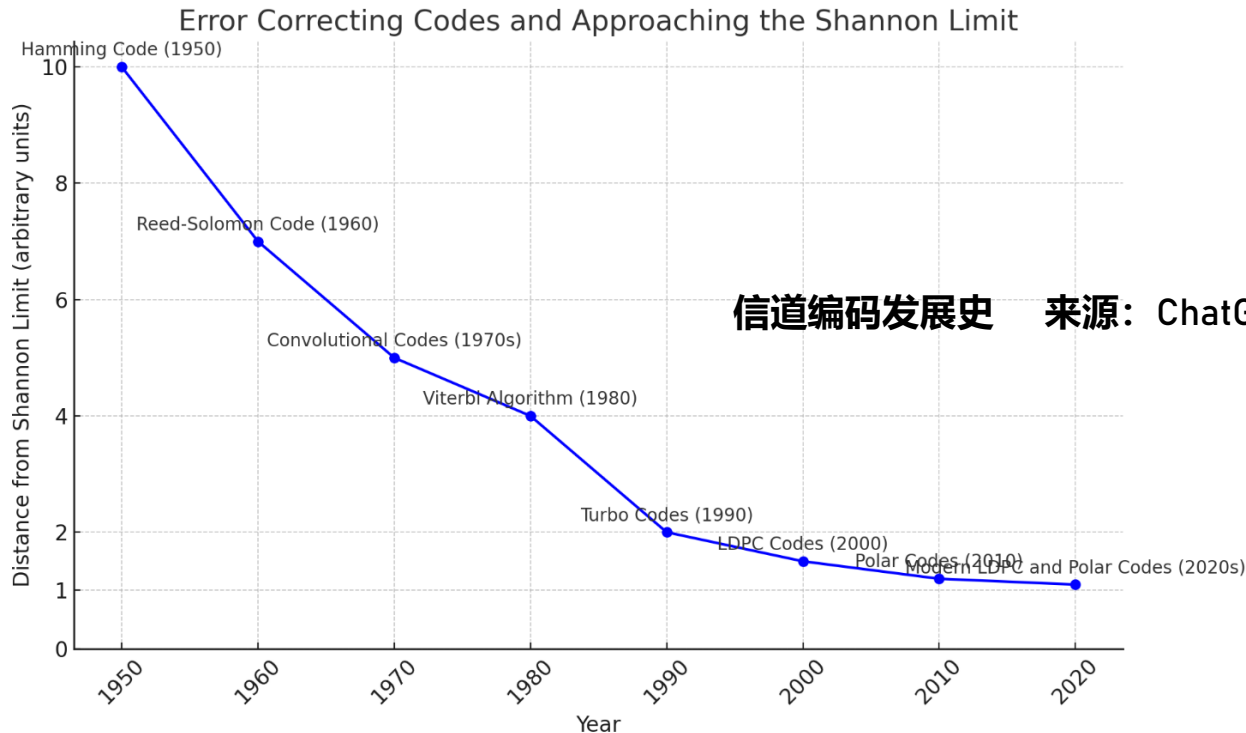
球填充问题广泛用于设计/解释纠错码和信道编码。

- 球的中心位置由码字决定
- 球的半径决定错误率，最佳半径与噪声功率相关
- 装球的容器体积由信号功率决定

球填充： 在一个欧几里得空间中定义一个大球，如何在这个大球中放置尽量多的小球（代表码字），而使这些小球彼此之间的距离（即码字之间的距离）至少为一定的值，以保证它们彼此可区分。



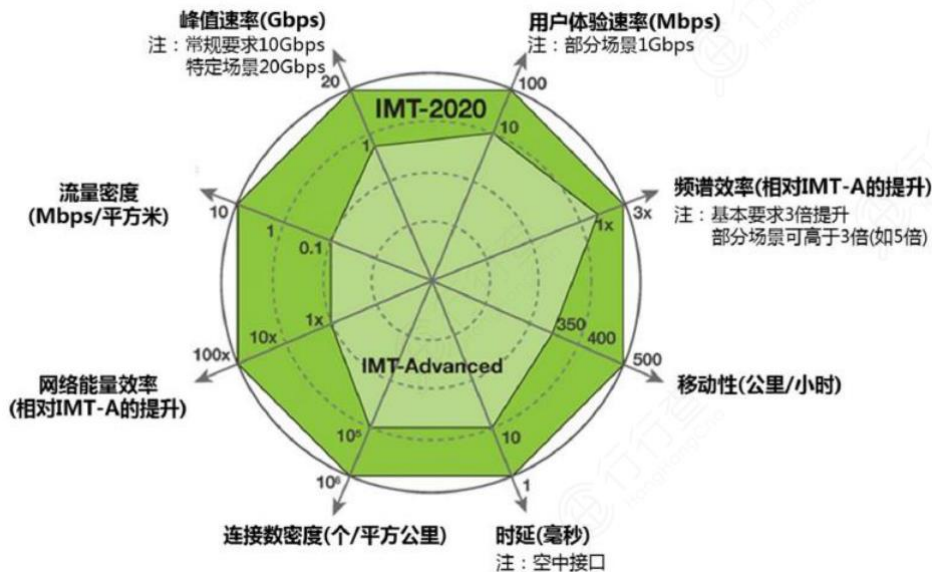
无线通信中的“更快、更高、更强”



