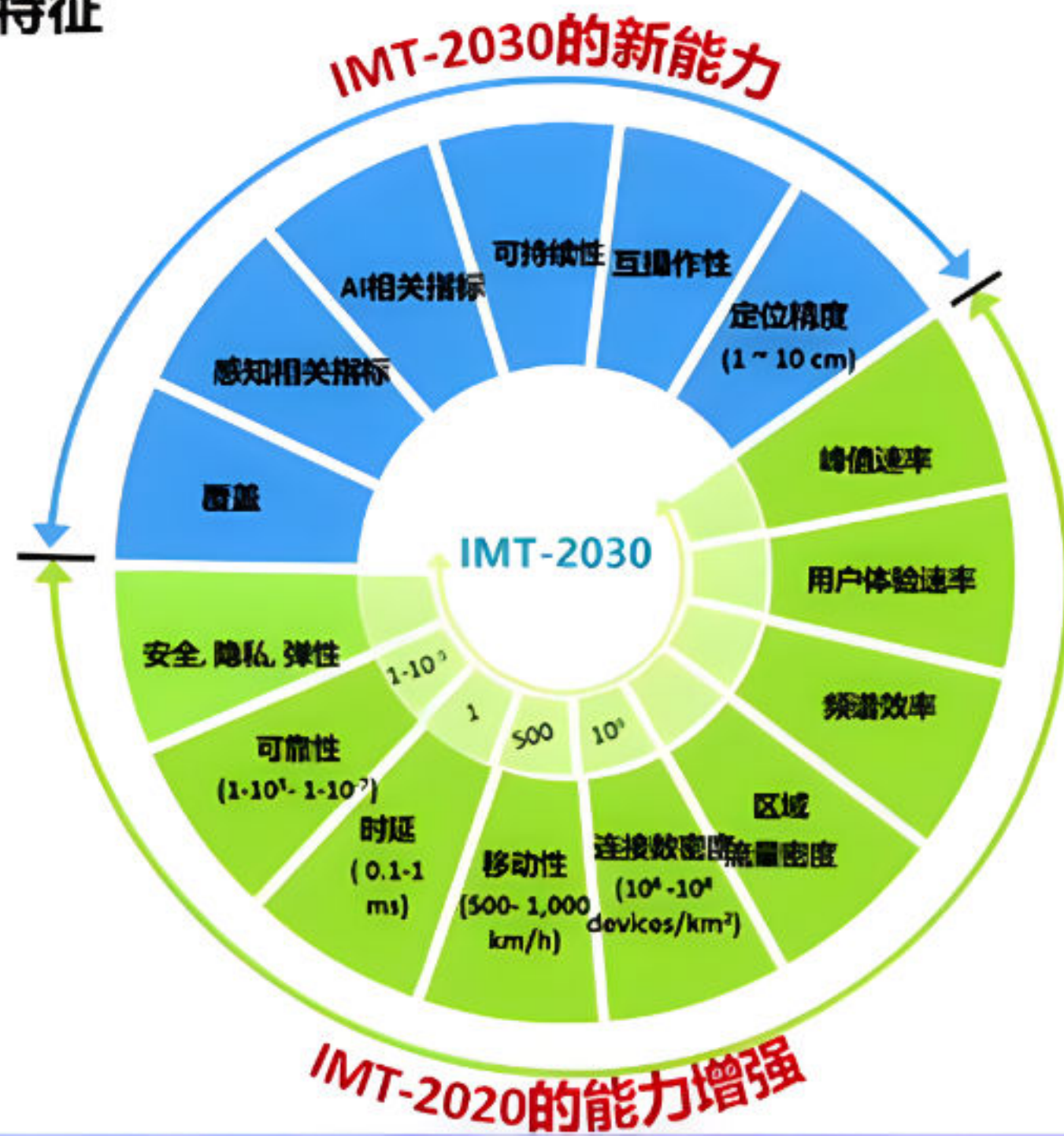


6G泛在智能的通信理论及实践

张平教授

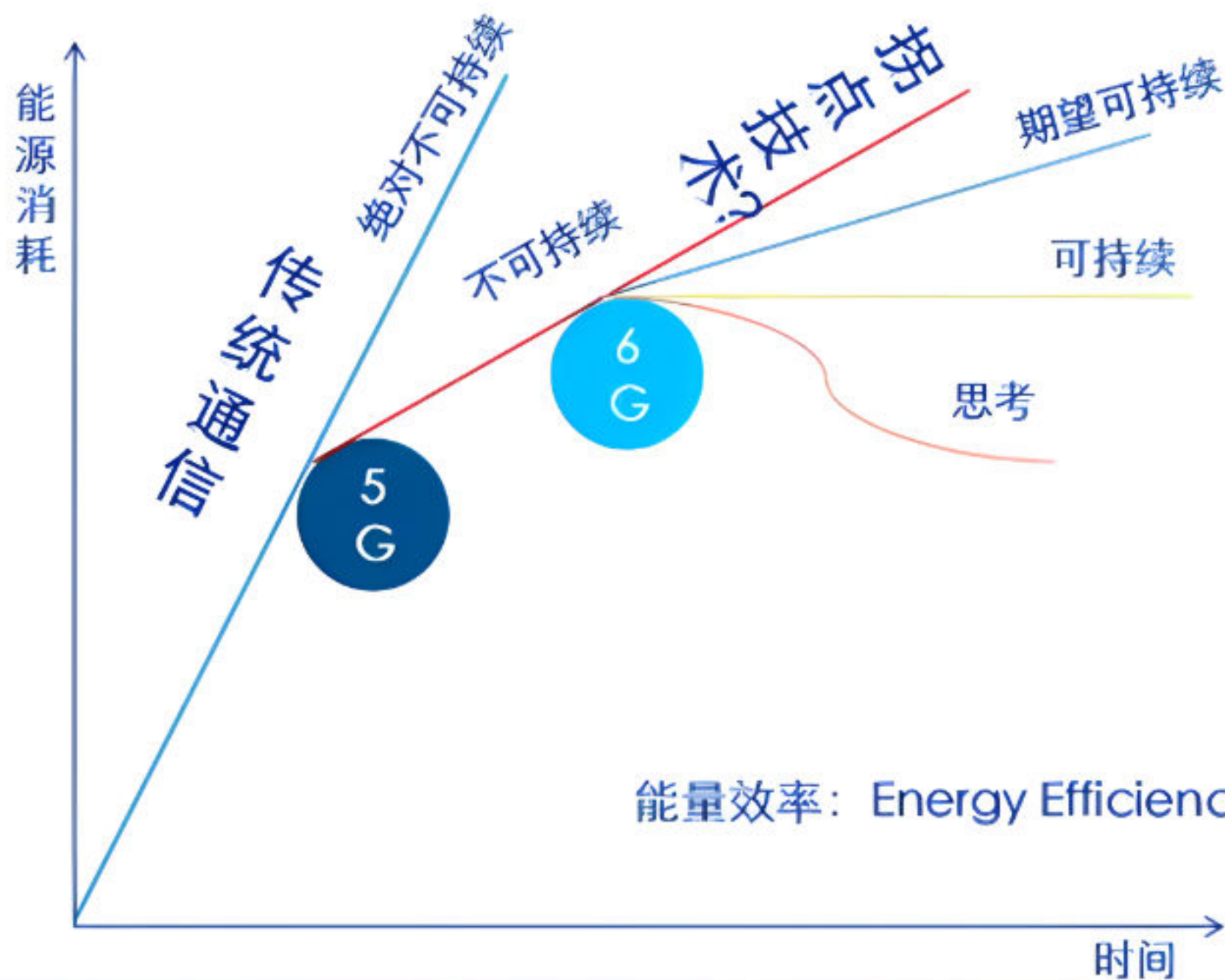
6G的愿景关键词：泛在智能

- ITU-R定义了6G的6个典型场景和15个性能指标，通信、感知、计算、AI、安全等多维能力要素融合一体、空天地一体泛在连接成为6G的核心技术特征



6G演进还面临可持续发展挑战

❑ 巨大功耗难题



传统的可持续性发展

- ◆ 提高能源效率
- ◆ 提高频谱利用率
- ◆ 硬件设施重复利用
- ◆ 程序算法的更新优化

5G → 6G

能量效率: Energy Efficiency (EE) = $\frac{\text{Data Throughput}}{\text{Energy Consumption}}$

$$EE = \frac{R}{P}$$

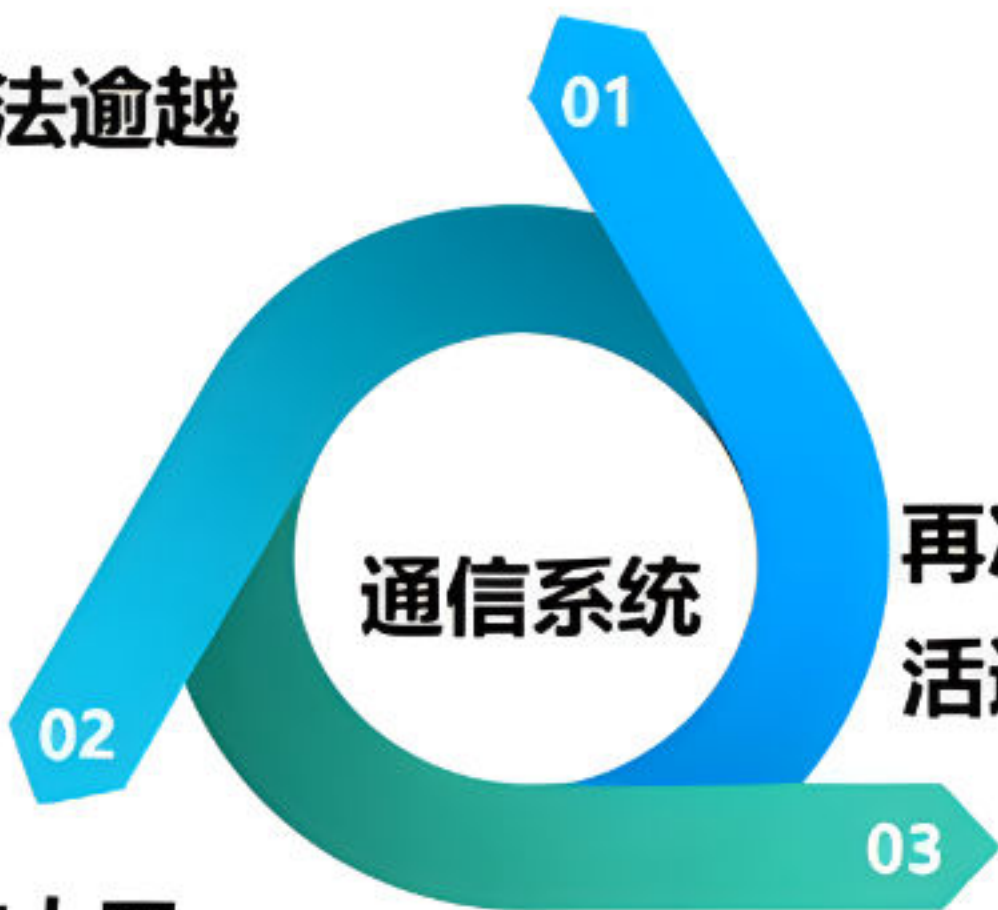
通信面临的三大瓶颈

一）、理论性

首先，当今通信体制无法逾越理论极限的天花板

二）、智能性

其次，当今通信体制与人工智能的设计范式难以匹配



再次，当今的通信体制无法灵活适配复杂场景变化的需求

三）、灵活性

一) 理论极限

□ 1948年, 美国科学家香农发表了《**通信的数学理论**》, 建立了经典信息论(CIT), 基于统计概率提出**无失真/限失真信源压缩以及信道容量的理论极限**, 以指导信息和通信系统的设计和优化。

信息熵

$$H(X) = - \sum_{x \in X} p(x) \log p(x)$$



指导**无失真信源编码**方法设计

信道容量

$$C = \max_{p(x)} I(X; Y) \text{ s.t. } y|x \sim p(y|x)$$

$$C = W \log \left(1 + \frac{P}{N_0 W} \right)$$



指导**信道编码传输**方法设计

率失真函数

$$R(D) = \min_{p(\hat{x}|x) \in P_D} I(X; \hat{X}) \text{ s.t. } x \sim p(x)$$

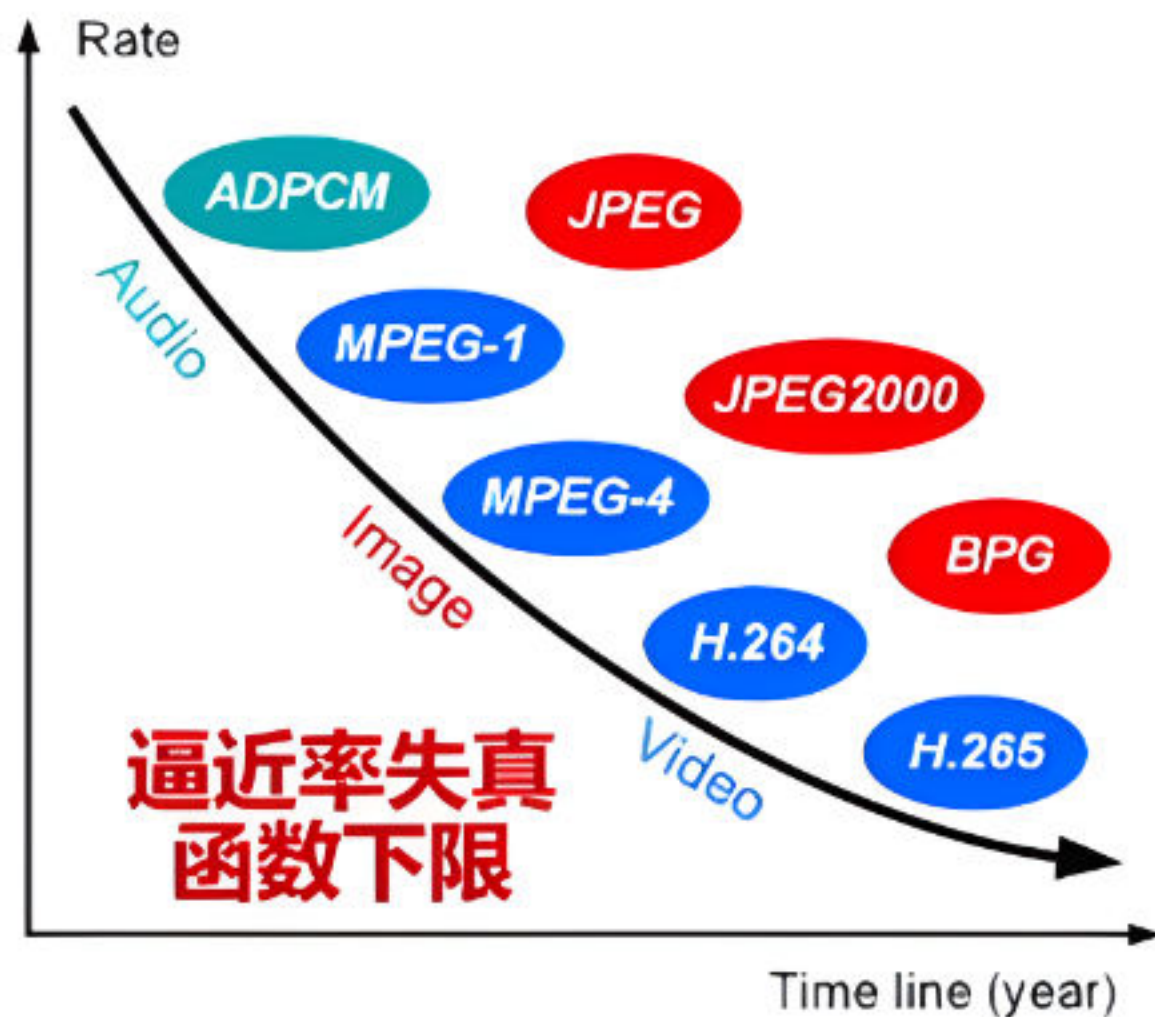
$$R(D) = \frac{1}{2} \log \frac{\sigma^2}{D}$$



