意图驱动的智简通信

Intent-Driven Intelligent and Concise Communications

戴金晟/DAI Jincheng[1]，秦晓琦/QIN Xiaoqi[2]，
秦海龙/QIN Hailong[1]，张平/ZHANG Ping[2]
（1. 北京邮电大学泛网无线教育部重点实验室，中国 北京 100876；
2. 北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室，中国 北京 100876）
(1. The Key Laboratory of Universal Wireless Communications, Ministry of Education, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;
2. The State Key Laboratory of Networking and Switching Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

DOI：10.12142/ZTETJ.202504002
网络出版地址：http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20250716.1528.010.html
网络出版日期：2025-07-16
收稿日期：2025-06-05

摘要：随着通信迈入6G时代，传统依赖物理资源扩展的通信模式难以满足智能化、泛在化的发展需求。提出一种意图驱动的智简通信系统，融合认知心理学、信息论与人工智能方法，以语义token为基本单元，构建面向信息效用的通信范式。该系统集成智能体的感知、认知与反馈能力，实现异构数据的上下文感知语义建模与压缩传输，重点突破语义编码、意图解析、鲁棒传输与可信解码等关键技术。所提架构适配人—人感知、人—机控制与多机协同等差异化需求，支持在带宽受限与信道动态条件下的高效稳健传输。系统梳理了智简通信的研究脉络与核心机制，为构建高效、泛用、可持续的智能通信体系提供理论支撑与技术参考。

关键词：智简通信；意图驱动；高效压缩；稳健传输

Abstract: As communication evolves into the 6G era, traditional paradigms relying on physical resource expansion are increasingly struggling to meet the burgeoning demand for intelligent and ubiquitous connectivity. An intent-driven intelligent and concise communications system is proposed, which seamlessly integrates insights from cognitive psychology, information theory, and artificial intelligence. Using semantic tokens as the basic representation units, the system establishes a communication framework centered on information utility. It incorporates intelligent agents with perception, cognition, and feedback capabilities to achieve context-aware semantic modeling and compressed transmission of heterogeneous data. The system's key enabling technologies comprehensively include semantic encoding, intent parsing, robust transmission, and reliable decoding. The proposed architecture supports differentiated communication needs, including high-fidelity human-human interaction, efficient human-machine control, and collaborative multi-agent systems. It is particularly effective and robust under bandwidth-limited and dynamically varying channel conditions. This study reviews the development trajectory and technical foundations of intelligent and concise communication, providing theoretical and practical guidance for building efficient, general-purpose, and sustainable communication systems.

Keywords: intelligent and concise communications; intent-driven; high-efficiency compression; robust transmission

引用格式：戴金晟, 秦晓琦, 秦海龙, 等. 意图驱动的智简通信 [J]. 中兴通讯技术, 2025, 31(4): 3-12. DOI: 10.12142/ZTETJ.202504002
Citation: DAI J C, QIN X Q, QIN H L, et al. Intent-driven intelligent-concise communications [J]. ZTE technology journal, 2025, 31(4): 3-12. DOI: 10.12142/ZTETJ.202504002

随着通信技术迈入6G时代，传统以增加频谱、天线等物理资源为核心的发展路径已逼近理论极限。尽管“外延式”扩展在一定程度上提升了系统容量，但其资源消耗大、部署复杂，难以支撑未来通信的可持续演进[1]。同时，生成式与交互式人工智能技术的迅猛发展，正在深刻改变通信系统的结构与功能——通信的信源与信宿正由传统的收发模块转变为具备理解与推理能力的通用人工智能体（AGI Agent）[2-3]。在此背景下，继续沿用经典香农通信体制，将导致人与人、人与机之间的交互效率大幅下降，无法满足智能泛在时代的通信需求。经典通信理论主要聚焦于“bit”的可靠传输，但bit本身并不等价于“理解”，更无法表达“意图”[4]。在智能体主导的新型通信形态下，亟需探索如何利用智能体的感知、认知与决策能力，构建面向信息效用最大化的通信范式。具体而言，通信系统需突破现有对信号传输的关注，转向对信息“提取—理解—传输—校正—利用”全过程的柔性适配机制研究，发掘信息传输的新维度，并在系统架构与核心机理上实现根本性突破。

基金项目：国家重点研发计划项目（2024YFF0509700）；国家自然科学基金项目（62371063）；北京市自然科学基金项目（L232047）；北京市科技新星计划

在当前背景下，本文基于认知心理学的启发，结合信息论、人工智能以及系统科学的研究理念，提出构建一种意图驱动的智简编码传输系统。该系统以语义token向量作为核心表示单元，能够实现对异构数据的规范化、简约化语义表征，同时集成智能体的“感知—认知—决策—反馈—控制”能力，从而推动通信系统向语义与意图层面升级。针对人—人高保真感知通信、人—机联网控制、多机交互协同等存在差异化需求的场景，本文重点关注以下关键技术方向：通用语义编码与上下文意图解析、意图完备的语义表征适变精简、融合上下文反馈的语义特征压缩编码与联合误差校正、意图对齐的语义解码与可信质量评价机制。