信道编码发展史 来源: ChatGPT 4.0

- 现代编码技术正日益逼近香农极限，继续提升的空间已经不大

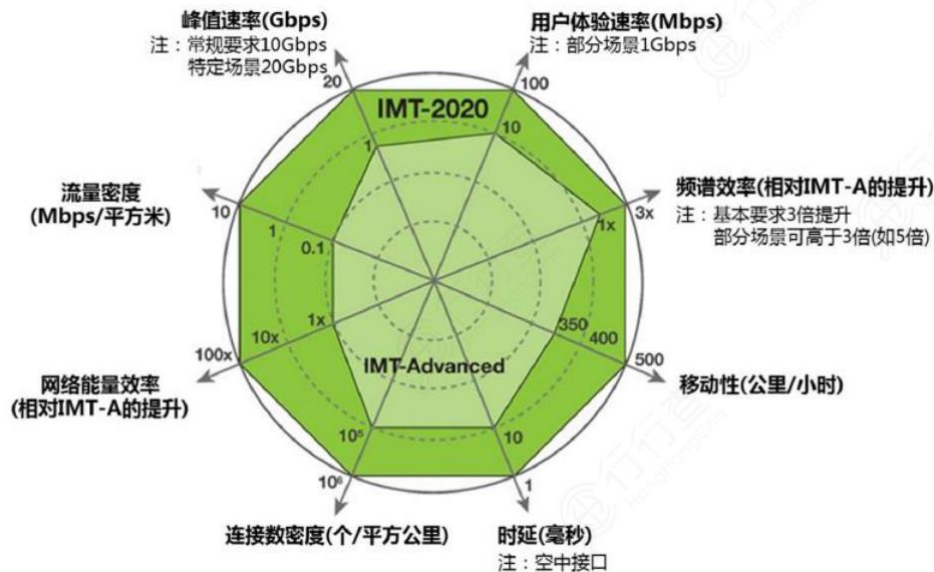
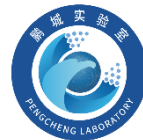
5G - “更快、更高、更强” 的最后倔强



5G追求性能指标的极致提升。

From IMT-advanced (4G) to IMT-2020 (5G)

5G - “更快、更高、更强” 的最后倔强



三大运营商 2G/3G/4G/5G 频率分配表

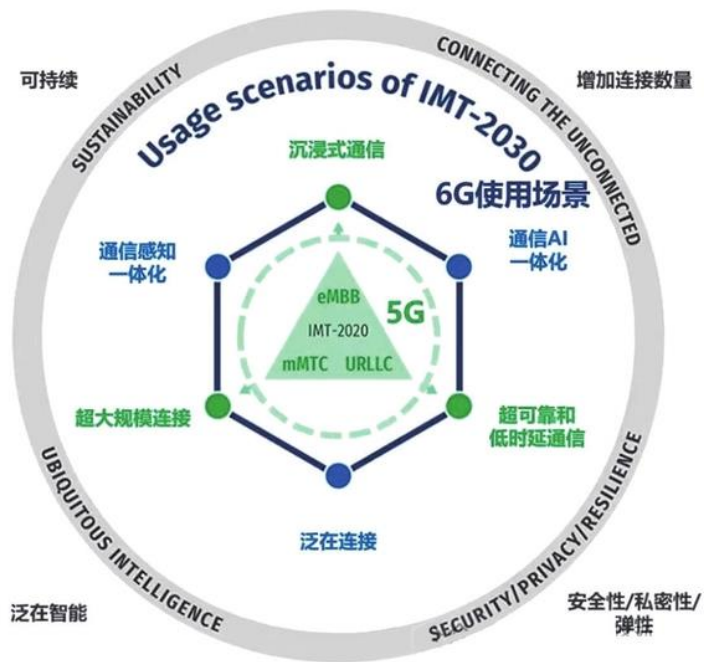
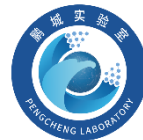
运营商	上行频率 MHz	下行频率 MHz	频宽 MHz		制 式	
中国移动	885-892	930-937	7	22	GSM900	2G
	1710-1725	1805-1820	15		GSM1800	2G
	2010-2025	2010-2025	15	15	TD-SCDMA	3G
	892-904	937-949	12	12	LTE-FDD	4G
	1880-1890	1880-1890	10	60	TD-LTE	4G
	2320-2370	2320-2370	50			
	2515-2675	2515-2675	160			
4800-4900	4800-4900	100				
中国联通	1745-1755	1840-1850	10	10	GSM	2G
	1940-1955	2130-2145	15	15	WCDMA	3G
	904-915	949-960	11	21	LTE-FDD	4G
	1755-1765	1850-1860	10			
	2300-2320	2300-2320	20	20	TD-LTE	4G
	3500-3600	3500-3600	100	100	IMT-2020	5G
中国电信	(825-840)	(870-885)	15	15	CDMA/FDD	2G/4G
	1920-1935	2110-2125	15	15	CDMA2000	3G
	826.7-837.7	871.7-876.7	5	5	LTE-FDD	4G
	1765-1780	1860-1875	15	15	LTE-FDD	4G
	2370-2390	2370-2390	20	20	TD-LTE	4G
	3400-3500	3400-3500	100	100	IMT-2020	5G

From IMT-advanced (4G) to IMT-2020 (5G)

更大的频宽、更多的天线 = 更好的性能?



6G - “更快、更高、更强 - 更团结”

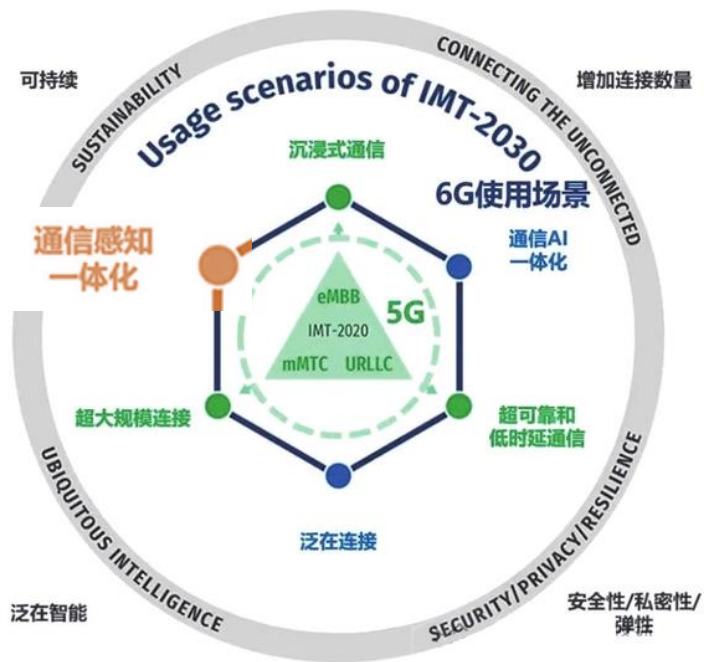


传统的蜂窝通信已步入技术瓶颈，单靠一项技术难以实现新的突破。因此，6G将**团结**雷达感知技术、人工智能技术和卫星通信技术，既推动移动通信在“**更快、更高、更强**”的方向上迈进，也全面提升通信网络在人工智能时代的业务体验。