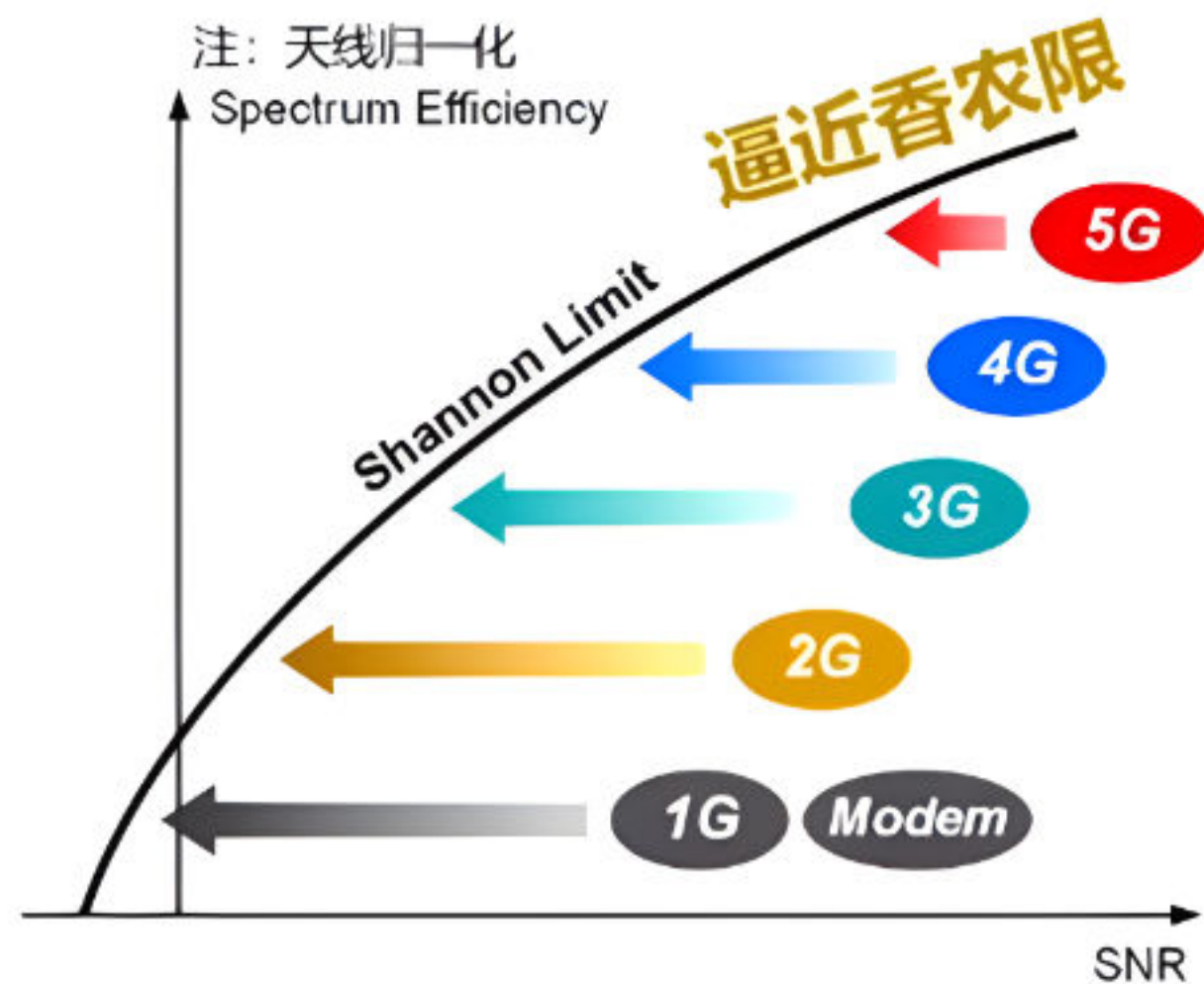
指导**限失真信源编码**方法设计

当今通信系统已逼近经典信息论预言的理论极限

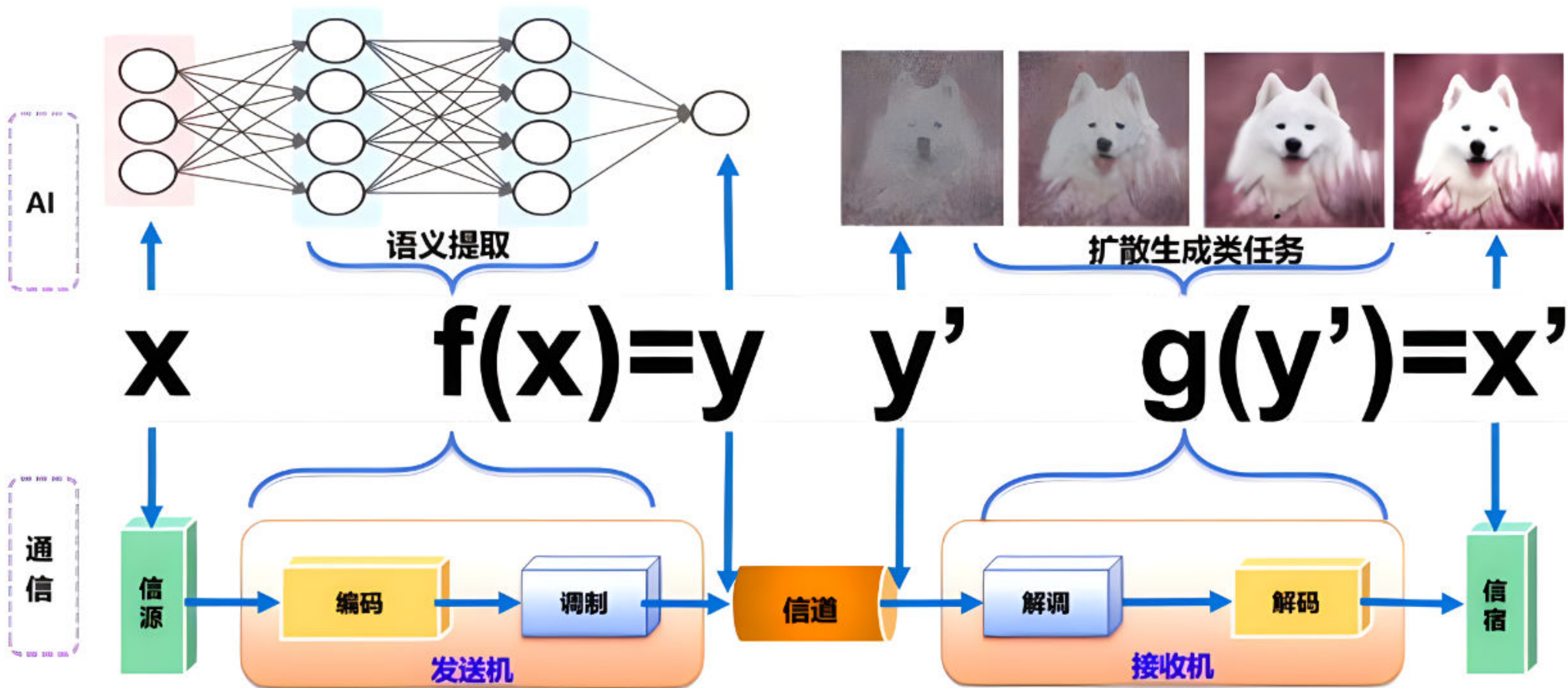
- 现有无失真/限失真信源编码方法已经**逼近语法信息熵/率失真函数极限**，继续压缩复杂度开销巨大但收效甚微



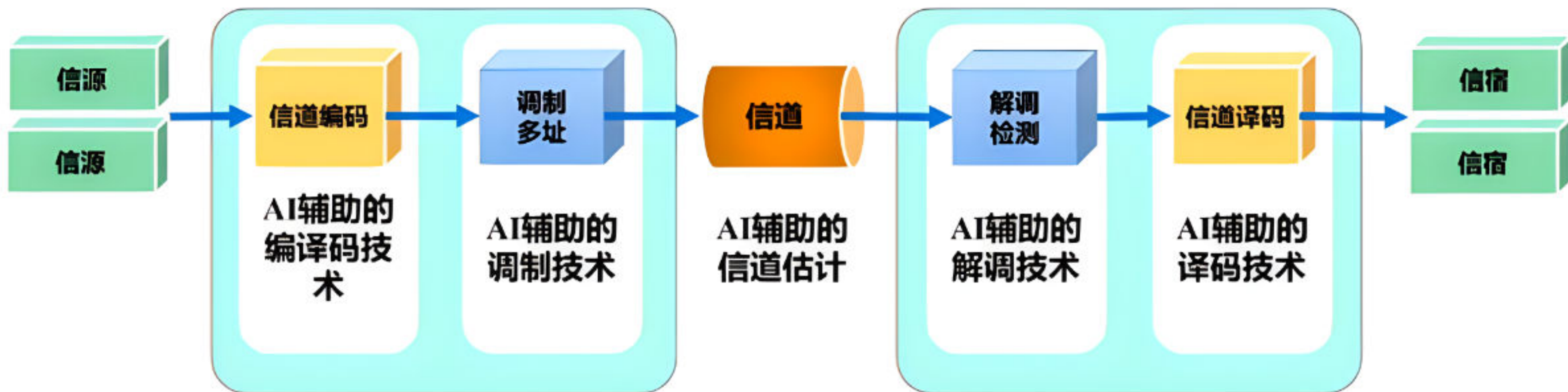
- 现有信道编码传输方法已经**逼近信道容量极限**，通过开拓频谱、提高功率、增加天线抬升容量限，代价巨大，**难以可持续发展**