本文着重梳理智简通信技术的发展历程与研究现状，聚焦于以极简压缩、极高韧性、极强泛用为目标的智简编码传输体系，探讨其从“符号通信”向“上下文通信”转型的过程，以赋予通信系统理解语义与执行意图的能力，进而实现物理世界与数字世界的深度融合。

本文阐述了意图驱动的智简通信系统的总体架构与关键技术路线，分析其在有限带宽、有损传输、动态信道环境等现实条件下的适应性。通过对系统的分层设计与核心机制的剖析，揭示了该新型通信范式在提升系统效能、降低通信负担、增强传输鲁棒性等方面的潜力，为通信技术向更高效、更智能、更可持续的方向发展提供理论支撑与技术参考。

1 多学科交叉引领智简通信新时代

1.1 多学科发展的底层逻辑呈现一致性

在全球科技加速融合发展的大背景下，多学科交叉研究正逐渐成为推动科学范式变革的关键力量[5]。本文聚焦于信息通信范式的转型，即从以离散符号为中心的经典香农通信向以上下文意图为核心的智简通信演进。这一转型不仅契合通信系统自身演进的内在需求，也反映出多个相关学科在方法论与思维方式上呈现出的共通趋势。

如图1所示，系统回顾离散数学、统计物理、人工智能和认知心理学等领域的发展轨迹，可发现其均呈现从个体到群体、从离散到连续、从局部到全局的演化路径。离散数学中，集合论通过抽象个体属性实现系统性描述[6]；统计物理借助大规模样本统计分析，揭示微观与宏观的关联[7]；自然语言处理从早期符号匹配发展到上下文建模，显著提升语义理解和泛化能力[8]；认知心理学的知觉符号系统（PSS）理论，强调动态感知、上下文依赖和情境驱动的认知建模方式，为信息表征和处理提供新认知范式[9]。

这些演进趋势与当前信息通信瓶颈高度契合。传统通信

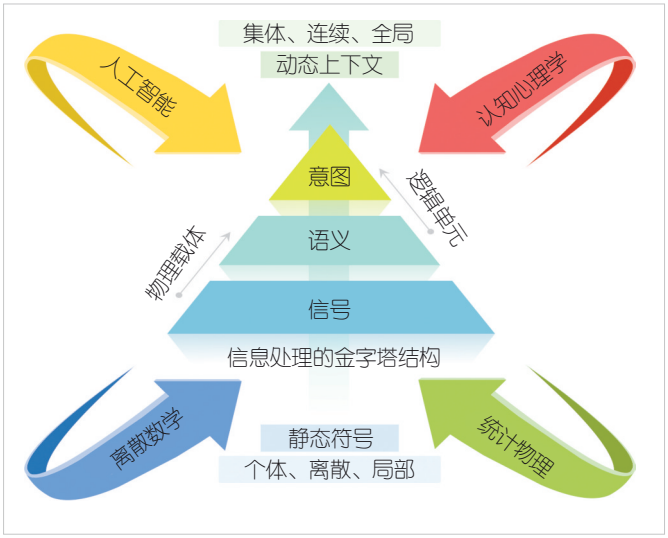


图1 多学科演进路线的共通性启发信息传输范式转变

依赖离散比特传输，难以表达语义依赖性与高层意图。因此，从离散符号向包含上下文信息的动态表示扩展，构建多层次、可解释的信息模型，是通信系统的自然且必要演进方向。

基于此，本文提出以“信号—语义—意图”3层信息结构为基础的智简编码传输框架：信号是物理载体，语义是其抽象组合，意图是决策调控的核心驱动力。如图2所示，类比PSS理论[9]，该结构使信息传输不再仅限于符号传递，而是围绕意图达成展开，通过语义token向量对异构信息进行统一、简约化表达，并利用上下文信息动态调整编码与传输策略，实现端到端的信息效用最大化。

智简通信的提出深刻体现了多学科思想的融合与迁移，其核心理念与多学科在处理复杂系统中的建模方式高度一致，为信息通信范式突破提供了理论依据与实践路径。

1.2 学科交叉驱动下的信息通信范式演进

信息通信技术与人工智能虽起源不同，但近年来呈现出“殊途同归”的融合趋势。从技术演进轨迹看，深度学习领域已率先完成由多样化模型结构向统一自编码器架构[10]的过渡，并在全局上下文注意力机制[8]支持下，实现语义层精确建模与意图层深入理解，显著推动语义理解、语言建模及复杂决策生成等任务性能提升。