From IMT-2020 (5G) to IMT-2030 (6G)



6G - “更快、更高、更强 - 更团结”

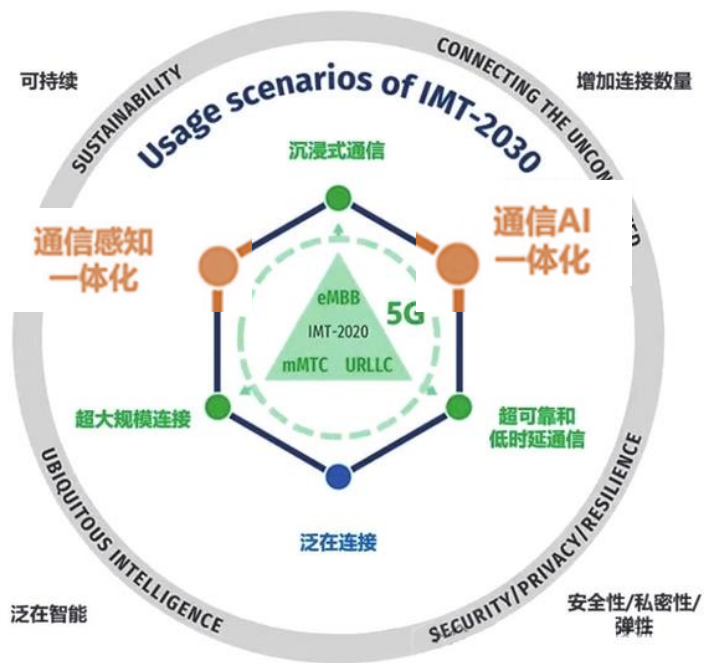
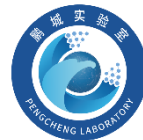


传统的蜂窝通信已步入技术瓶颈，单靠一项技术难以实现新的突破。因此，6G将**团结**雷达感知技术、人工智能技术和卫星通信技术，既推动移动通信在“**更快、更高、更强**”的方向上迈进，也全面提升通信网络在人工智能时代的业务体验。

From IMT-2020 (5G) to IMT-2030 (6G)



6G - “更快、更高、更强 - 更团结”

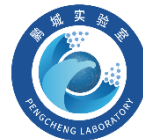


传统的蜂窝通信已步入技术瓶颈，单靠一项技术难以实现新的突破。因此，6G将**团结**雷达感知技术、人工智能技术和卫星通信技术，既推动移动通信在“**更快、更高、更强**”的方向上迈进，也全面提升通信网络在人工智能时代的业务体验。

From IMT-2020 (5G) to IMT-2030 (6G)



全国人工智能大赛 AI+无线通信赛道



AI+无线通信赛道

AI 无线通信

AI+无线通信赛道将摒弃物理层信道测量、信道反馈等传统方法，基于无线地图的无反馈通信系统设计，挖掘无线大数据中的隐藏地理信息，利用AI射频地图使能高效信息传输，进一步提升空口资源使.....