二) AI与通信的差异



AI取代传统通信设计技术的简单操作



现有AI辅助空口设计主要针对单一模块技术提供优化，尤其是在接收端

□ 通信：模块的优化、成本低廉； AI：全局的优化、不计成本

AI与通信融合简单操作后的困境

Hoydis等将传统空口各模块连接起来，提出用人工智能进行整体研究，但除了成本和复杂度的增加，增益为何？

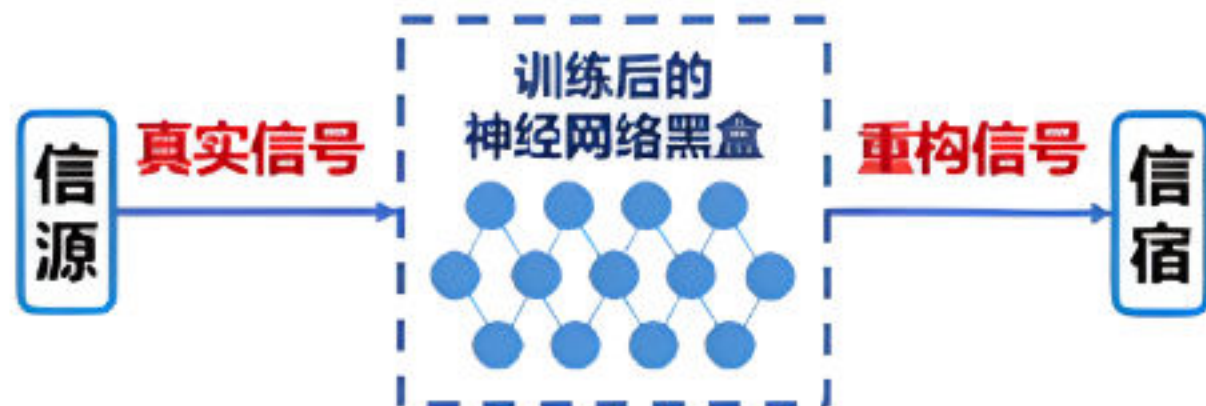


训练阶段



使用大量训练数据在神经网络黑盒输出端以最小误差重构输入信号

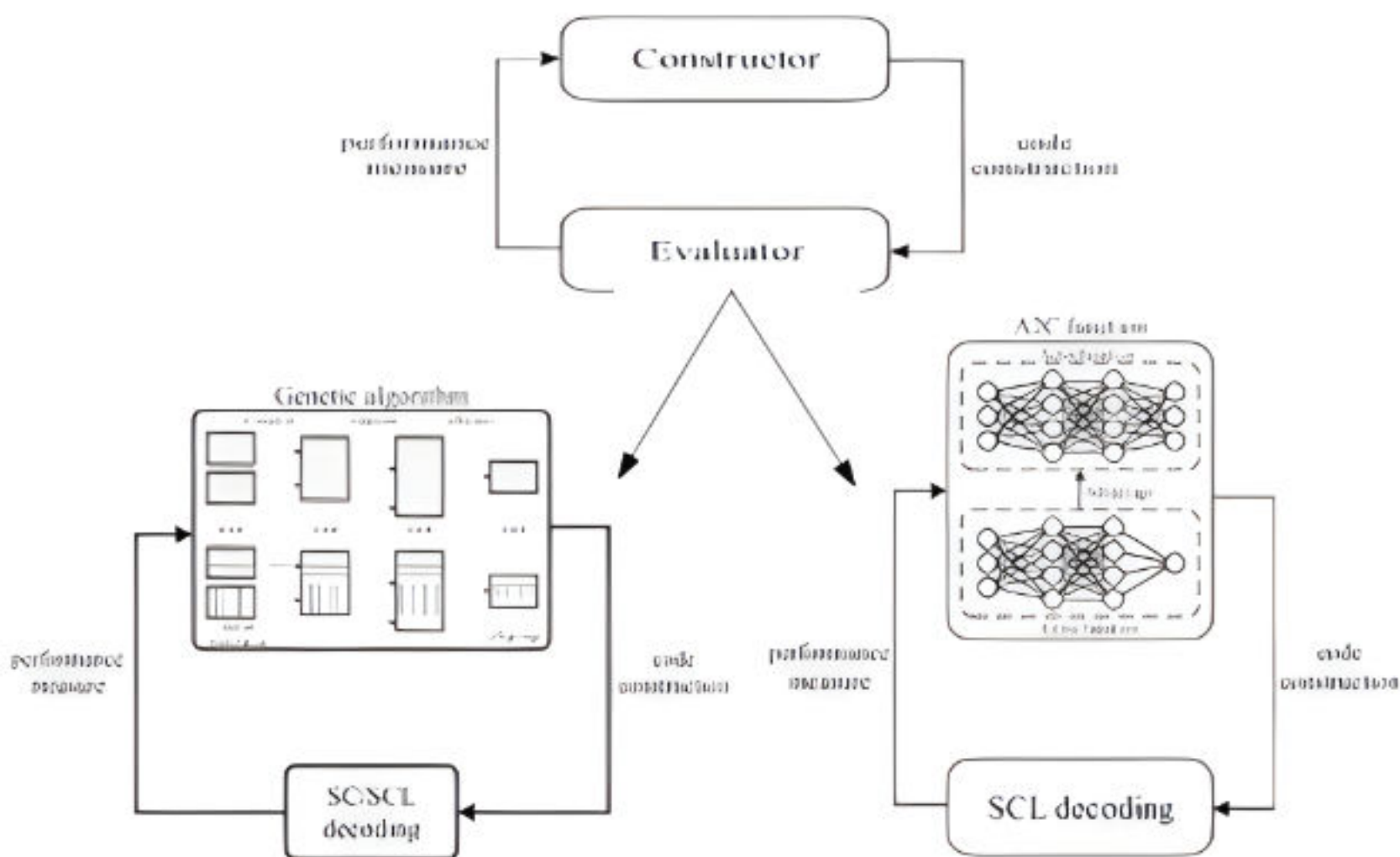
推理阶段



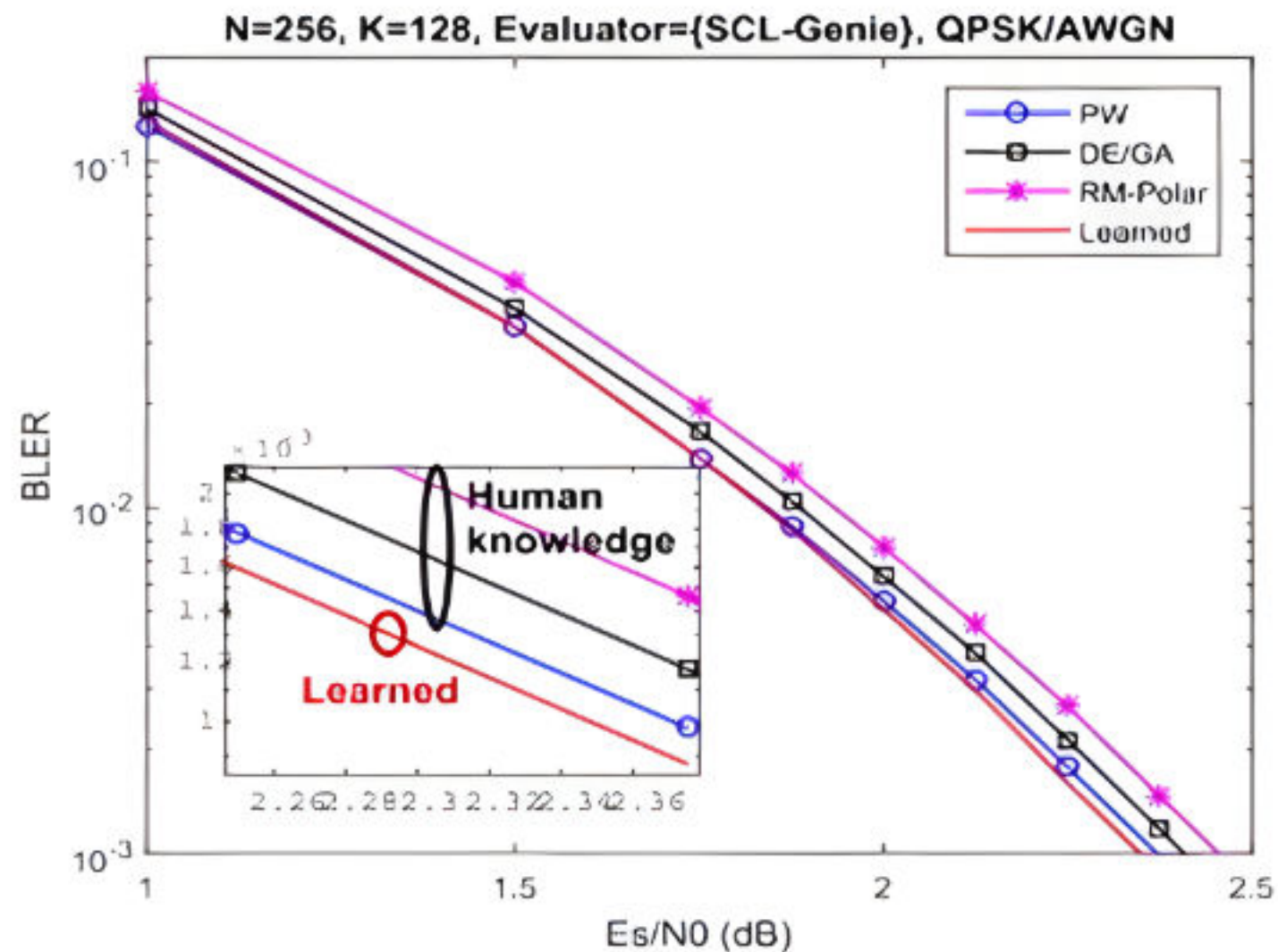
使用经过训练后的神经网络黑盒重构出真实信号

传统方法接近极限，简单用AI方法取得增益有限

- ❑ 基于构造器-评估器框架结合人工智能算法来设计纠错码。
- ❑ 性能超越经典编码，但增益非常有限。



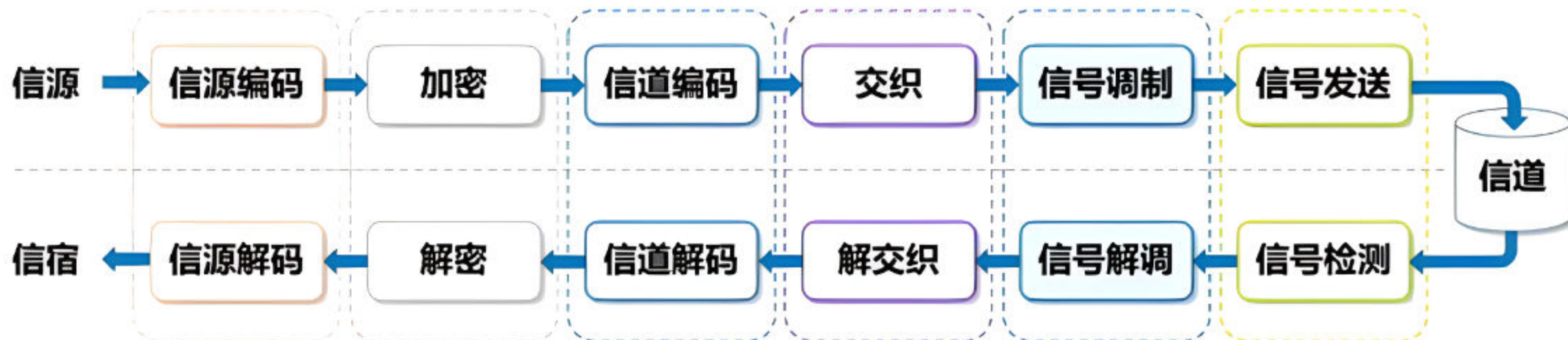
模型结构。SCL: successive cancellation list. Tso2014.



在SCL-Genie ($L=8$) 解码器下，学习的极性码结构（信息子信道）和{DE/GA, PW}之间的BLER比较。DE/GA采用3.25dB的 E_s/N_0 设计建造。

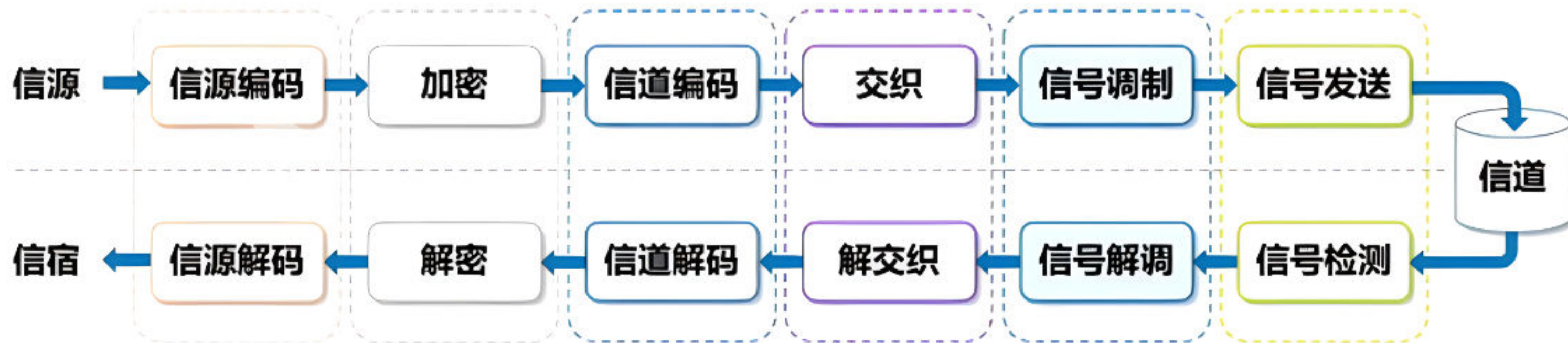
三) 当代通信体制的刚性

□ 当代通信体制采用**分离式设计**，将通信链路分解为**多级处理过程**，涉及**信息压缩**、**信息传输**、**信息安全**三方面，以分别提升**有效性**、**可靠性**和**安全性**



结构僵化，难以灵活适变

- 信源压缩、信道传输等模块，能够**分别**针对各自目标**实现最优化**，但这种结构僵化的多级处理模式**难以获得系统最优性能**：



结构僵化

实现角度

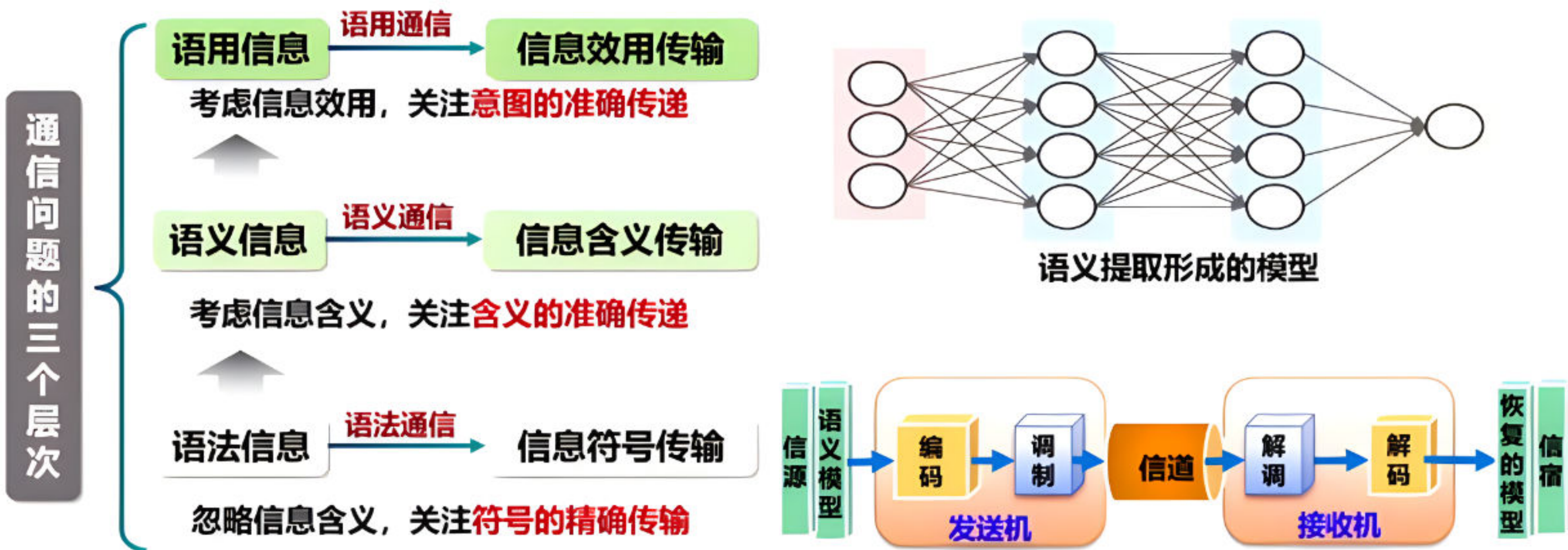
信号处理技术**堆叠**，处理链条**冗长**，复杂度**越来越高**，**难以持续**