奖励
¥ 1780000

参赛人数
2955

比赛时间
2023.4~2023.12

已结束

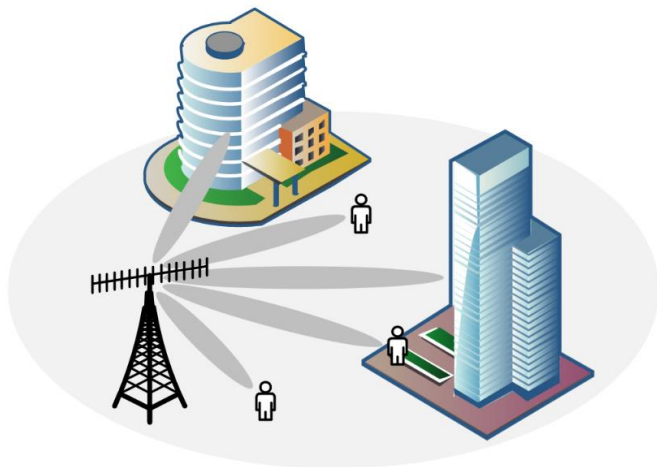


将每一名普通的人工智能爱好者比作一个神经元，全国人工智能大赛就是一个正向的损失函数，激励着中国人工智能这一张巨大的神经网络不断地向更优的区域迭代。

-- 优秀参赛选手

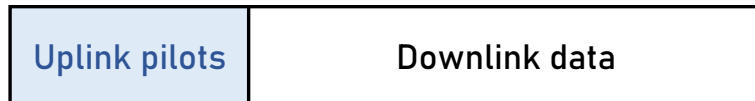


AI4NET – Status Quo

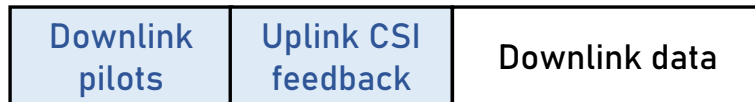


Massive MIMO

TDD frame structure



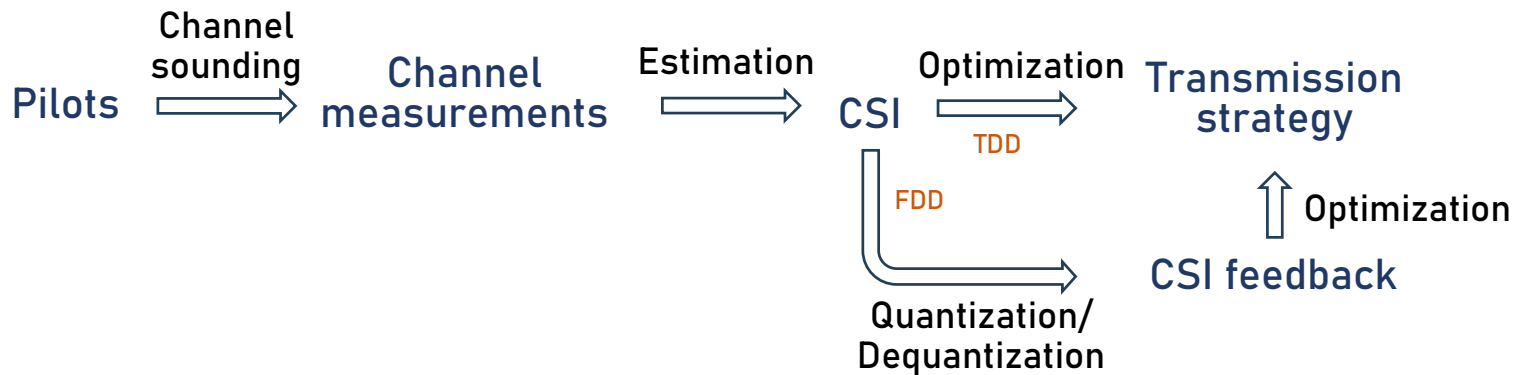
FDD frame structure



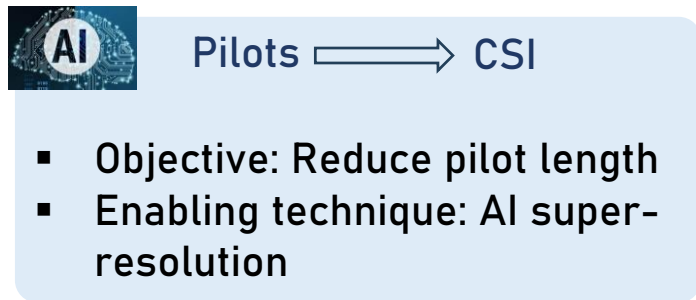
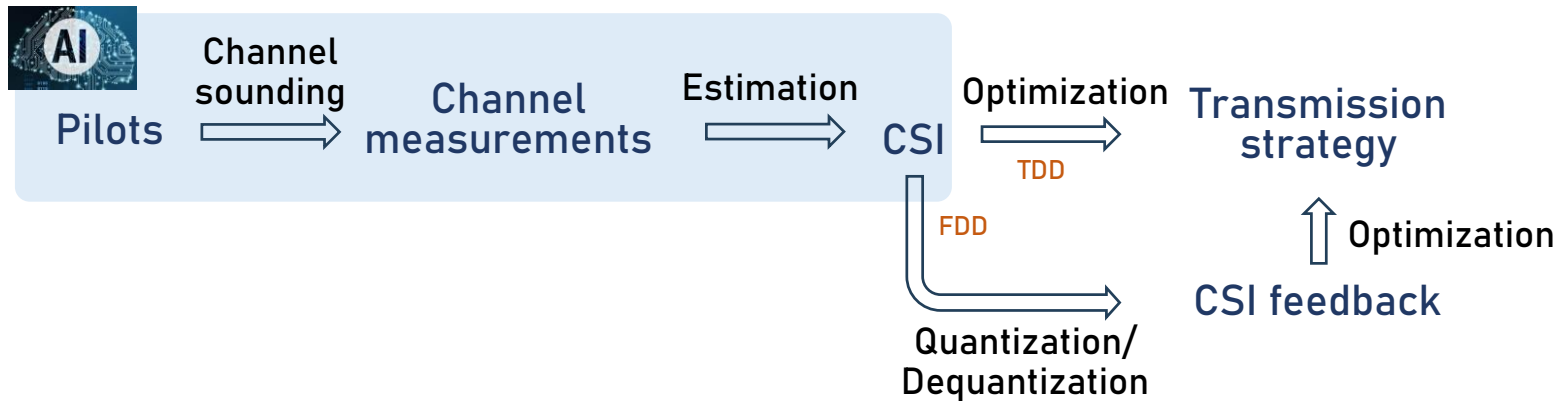
- ❑ Traditional channel estimation and channel feedback impose an excessive overhead on radio resources.



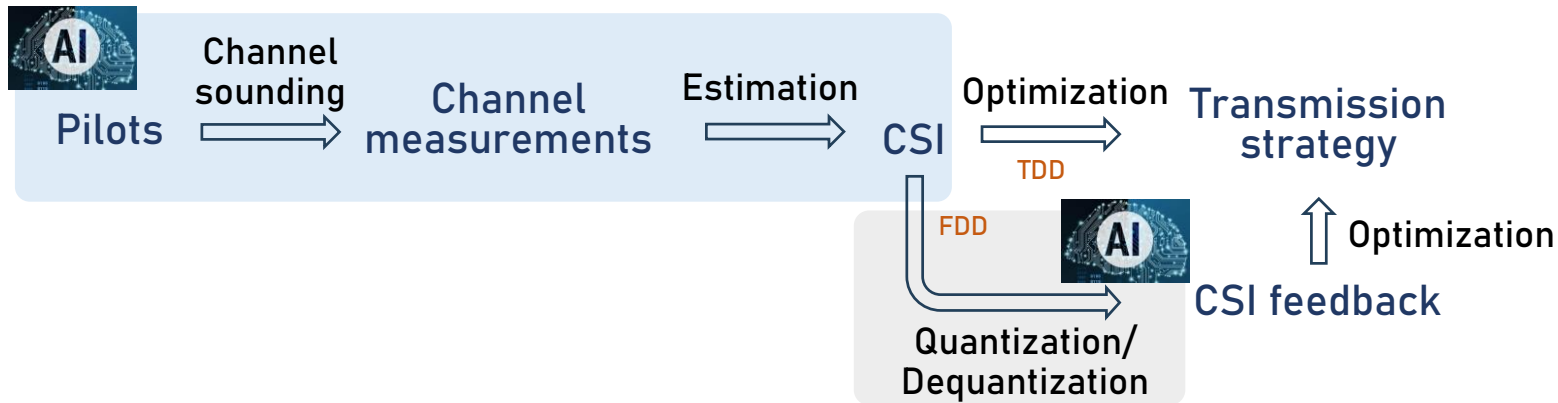
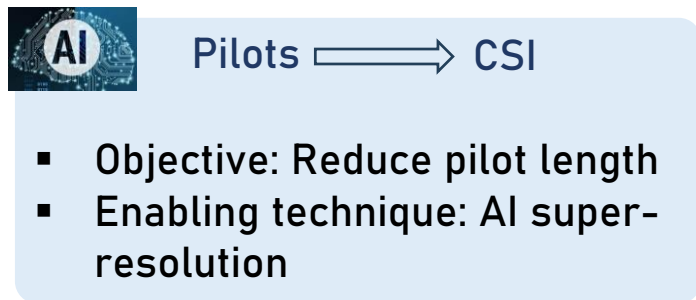
AI4NET – Status Quo