理论角度

基于信息不增性原理，分离式设计**最多不损失性能**，并非**最优方案**

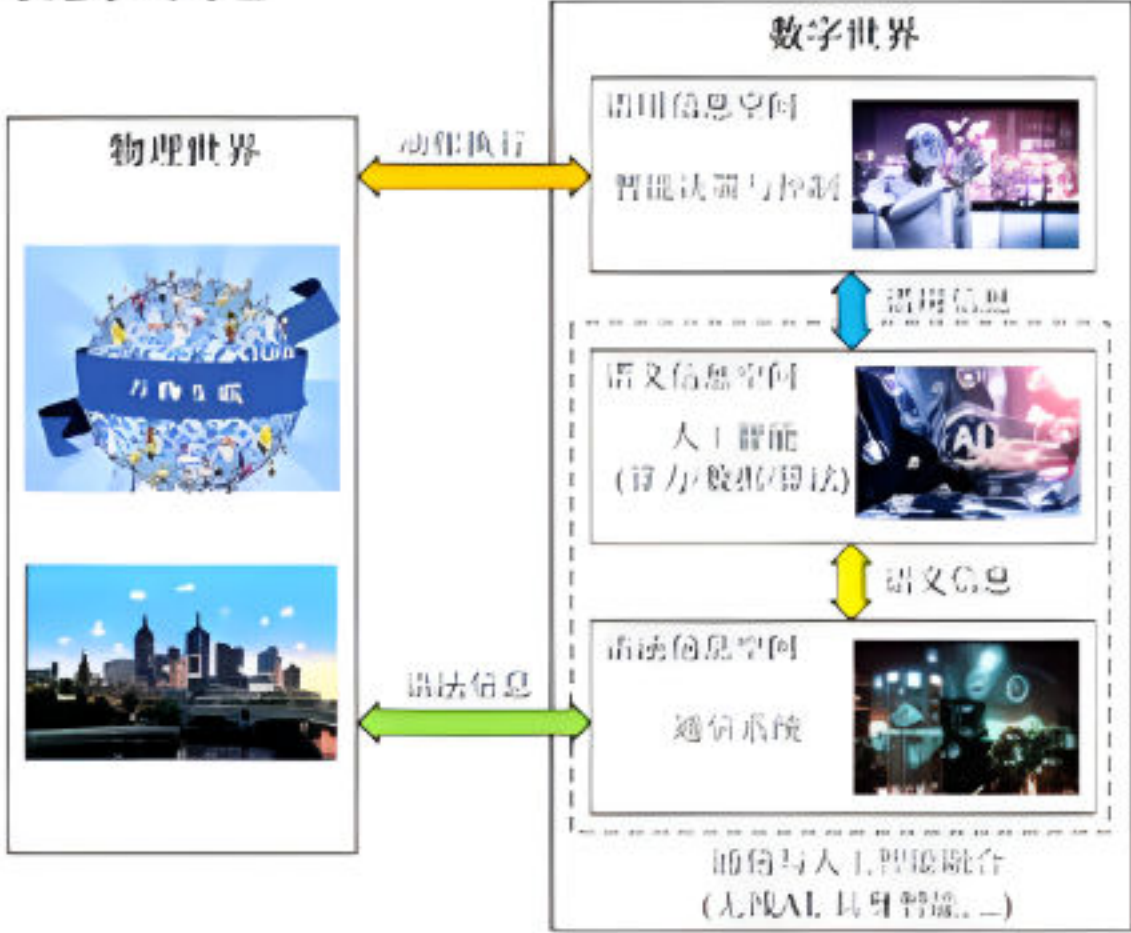
语义通信是突破三大瓶颈的有效途径

- 无损的高效传输是通信的基本关注点，而多模态信源语义的提取及处理是AI关注的问题。更高层次的语义信息是解决通信智能融合的手段



语义通信意义及数学基础

语义信息是通信与人工智能融合的关键



借助**语义信息**，**通信融合AI**将实现“最后一公里”的目标，推动无线AI、具身智能等应用的成熟与普及

《**语义通信的数学理论**》建立了**语义信息理论**的**数学框架**，是经典信息论的自然延伸

发表于中国《通信学报》2024年6月刊

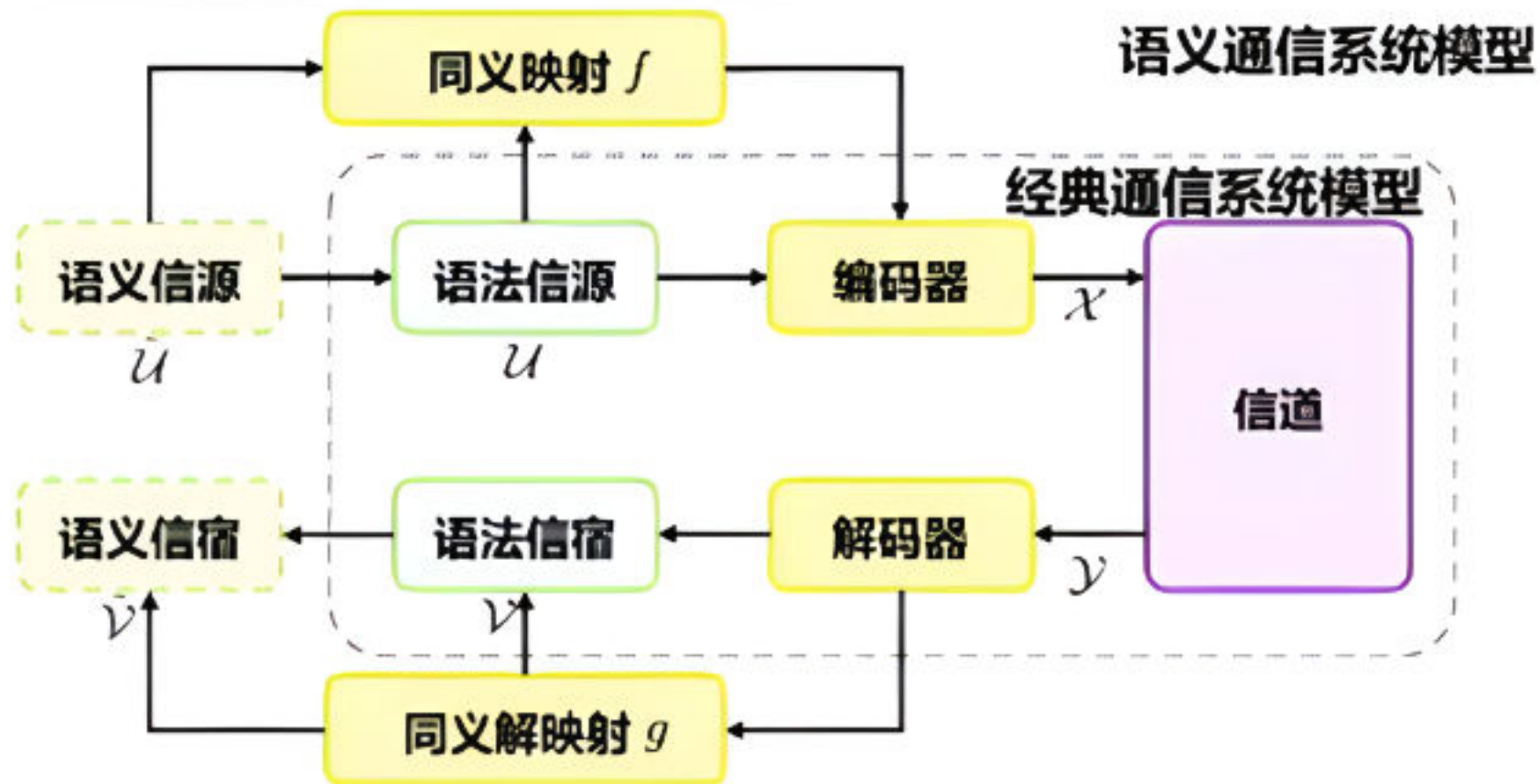


科学依据

论文指出，**语义通信的基本假设**为：

- **1. 语法表征性**：任意可观察信息都是语法信息，语义信息表征必然依赖于语法信息
- **2. 语义同义性**：同义性是语义信息根本特征，同义映射是语义到语法映射的基本方式

语义通信的基本模型



与经典通信系统相比，语义通信系统：

- 引入了**语义信源与语义信宿**
致使通信系统的**设计目标**变更为**语义信息的高效可靠传输**
- 引入了**同义映射与同义解映射**
作为语义背景知识，**描述语义信息与语法信息之间的关系**，同时**指导编解码器设计与优化**

语义通信的基本模型揭示了**语义信息与语法信息之间的辩证关系**：

- ① **语义信息为语法信息的一种上级概念**，**表示语法信息背后的含义**
 - **语义信息**是隐藏在语法信息背后的含义，**不能被直接观察或处理**，但可以从语法信息中感知与推断。
- ② **语法信息是语义信息在自然世界中的表现形式**
 - 信息系统中一切的数据形态，包括文本、语音、图像或者视频，**都是语法信息**；
 - 同一**语义信息**可能存在多种不同的**语法表现形式**。

语义信息的两个基本特性

□ 语义信息继承了语法信息的**概率属性**，但其本质是**同义性**：

- **概率属性（继承）：**

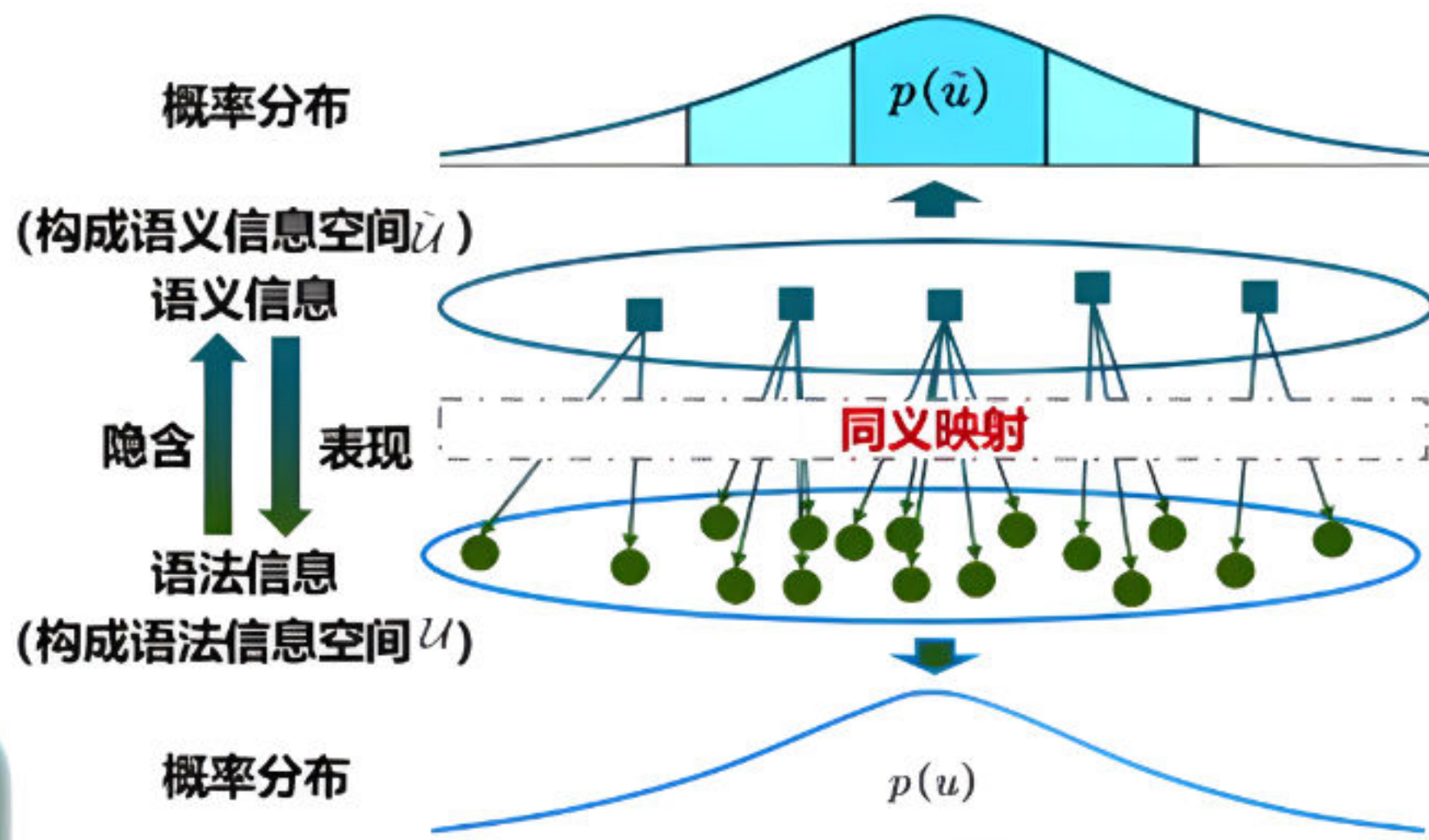
由于语法信息具有概率属性，因此作为上级概念的语义信息必然具有概率特征。

- **同义特征（特有）：**

同一种语义信息通常具有多种语法表现形式，**语义信息与语法信息之间存在同义映射关系**。这一特征普遍存在。

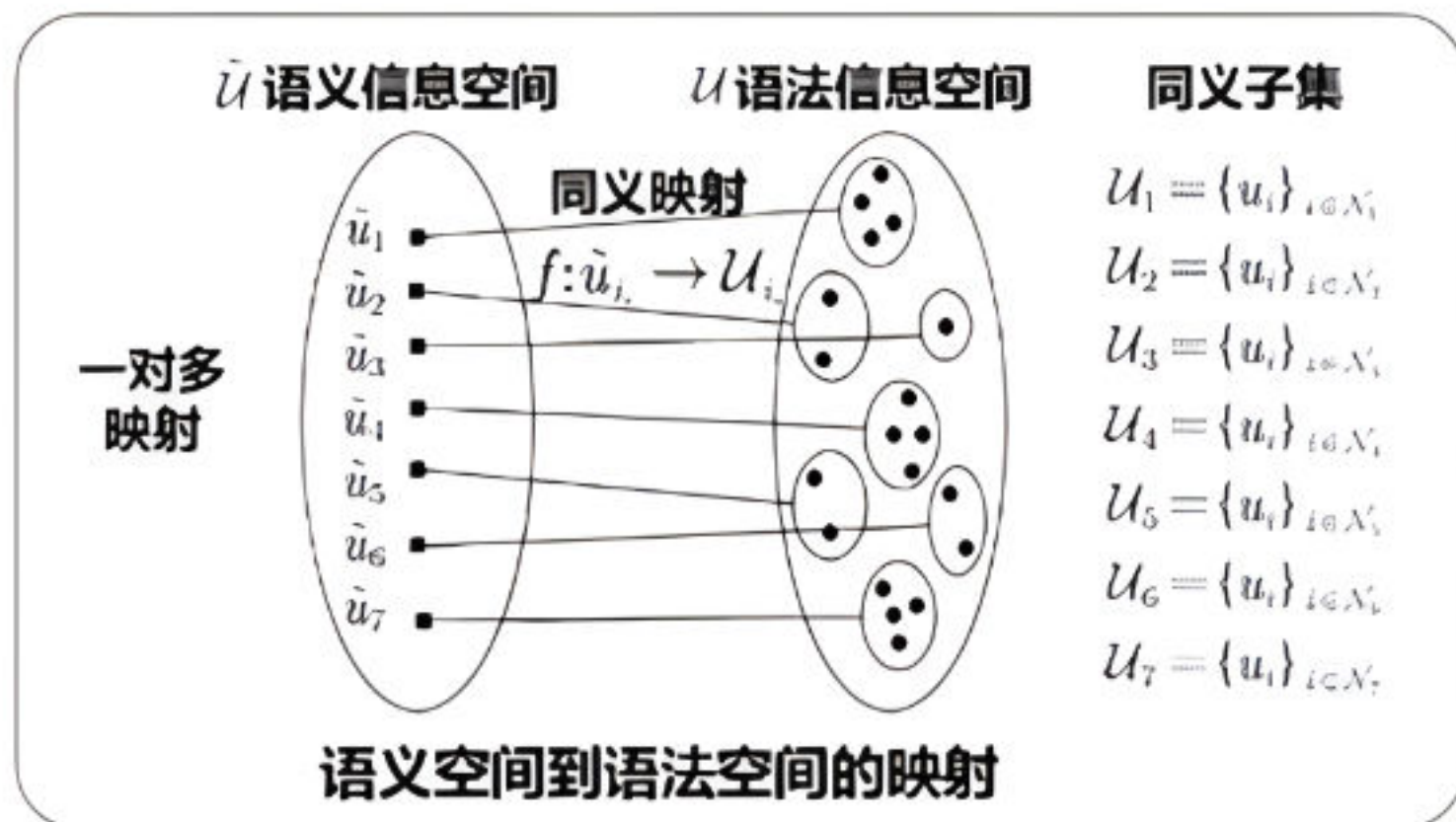
美国三所大学（西北大学、斯坦福大学、康奈尔大学）共同开发的**论文创新性评价模型**指出：

“我们确信这项工作（同义映射）能够为所在的研究领域产生深远影响，并将为世界各地的研究人员带来激发。”



Once again, congratulations on your achievement. We are certain that your work will have an impact on the future of your field and will inspire fellow researchers worldwide.

语义通信的度量：语义熵



□ 语义熵:

$$\begin{aligned}
 H_s(\tilde{U}) &= - \sum_{i=1}^{\tilde{N}} p(\mathcal{U}_i) \log p(\mathcal{U}_i) \\
 &\quad \text{同义集合} \\
 &= - \sum_{i=1}^{\tilde{N}} \sum_{u_i \in \mathcal{U}_i} p(u_i) \log \underbrace{\sum_{u_i \in \mathcal{U}_i} p(u_i)}_{\text{同义符号概率和}} \\
 &\leq - \sum_{i=1}^{\tilde{N}} \sum_{u_i \in \mathcal{U}_i} p(u_i) \log p(u_i) = H(U)
 \end{aligned}$$

语义熵与语法熵的关系: $H_s(\tilde{U}) \leq H(U)$

语义信息度量是经典信息度量的自然推广!

□ 语义互信息: 包括上语义互信息和下语义互信息

➤ 上语义互信息:

$$I^s(\tilde{U}, \tilde{V}) = H(U) + H(V) - H_s(\tilde{U}, \tilde{V})$$

对应语义信道容量

$$C_s = \max_{p(x)} I^s(\tilde{X}, \tilde{Y}) = \max_{p(x)} [H(X) + H(Y) - H_s(\tilde{X}, \tilde{Y})]$$

与香农信道容量的关系: $C_s \geq C$

➤ 下语义互信息

$$I_s(\tilde{U}, \tilde{V}) = H_s(\tilde{U}) + H_s(\tilde{V}) - H(U, V)$$

对应语义率失真函数

$$R_s(D) = \min_{p(\hat{x}|\mathbf{y}) \in P_D} I_s(\tilde{X}, \tilde{Y}) = \min_{p(\hat{x}|\mathbf{y}) \in P_D} [H_s(\tilde{X}) + H_s(\tilde{Y}) - H(X, Y)]$$

与语法率失真函数的关系: $R_s(D) \leq R(D)$

语义熵的重要意义

□ 第一定理：语义无失真信源编码定理

给定语义信源 $\tilde{U}$ 和语法信源 U 及二者之间的同义映射关系 $f: \tilde{U} \rightarrow U$ ，如果语义信源编码速率 $R \geq H_s(\tilde{U})$ ，则存在一系列 $(2^{n(R+R_s)}, n)$ 码，当码长 $n \rightarrow \infty$ 时，译码差错概率接近于0。相反，当 $R < H_s(\tilde{U})$ 时，对任意 $(2^{n(R+R_s)}, n)$ 码，当码长 n 充分长时，译码差错概率趋近于1。

□ 第二定理：语义信道编码定理

给定语义信道 $\{\tilde{X}, X, Y, \tilde{Y}, f_{xy}, p(Y|X)\}$ ，如果信道编码速率 $R \leq C_s$ ，则存在 $(2^{n(R+R_s)}, n)$ 码满足同义集合内码字速率 $0 \leq R_s \leq H(X, Y) - H_s(\tilde{X}, \tilde{Y})$ ，当码长 $n \rightarrow \infty$ 时，译码差错概率接近于0。相反，当 $R > C_s$ 时，对任意 $(2^{n(R+R_s)}, n)$ 码，当码长 n 充分长时，译码差错概率趋近于1。

□ 第三定理：语义限失真信源编码定理

给定语法信源 $X \in p(x)$ 及其相应的语义信源 $\tilde{X}$ ，在同义映射 f 及有界语义失真函数 $d_s(\tilde{x}, \hat{\tilde{x}})$ 的条件下，如果语义信源编码速率 $R \geq R_s(D)$ ，则存在 $(2^{n(R+R_s)}, n)$ 码，当码长 $n \rightarrow \infty$ 时，语义失真满足 $\mathbb{E}d_s(\tilde{x}, \hat{\tilde{x}}) \leq D$ 。相反，当 $R < R_s(D)$ 时，对任意 $(2^{n(R+R_s)}, n)$ 码，当码长 n 充分长时，语义失真 $\mathbb{E}d_s(\tilde{x}, \hat{\tilde{x}}) > D$ 。

- 提出了语义压缩极限的基础理论

无失真：

$$H(U) \rightarrow H_s(\tilde{U})$$

限失真：

$$R(D) \rightarrow R_s(D)$$

- 将人工智能与通信纳入统一的数学框架，构建完整的理论体系

- 提出了信道容量扩展的基础理论
容量限：

$$C \rightarrow C_s$$

- 为通信理论与通信技术的进一步演进提供新的发展空间

缜密的数学推导证明语义通信容量突破了经典

□ 信道容量的提升

- 香农信道容量（限带高斯信道）：

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0 W} \right)$$

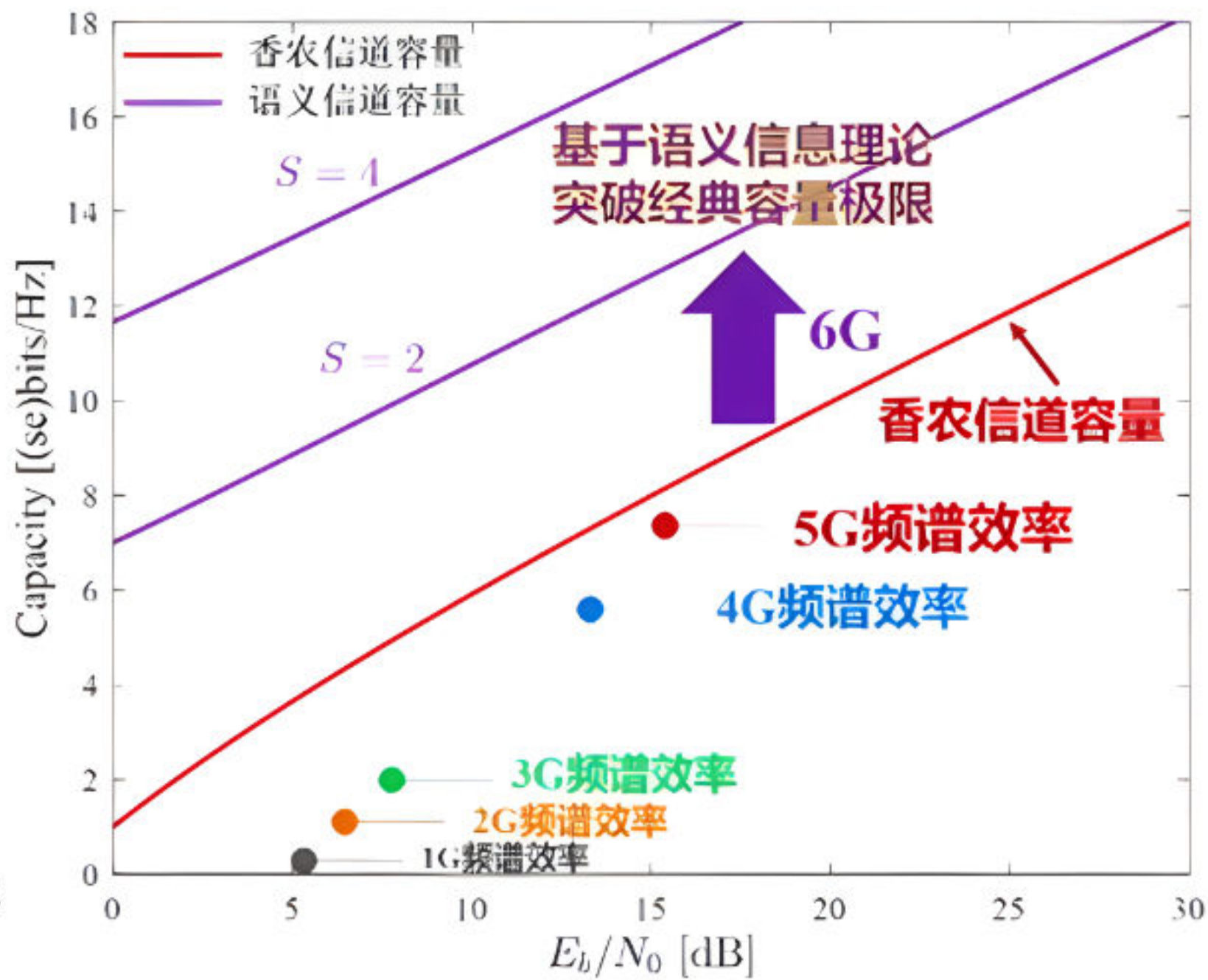
- 现有通信技术已经逼近香农信道容量，目前已经成为通信系统的设计瓶颈。

↓ 自然过渡

- 语义信道容量（限带高斯信道）：

$$C_s = W \log_2 \left[S^4 \left(1 + \frac{P}{N_0 W} \right) \right] \quad \text{平均同义区间长度} \\ \text{表征信息辨识能力}$$
$$= W \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0 W} \right) + W \log_2 [S^4]$$

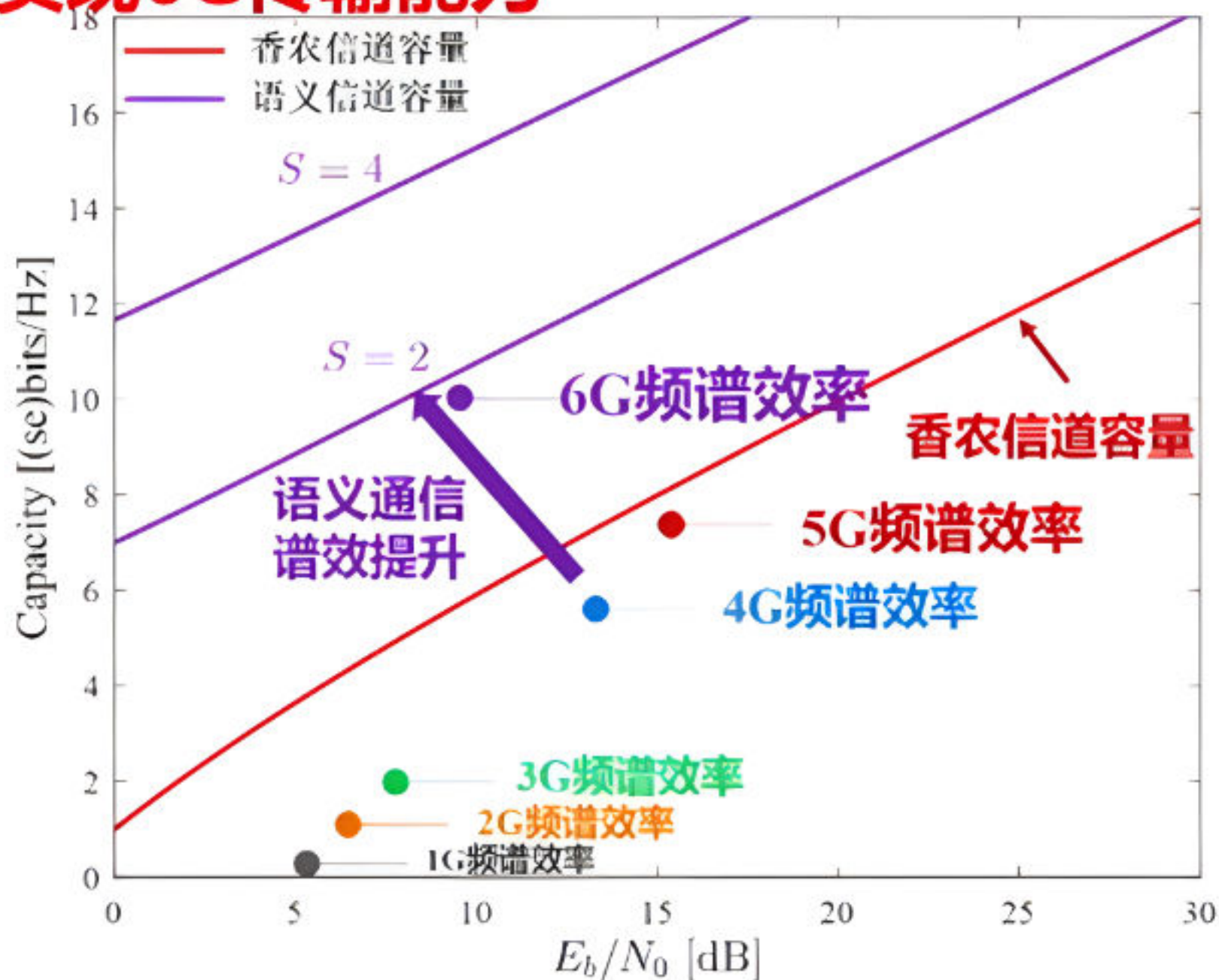
- 当 $S = 1$ 时，语义信道容量公式退化为香农信道容量公式；当 $S > 1$ 时，则突破香农信道容量瓶颈。
- 有望成为未来无线通信系统设计与优化的理论指导公式。



高斯信道的香农信道容量和语义信道容量

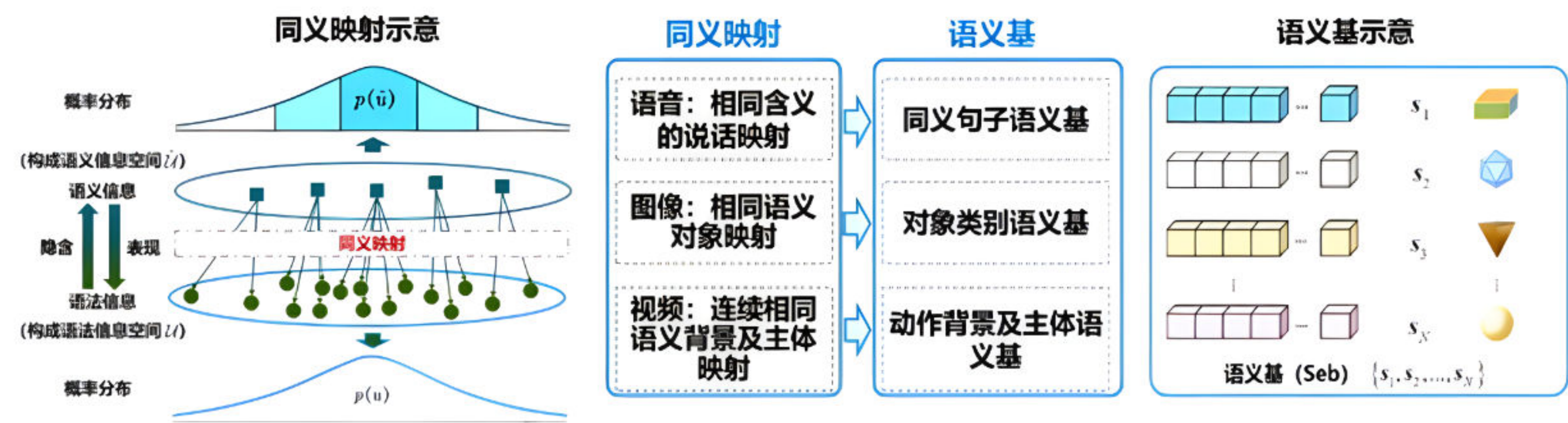
语义通信是6G及未来通信的“拐点技术”

□ 基于同义映射，语义通信可以大幅度提高通信系统的频谱效率，**从而可以赋能4G通信链路实现6G传输能力**



语义基：同义映射从数学理论走向工程科学

- 同义映射是数学模型，语义基是物理模型
- 同义映射是语义空间与语法空间上的一般性关系，属于集合论的基本性质，具有普适性，能够涵盖神经网络模型的各种表征与变换。从同义映射出发，针对不同的模态数据，用**语义基物理模型表征语义信息**，类比比特

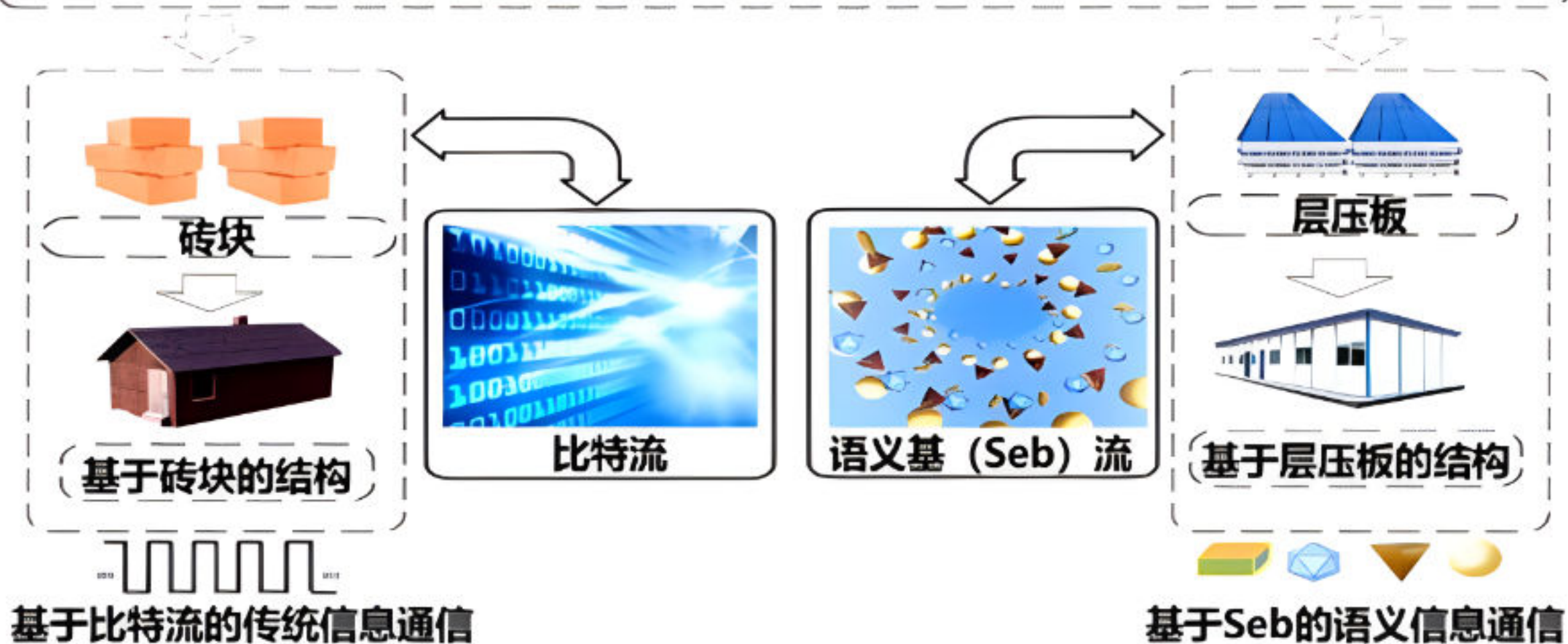


[1]牛凯, 张平. 语义通信的数学理论[J]. 通信学报. 2024, 6.