AI4NET – Status Quo

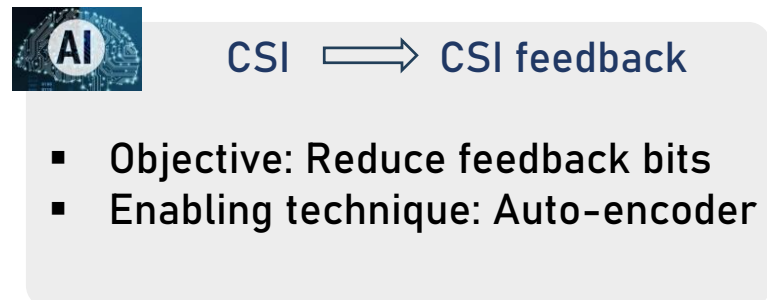


AI4NET – Status Quo

AI Pilots \Rightarrow **CSI**

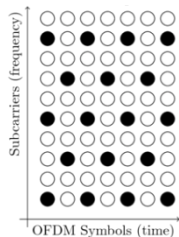
- Objective: Reduce pilot length
- Enabling technique: AI super-resolution



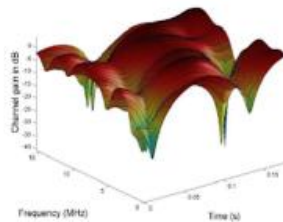
CSI \Rightarrow **CSI feedback**

- Objective: Reduce feedback bits
- Enabling technique: Auto-encoder

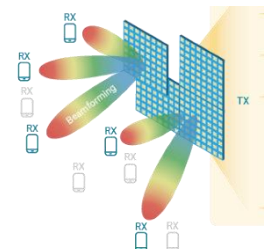
AI4NET – Status Quo



Pilots



CSI

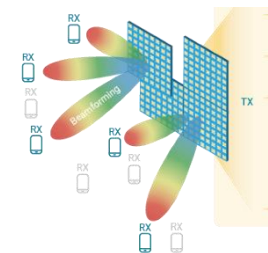
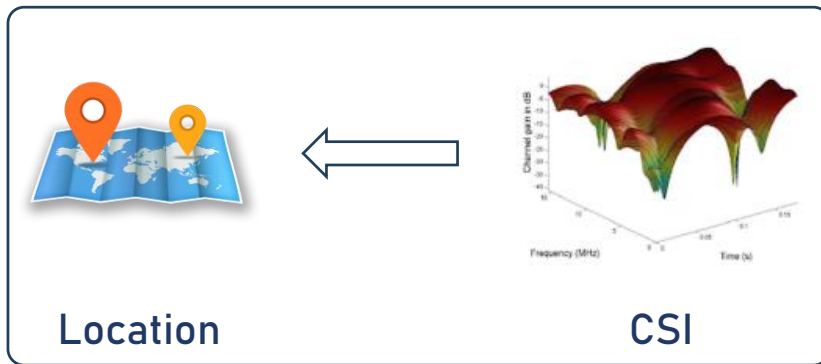


Transmission strategy

- ❑ Current endeavors in integrating AI into the physical layer are grounded in conventional paradigms, i.e., **pilot-based** designs.
- ❑ Can location information be leveraged to reduce the dependence on pilot?



AI4NET – Radio Map



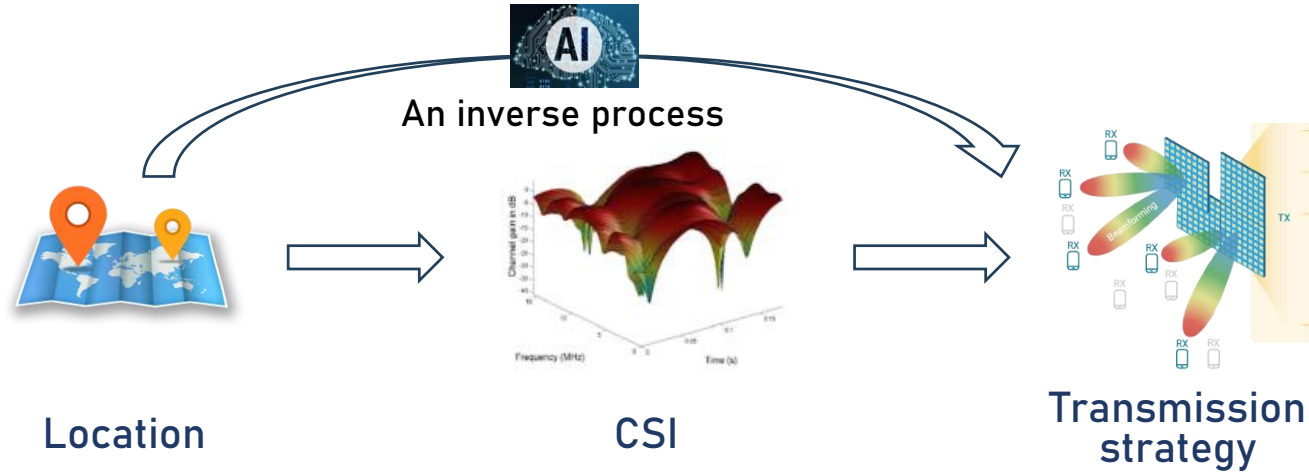
Transmission strategy

- ❑ The connection between **location** and **CSI** has already been demonstrated through CSI-fingerprint based localization [1].