语义基：语义信息可表征的物理模型

- **语义基(Seb)**是信息的基础构成单元，是信息柔性表征的基础
- 语义基粒度随通信意图、背景知识等柔性可变

信息的**比特组织形式**和**语义基组织形式**，类似房屋的不同建造模式



中国工程院院刊封面文章



ESI高被引、热点论文
Engineer期刊2022信息领域
第一被引用论文
中国金色开放获取高下载论文

柔性化智能设计

- 以**系统论**为指导，采用**整体优化**方法，将多模态信源信息结构特征与无线传输信道特性适配，通过信源信道联合编码等设计，显著提升传输效率
- 信号在**统一的语义空间**中采用语义基表征，进行贯通式优化设计，扩展理论极限，显著提升性能

广义信息论：扩展、包含香农信息论，从讨论信息的通信能力扩展到**可理解信息的信源信宿相似性关系**



语义通信系统：一套规则，基于语义上下文关联补偿传输差错，提升信息传输能力。

模分多址(MDMA)

- **模型信息空间**: M(Model/Mixed/Meaning)-DMA, 从**语义角度以模型方式**将信源高维度信息提取, 进而构建针对多模态信源和信道特征的**模型信息空间**
- **用户区分方式**: 传统多址考虑时、频、功、空等物理资源实现多用户区分, 而MDMA是基于**智能技术赋能**, 充分利用**信源信道语义域特征**的新型多址方式

$$C = T \cdot B \sum_{k=0}^n \log_2 \left(1 + \frac{P_k}{\sigma^2} \mathbf{H} \Phi_k \mathbf{H}^H \right)$$

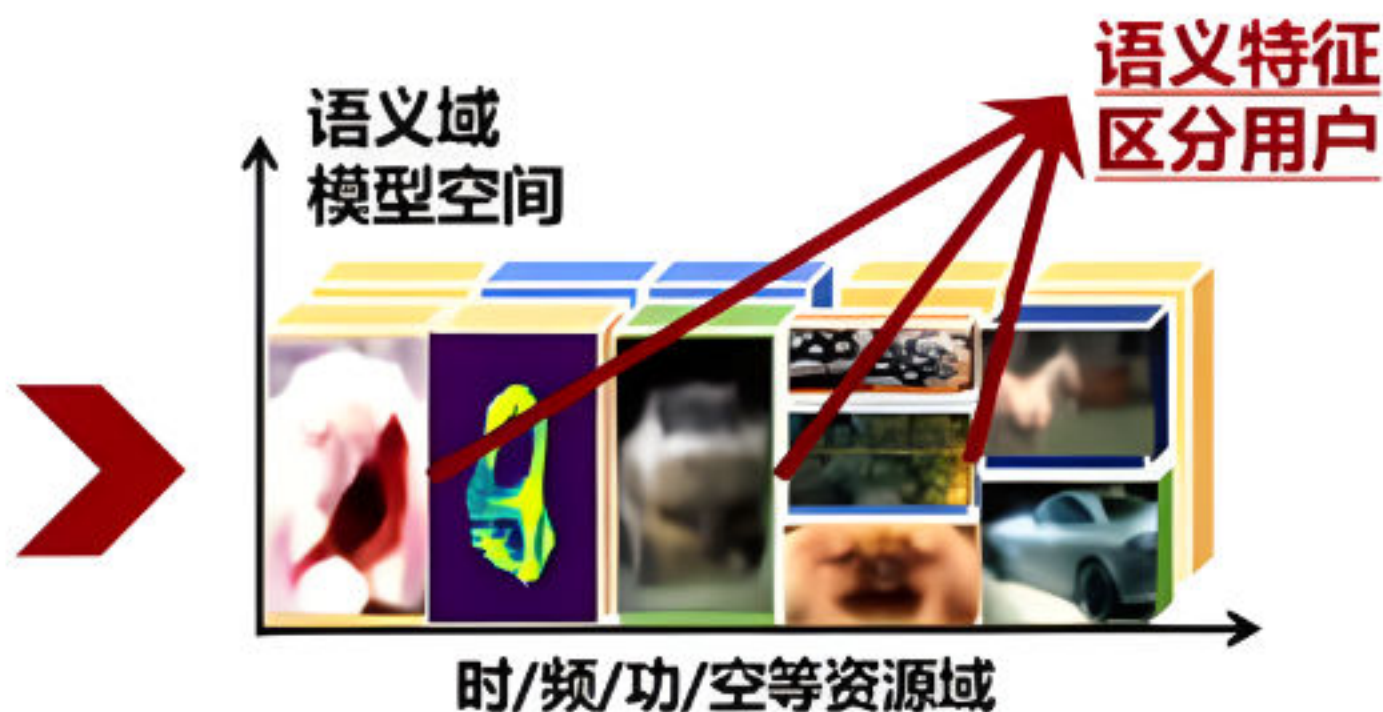
T : **时域**资源, 代表TDMA多址技术

B : **频域**资源, 代表FDMA/OFDM多址技术

P : **功率**资源, 代表NOMA多址技术

H : **空域**资源, 代表SDMA多址技术

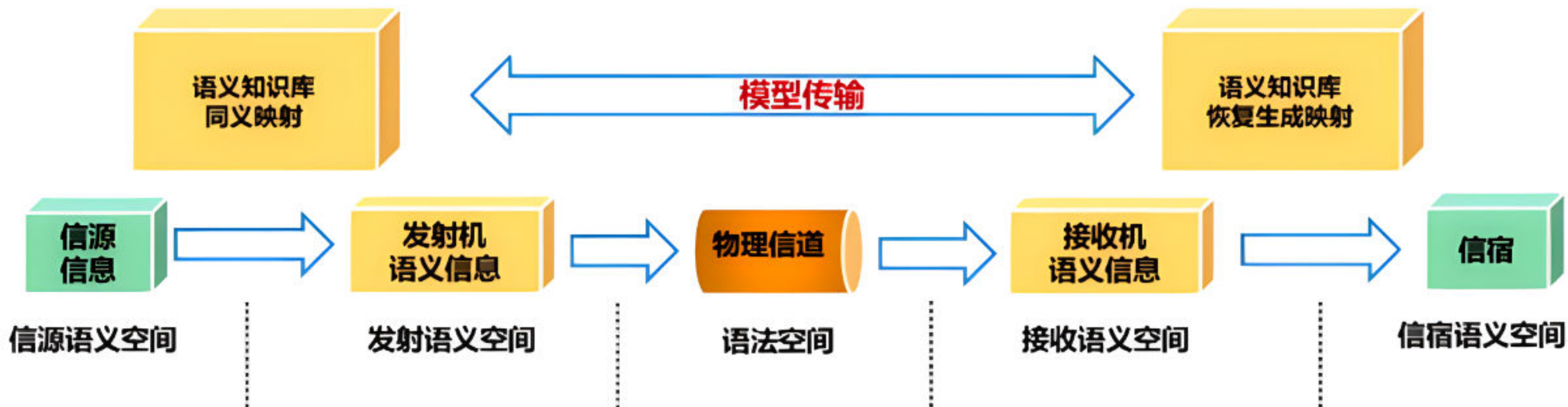
Φ : **语义域**资源, 代表MDMA多址技术



MDMA通过模型体现的语义信息特征实现用户区分

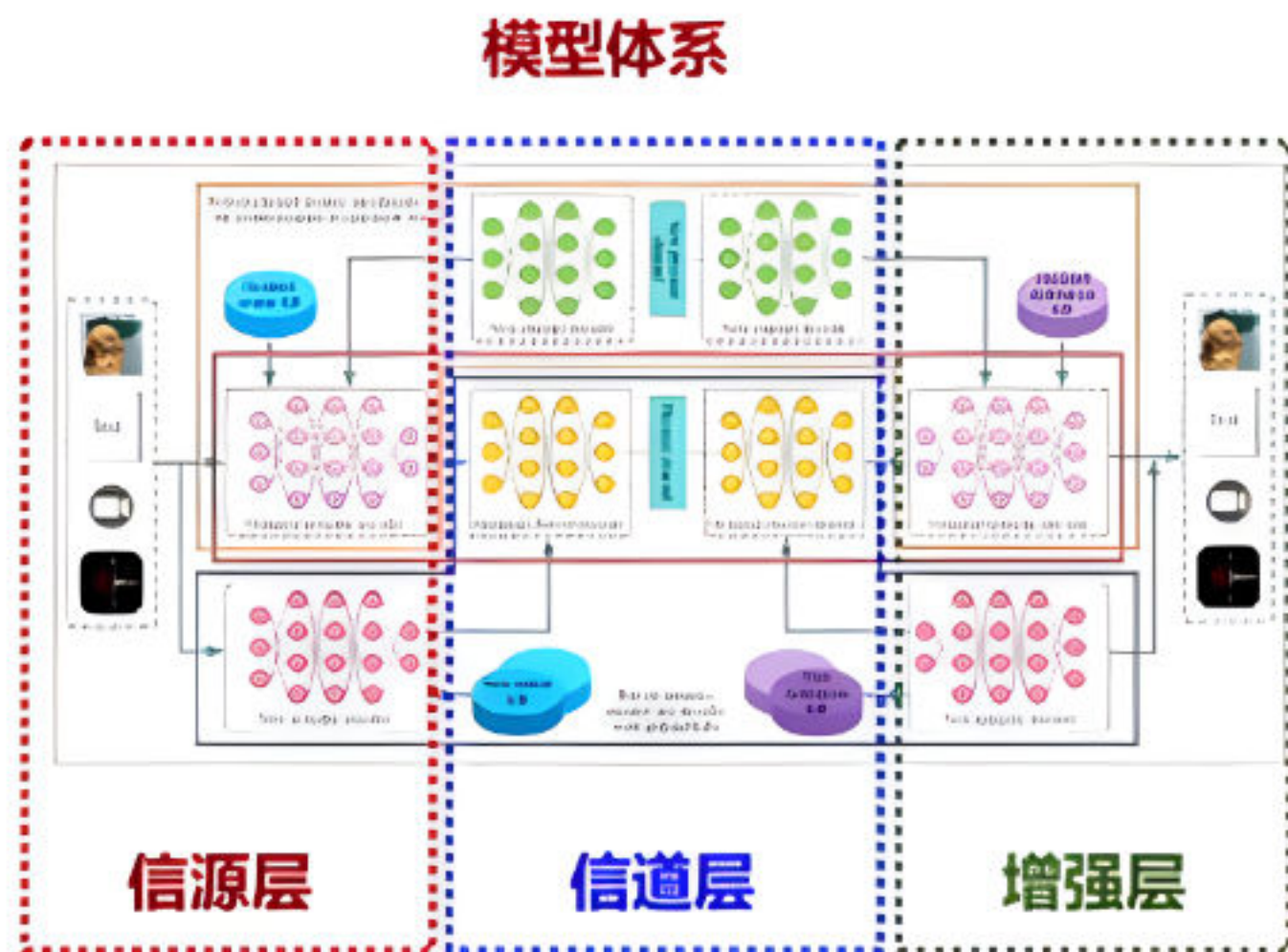
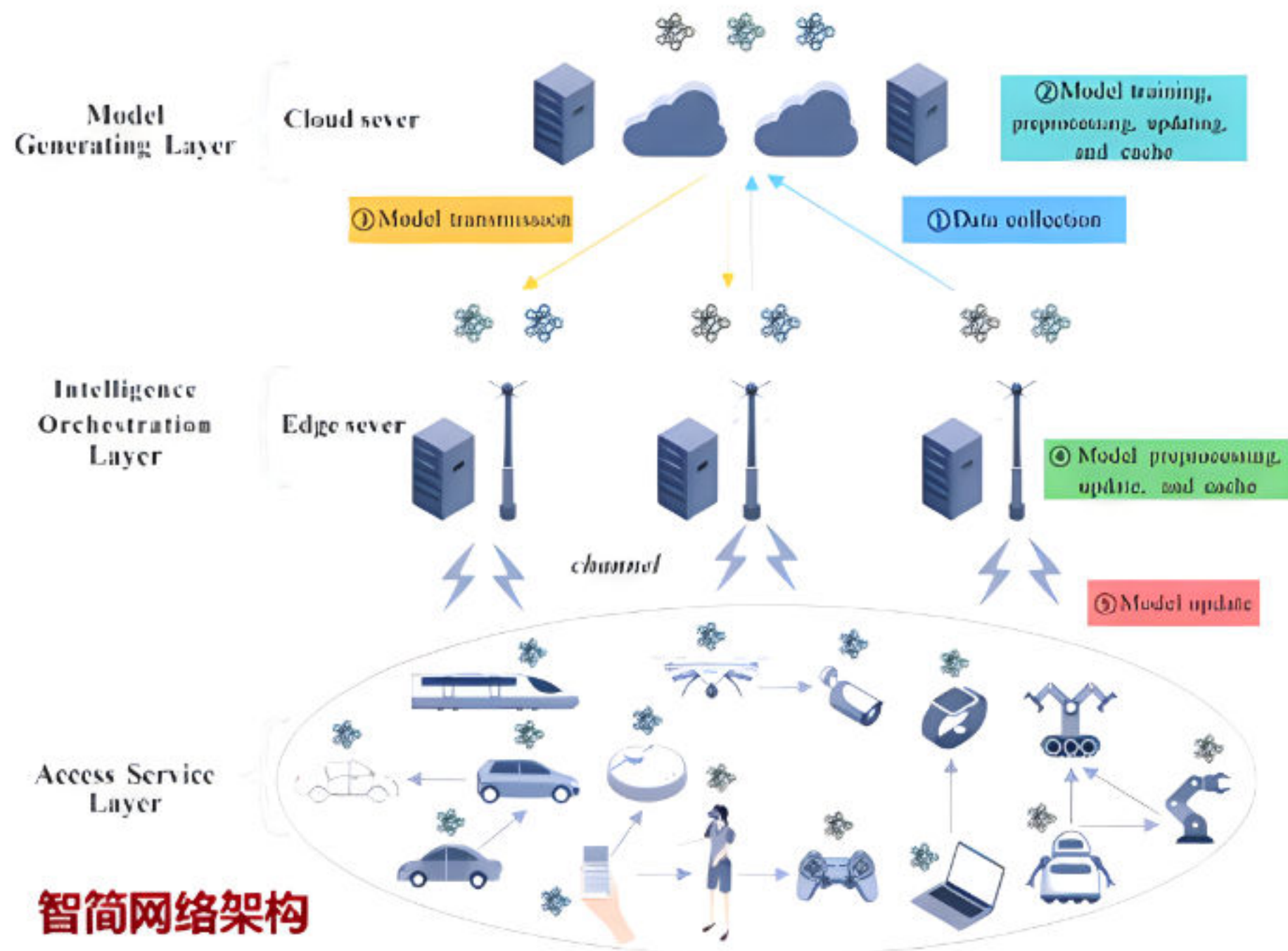
语义模型传输体系小结