[1] Wang, X., Gao, L., Mao, S., & Pandey, S. (2016). CSI-based fingerprinting for indoor localization: A deep learning approach. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 66(1), 763-776.



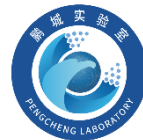
AI4NET – Radio Map



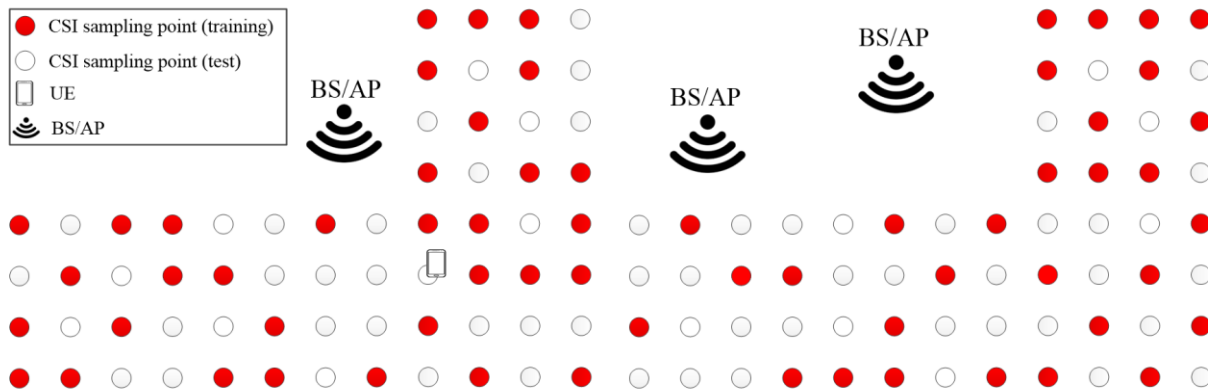
- ❑ The connection between **location** and **CSI** has already been demonstrated through CSI-fingerprint based localization [1].
- ❑ How to exploit location information and wireless big data to **further reduce training overhead?**

[1] Wang, X., Gao, L., Mao, S., & Pandey, S. (2016). CSI-based fingerprinting for indoor localization: A deep learning approach. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 66(1), 763-776.

Radio Map for MIMO-OFDM



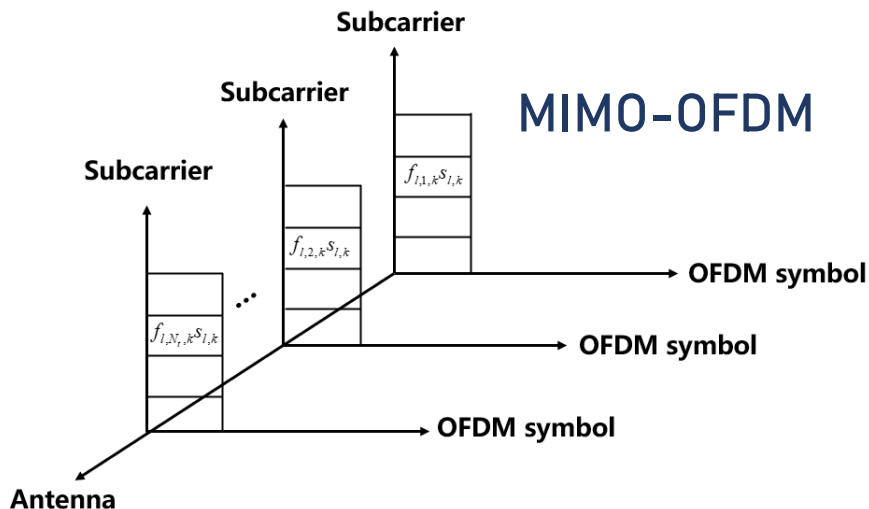
Deep Learning-based Radio Map



Radio Map: Given the data set of $\langle \text{location}, \text{CSI} \rangle$, radio map establishes the mapping between **user location** and **the optimal transmission scheme**, through extracting the temporal, frequency, and spatial features of CSI.



System Model



Dataset:

Location-CSI tuples: $\langle \mathbf{p}^{(l)}, \mathbf{H}^{(l)} \rangle$

Input:

Location: $\mathbf{p}^{(l)} = [x^{(l)}, y^{(l)}, z^{(l)}]$

Output:

Precoding vectors: $\mathbf{F}^{(l)} = [\mathbf{f}^{(l,1)}, \dots, \mathbf{f}^{(l,k)}, \dots, \mathbf{f}^{(l,K)}]$
 $\mathbf{f}^{(l,k)} = [f_1^{(l,k)}, \dots, f_{N_t}^{(l,k)}]$

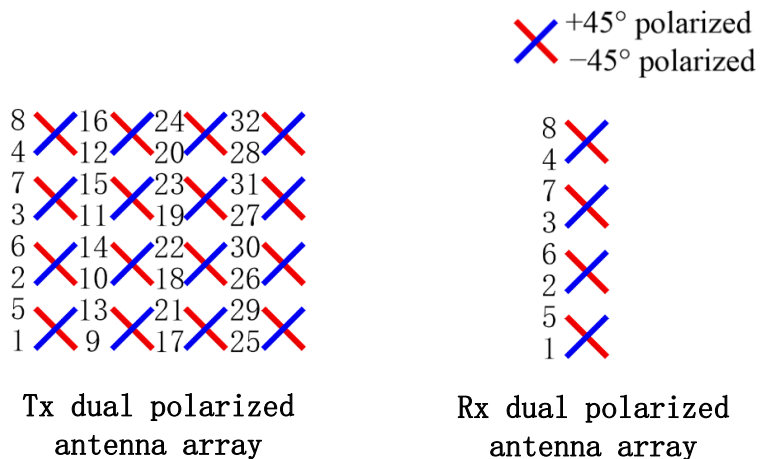
Improve the spectral efficiency of MIMO-OFDM communications with merely the location information.