- 同义映射：信源语义空间到发射语义空间的压缩映射。恢复生成映射：接收语义空间到信宿语义空间的放大映射。
- 模型体系：各空间映射的方法总集合，是一种**语义基**的构建方法，支撑智能通信深度融合。
- 模型传输：各空间映射方法的相互匹配，**知识替代比特成为传输的量值**。



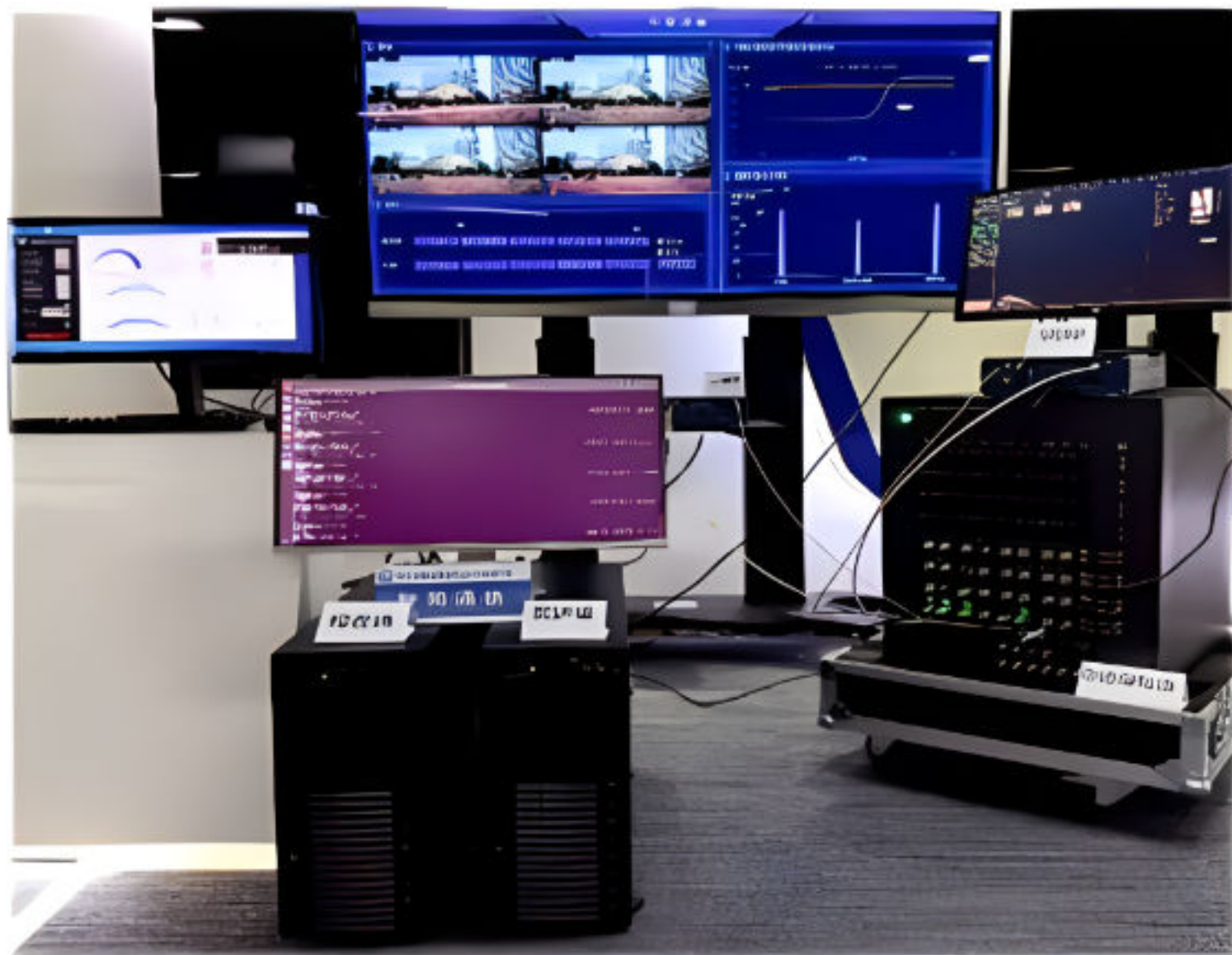
知识（智能）的传输形成了新的通信范式

- ❑ 基于模型体系的智能网络：在**网络内实现承载模型的分发、更新与演化**
- ❑ 由于通信信道的存在，使得智能化的模型分发存在“最后一公里”的事实



语义通信的**实用性**架构

▣ 搭建了语义通信试验验证平台，开展了**端到端语义通信**关键技术验证



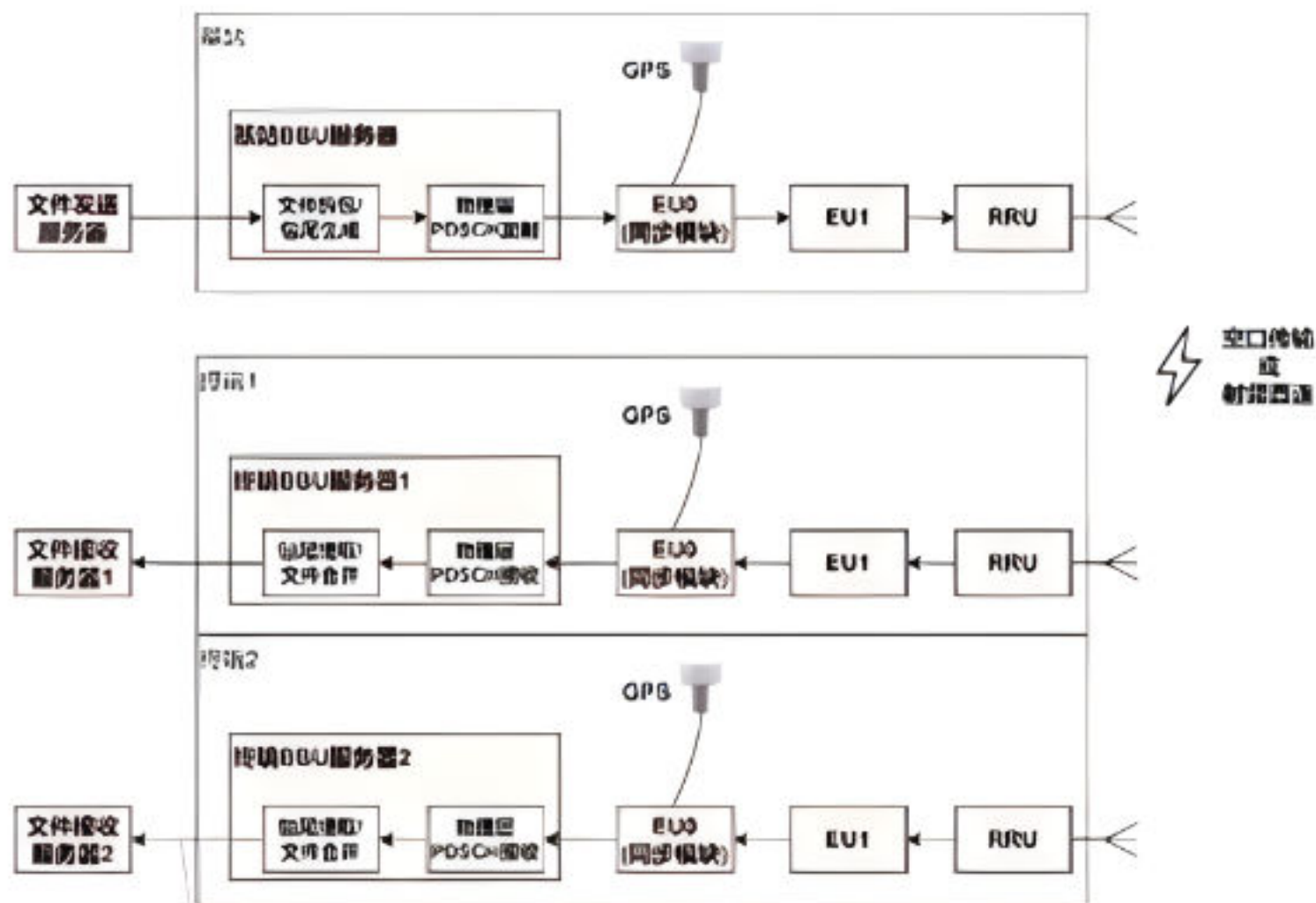
模分多址 (MDMA) 多用户样机

- 基于5G链路建成两用户模分多址样机，完成MDMA上下行链路系统验证
- 两用户完全共用5G同一时频资源，MDMA高清视频传输质量优于5G通信方式



语义通信对链路传输能力的提升验证

通过频谱仪实时监测，基于MDMA技术的两用户使用了相同5G时频资源块，EVM指标与单用户时一致，频谱效率提高 2 倍

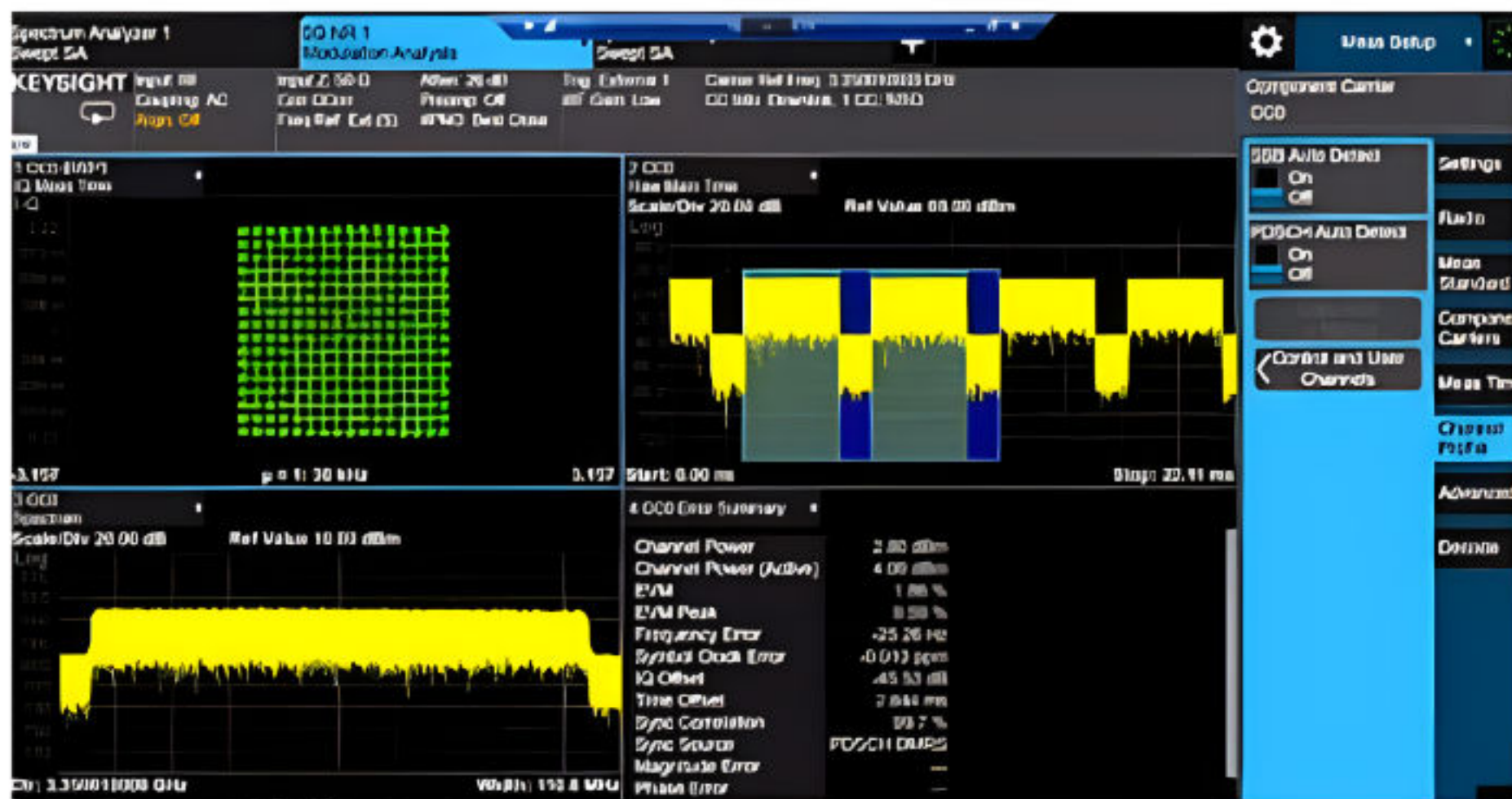


1995a, 1995b, 1995c, 1995d, 1995e, 1995f, 1995g, 1995h, 1995i, 1995j, 1995k, 1995l, 1995m, 1995n, 1995o, 1995p, 1995q, 1995r, 1995s, 1995t, 1995u, 1995v, 1995w, 1995x, 1995y, 1995z, 1996a, 1996b, 1996c, 1996d, 1996e, 1996f, 1996g, 1996h, 1996i, 1996j, 1996k, 1996l, 1996m, 1996n, 1996o, 1996p, 1996q, 1996r, 1996s, 1996t, 1996u, 1996v, 1996w, 1996x, 1996y, 1996z, 1997a, 1997b, 1997c, 1997d, 1997e, 1997f, 1997g, 1997h, 1997i, 1997j, 1997k, 1997l, 1997m, 1997n, 1997o, 1997p, 1997q, 1997r, 1997s, 1997t, 1997u, 1997v, 1997w, 1997x, 1997y, 1997z, 1998a, 1998b, 1998c, 1998d, 1998e, 1998f, 1998g, 1998h, 1998i, 1998j, 1998k, 1998l, 1998m, 1998n, 1998o, 1998p, 1998q, 1998r, 1998s, 1998t, 1998u, 1998v, 1998w, 1998x, 1998y, 1998z, 1999a, 1999b, 1999c, 1999d, 1999e, 1999f, 1999g, 1999h, 1999i, 1999j, 1999k, 1999l, 1999m, 1999n, 1999o, 1999p, 1999q, 1999r, 1999s, 1999t, 1999u, 1999v, 1999w, 1999x, 1999y, 1999z, 2000a, 2000b, 2000c, 2000d, 2000e, 2000f, 2000g, 2000h, 2000i, 2000j, 2000k, 2000l, 2000m, 2000n, 2000o, 2000p, 2000q, 2000r, 2000s, 2000t, 2000u, 2000v, 2000w, 2000x, 2000y, 2000z, 2001a, 2001b, 2001c, 2001d, 2001e, 2001f, 2001g, 2001h, 2001i, 2001j, 2001k, 2001l, 2001m, 2001n, 2001o, 2001p, 2001q, 2001r, 2001s, 2001t, 2001u, 2001v, 2001w, 2001x, 2001y, 2001z, 2002a, 2002b, 2002c, 2002d, 2002e, 2002f, 2002g, 2002h, 2002i, 2002j, 2002k, 2002l, 2002m, 2002n, 2002o, 2002p, 2002q, 2002r, 2002s, 2002t, 2002u, 2002v, 2002w, 2002x, 2002y, 2002z, 2003a, 2003b, 2003c, 2003d, 2003e, 2003f, 2003g, 2003h, 2003i, 2003j, 2003k, 2003l, 2003m, 2003n, 2003o, 2003p, 2003q, 2003r, 2003s, 2003t, 2003u, 2003v, 2003w, 2003x, 2003y, 2003z, 2004a, 2004b, 2004c, 2004d, 2004e, 2004f, 2004g, 2004h, 2004i, 2004j, 2004k, 2004l, 2004m, 2004n, 2004o, 2004p, 2004q, 2004r, 2004s, 2004t, 2004u, 2004v, 2004w, 2004x, 2004y, 2004z, 2005a, 2005b, 2005c, 2005d, 2005e, 2005f, 2005g, 2005h, 2005i, 2005j, 2005k, 2005l, 2005m, 2005n, 2005o, 2005p, 2005q, 2005r, 2005s, 2005t, 2005u, 2005v, 2005w, 2005x, 2005y, 2005z, 2006a, 2006b, 2006c, 2006d, 2006e, 2006f, 2006g, 2006h, 2006i, 2006j, 2006k, 2006l, 2006m, 2006n, 2006o, 2006p, 2006q, 2006r, 2006s, 2006t, 2006u, 2006v, 2006w, 2006x, 2006y, 2006z, 2007a, 2007b, 2007c, 2007d, 2007e, 2007f, 2007g, 2007h, 2007i, 2007j, 2007k, 2007l, 2007m, 2007n, 2007o, 2007p, 2007q, 2007r, 2007s, 2007t, 2007u, 2007v, 2007w, 2007x, 2007y, 2007z, 2008a, 2008b, 2008c, 2008d, 2008e, 2008f, 2008g, 2008h, 2008i, 2008j, 2008k, 2008l, 2008m, 2008n, 2008o, 2008p, 2008q, 2008r, 2008s, 2008t, 2008u, 2008v, 2008w, 2008x, 2008y, 2008z, 2009a, 2009b, 2009c, 2009d, 2009e, 2009f, 2009g, 2009h, 2009i, 2009j, 2009k, 2009l, 2009m, 2009n, 2009o, 2009p, 2009q, 2009r, 2009s, 2009t, 2009u, 2009v, 2009w, 2009x, 2009y, 2009z, 2010a, 2010b, 2010c, 2010d, 2010e, 2010f, 2010g, 2010h, 2010i, 2010j, 2010k, 2010l, 2010m, 2010n, 2010o, 2010p, 2010q, 2010r, 2010s, 2010t, 2010u, 2010v, 2010w, 2010x, 2010y, 2010z, 2011a, 2011b, 2011c, 2011d, 2011e, 2011f, 2011g, 2011h, 2011i, 2011j, 2011k, 2011l, 2011m, 2011n, 2011o, 2011p, 2011q, 2011r, 2011s, 2011t, 2011u, 2011v, 2011w, 2011x, 2011y, 2011z, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d, 2012e, 2012f, 2012g, 2012h, 2012i, 2012j, 2012k, 2012l, 2012m, 2012n, 2012o, 2012p, 2012q, 2012r, 2012s, 2012t, 2012u, 2012v, 2012w, 2012x, 2012y, 2012z, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f, 2013g, 2013h, 2013i, 2013j, 2013k, 2013l, 2013m, 2013n, 2013o, 2013p, 2013q, 2013r, 2013s, 2013t, 2013u, 2013v, 2013w, 2013x, 2013y, 2013z, 2014a, 2014b, 2014c, 2014d, 2014e, 2014f, 2014g, 2014h, 2014i, 2014j, 2014k, 2014l, 2014m, 2014n, 2014o, 2014p, 2014q, 2014r, 2014s, 2014t, 2014u, 2014v, 2014w, 2014x, 2014y, 2014z, 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2015e, 2015f, 2015g, 2015h, 2015i, 2015j, 2015k, 2015l, 2015m, 2015n, 2015o, 2015p, 2015q, 2015r, 2015s, 2015t, 2015u, 2015v, 2015w, 2015x, 2015y, 2015z, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2016e, 2016f, 2016g, 2016h, 2016i, 2016j, 2016k, 2016l, 2016m, 2016n, 2016o, 2016p, 2016q, 2016r, 2016s, 2016t, 2016u, 2016v, 2016w, 2016x, 2016y, 2016z, 2017a, 2017b, 2017c, 2017d, 2017e, 2017f, 2017g, 2017h, 2017i, 2017j, 2017k, 2017l, 2017m,

① 維修至原狀或加修。

7. 註冊地址: 香港中環皇后大道中15號中環廣場中環廣場大廈10樓1001室

MDMA多用户上下行原型样机



MDMA多用户原型样机空口实测波形

6G智能通信融合外场试验网建设

- 建成国际首个面向6G智能与通信融合的外场试验网，打造开放的联合研发、测试验证环境
- 实际外场验证了语义通信可以在4G、5G链路上可以达到6G传输能力
- 集聚创新资源，开展产业共性关键技术研发，推进关键技术国际标准化，支撑未来产业化
- 为高校、科研院所等研发机构提供理论研究与关键技术前期验证环境，降低6G研究门槛



6G试验内场

- 关键技术部署
- 样机平台验证
- 业务环境建设

6G试验外场

- 关键技术外场试验
- 助力标准化推动
- 业务演示与行业示范

一期 (2023.12-2024.6)

面向6G的端到端平台搭建

内外场试验环境建设、关键技术验证

完成外场部署及试验验证工作

二期 (2024.6-2024.12)

6G关键技术外场试验

6G通感融合场景验证

6G典型场景组网试验

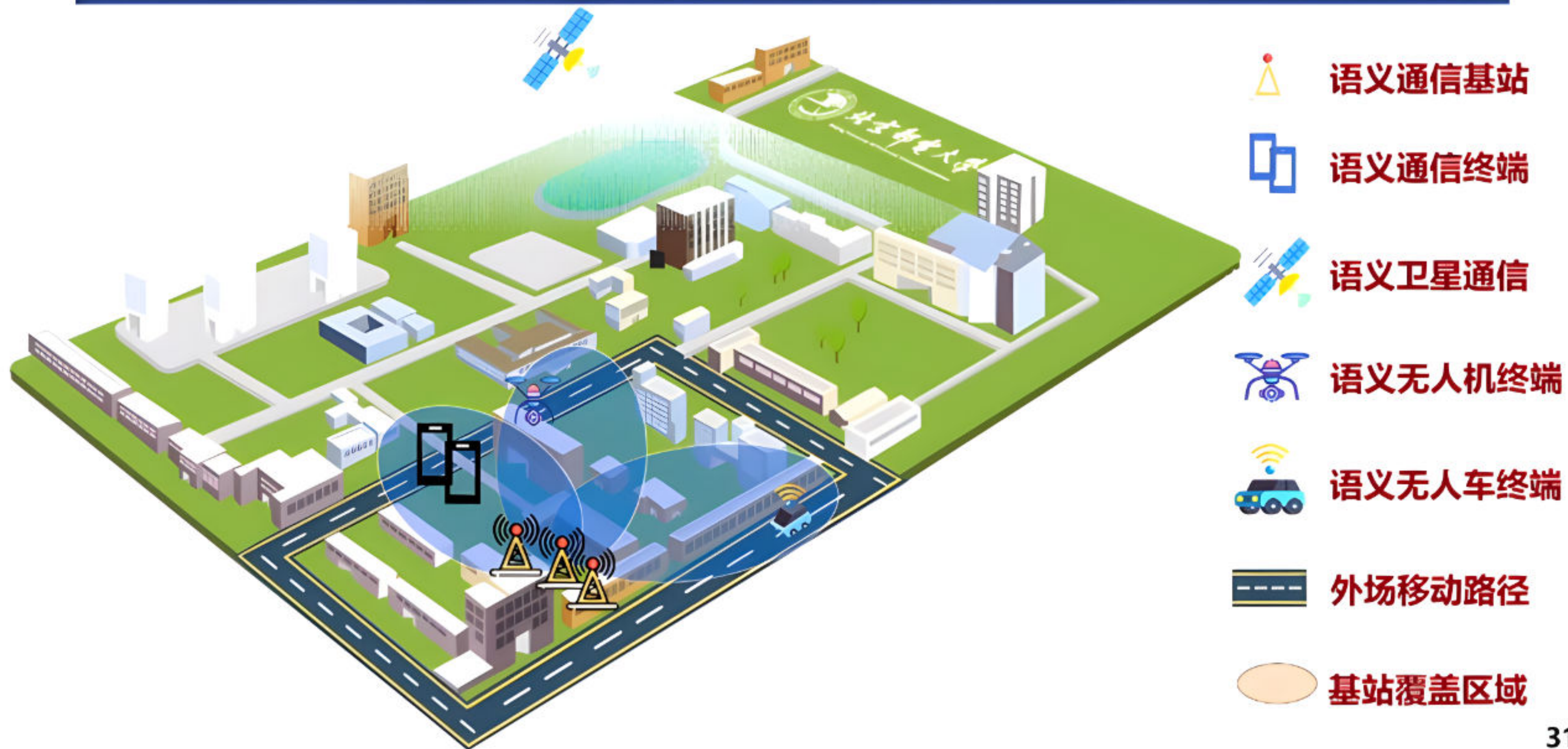
三期 (2025.1-2025.12)

6G典型业务演示与行业示范推广

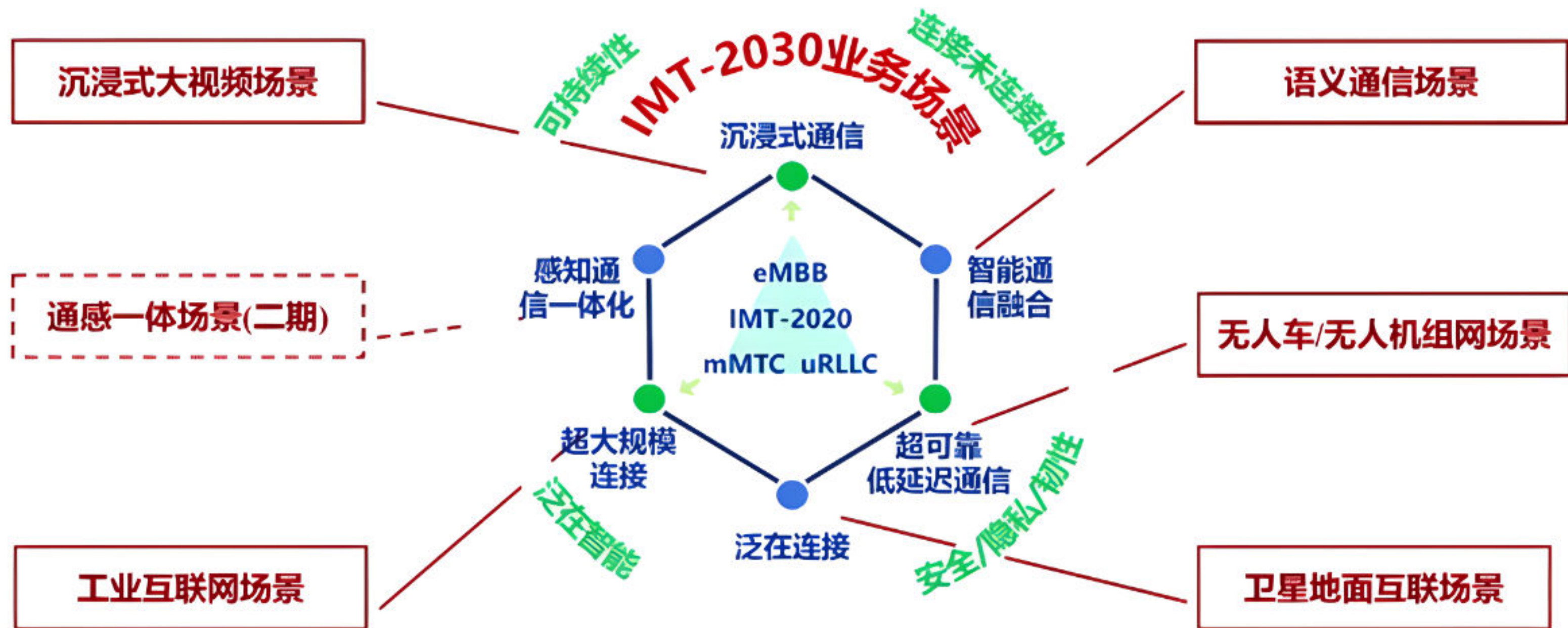
支撑6G标准化指标的验证能力升级

提供测试能力、促进6G未来产业发展

6G智能通信融合外场试验网：一期实地部署



6G智能通信融合外场试验网：一期试验场景



面向6G的语义通信标准化进程

IMT-2030语义通信任务组已收到技术提案超过 50 篇，涉及**典型场景、指标体系、信源信道联合编码、CSI反馈、多址技术**等多个方面，逐步推动语义通信面向6G标准化达成共识



语义通信任务组#2和#3研讨会

研究方向	参与单位
典型场景	北邮、移动、华为、联通
指标体系	北邮、浪潮
模分多址技术	北邮
信源信道联合编码技术	北邮、中兴、OPPO、上交、浪潮、北理工、北交大、华为
语义通信HARQ技术	北邮、移动
基于语义通信的CSI反馈	OPPO、北交大
智简空口双工技术	北邮
语义同步/导频/帧结构	北邮
语义通信跨层设计	北邮、vivo
语义知识库	鹏城、上交

语义通信国际学术影响力

□ 牵头主办多个特刊、国际学术会议研讨会等，引领国际学术研究前沿

□ 主题: *Semantic Communications, Intellicise Networks*

- ✓ Journal SI: IEEE JSAC, IEEE TVT, IEEE IoTJ, Electronics (*Honor of Prof. Ping Zhang*)...
- ✓ Workshop: IEEE Globecom'24 (South Africa) , ICC'24 (Hangzhou)
- ✓ Track/Symposium: WCSP'24 (Hefei) , **IEEE WCNC/ICC'25...**



1. 特色: **学术+平台+产业**

2. 组织委员会: **中美英加拿大新加坡**

3. 多个会议/持续多年: **形成系列**

总结

- 随着时间推移，香农在上世纪四十年代末建立的经典信息理论体系，已经难以适应未来通信技术的发展，**迫切需要站在巨人的肩膀上予以突破。**
- 今天AI+通信已是潮流。但通信有内在规律，一是理论指导下的自治，二是工程上考虑多重的限制因素，所以AI的引入必须提供额外的增益，即所谓的“**智简**”，**以打破经典理论对人们思想的禁锢。**
- 5G物联网升级至6G的智联网，是对传统通信的极大挑战，在整个网内流动和交换的将是知识，而非原来网络中冷冰冰的符号。这些知识形成的模型对复杂环境下的传输将会有不同的机制和体验。