Dataset



Data Source 1: Measured Channel Data



Rx/Tx array structure

Parameters about CSI:

- ☐ Carrier frequency: xxx GHz
- ☐ PN sequence length: 511
- ☐ Bandwidth of PN sequence: 320 MHz
- ☐ Dual polarized UPA and ULA
- ☐ Samples per location: 80
- ☐ CIR is transformed into CFR according OFDM parameters



Dataset



Data Source 2: Raytracing Softwares

- ❑ Matlab raytracing toolbox, DeepMIMO, and Wireless InSite.

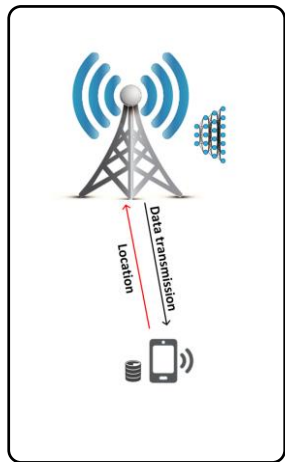


- Use OpenStreetMap to model real-world radio propagation environment;
- Apply Matlab ray tracing propagation model to obtain the CSI with location labels.



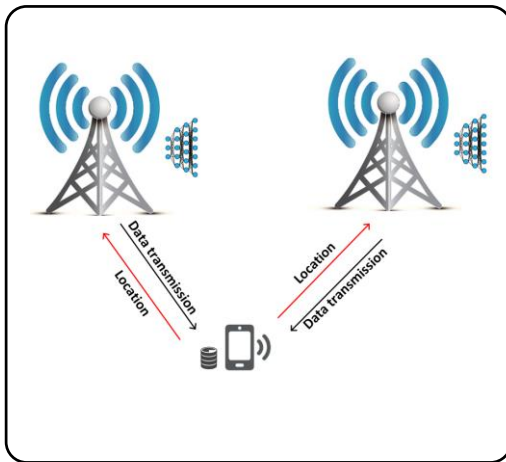
Radio Map Design in Different Scenarios

初赛



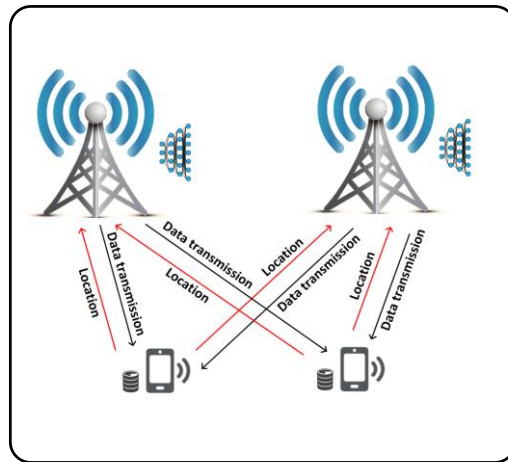
Scenario 1:
Single BS \times Single UE

复赛



Scenario 2:
Two BSs \times Single UE

决赛



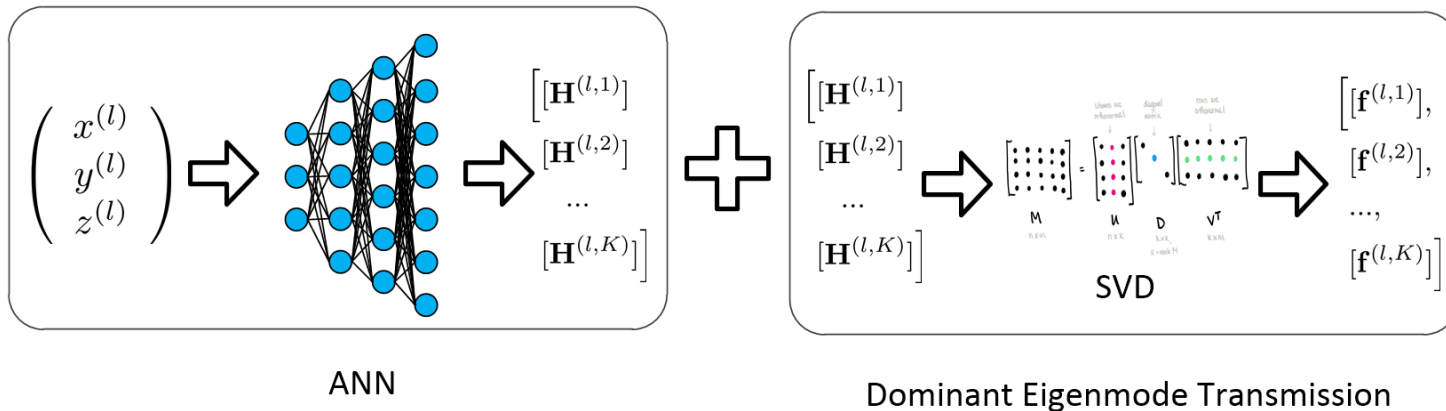
Scenario 3:
Two BSs \times Two UEs

Scalability

Scenario 1: Single BS Single UE

Two Baseline Schemes

Baseline 1: The non-codebook-based structure with CSI prediction



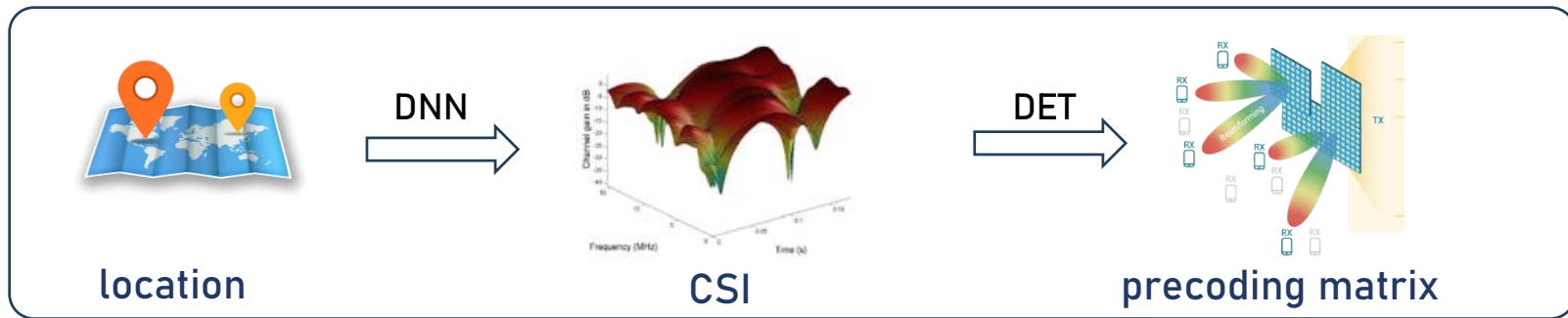
Step 1. The DNN generates CSI estimate according to the location;

Step 2. Apply dominant eigenmode transmission (DET) according to the estimated CSI $\mathbf{H}^{(l,k)}$.

Scenario 1: Single BS Single UE

Two Baseline Schemes

Baseline 1: The non-codebook-based structure with CSI prediction



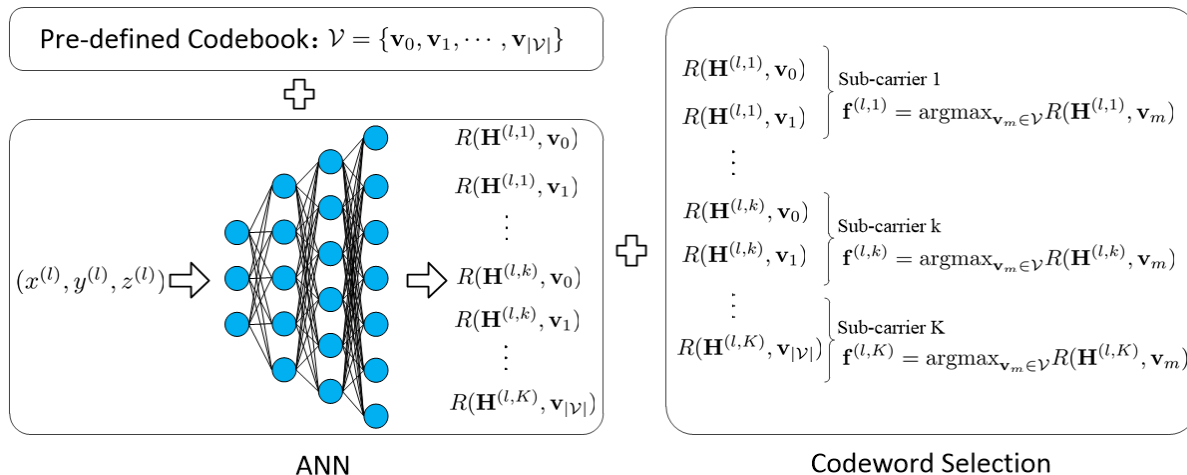
Step 1. The DNN generates CSI estimate according to the location;

Step 2. Apply dominant eigenmode transmission (DET) according to the estimated CSI $\mathbf{H}^{(l,k)}$.

Scenario 1: Single BS Single UE

Two Baseline Schemes

Baseline 2: The codebook-based structure with throughput prediction



Step 1. Predefine a codebook;

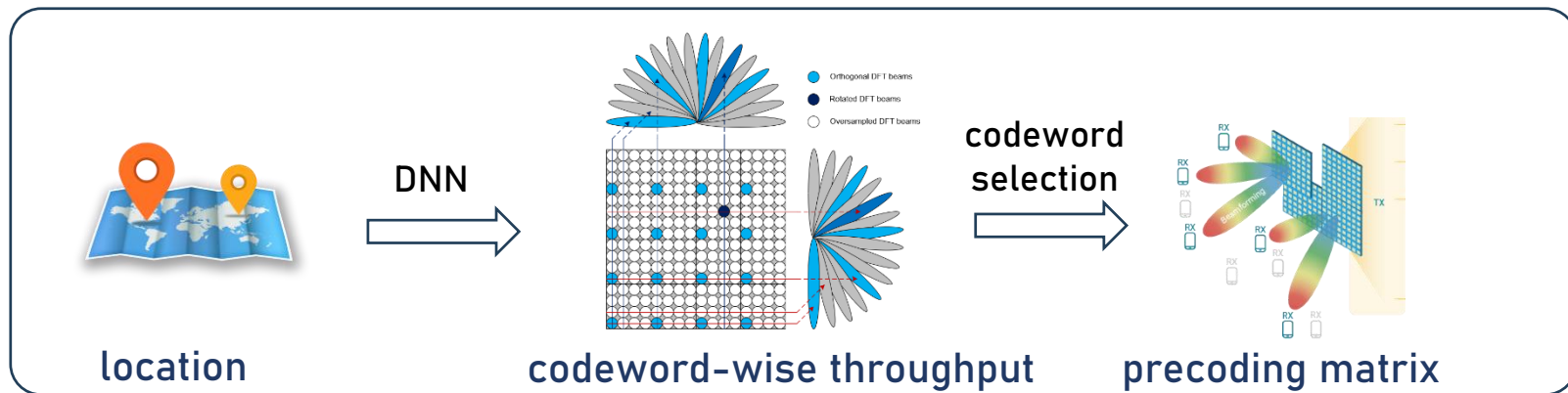
Step 2. The DNN generates the codeword-wise throughput prediction;

Step 3. Codeword selection.

Scenario 1: Single BS Single UE

Two Baseline Schemes

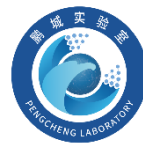
Baseline 2: The codebook-based structure with throughput prediction



Step 1. Predefine a codebook;

Step 2. The DNN generates the codeword-wise throughput prediction;

Step 3. Codeword selection.



Thank You
For Your Attention