通信系统虽在物理层与高层协议设计中逐步引入类自编码器结构，朝着端到端、模块协同优化方向发展，但在信息语义与意图建模方面仍滞后。当前主流的深度联合编码传输框架[11]，多以迁移深度学习模型为核心策略，虽提升编码效率和鲁棒性，但未改变“以bit为中心”的基本传输对象与机制，难以满足语义对齐与智能交互等新型通信需求[12]。

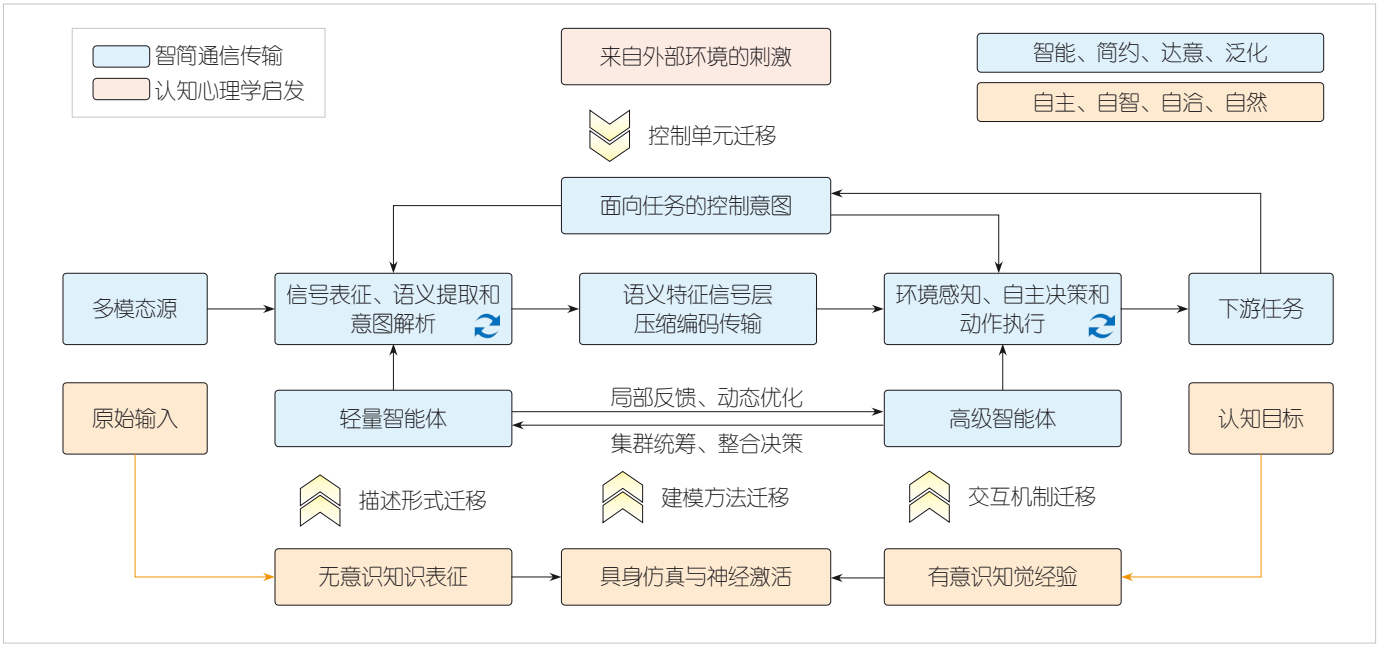


图2 认知心理学启发的智简传输

纵观信息通信与人工智能的研究演进，虽然两者呈现“殊途同归”趋势，但发展速度和深度存在差异。深度学习已从复杂多样的模型结构过渡到基于全局上下文注意力机制的自编码器统一架构，实现了语义级处理和意图级理解。通信系统模型虽然采用类自编码器架构，并朝着模块联合设计方向发展，但在信息的语义和意图解析方面仍存不足[13]。当前的深度联合编码传输范式是将深度学习模型迁移至信息传输过程，但未从根本上改变信息处理和传输的基本对象[14]。

本文的研究旨在弥合这一发展代沟，提出将全局上下文作为动态编码对象进行信息处理和传输的新范式，如图3所示。这种方法不仅能深度解析信息的语义和意图，还能通过适度精简模型结构，提高系统的环境感知能力和泛化性，从而适应各类通信场景，实现真正的智能简约通信新范式。这一研究方向有望突破传统通信系统面临的发展瓶颈，为信息通信理论和技术创新发展提供新的思路。

2 智简通信的设计目标与系统架构

为明确意图驱动智简通信的技术定位，需将其与当前主流的语义通信和任务导向通信进行区分。现有语义通信聚焦数据语义的表征与传输，任务导向通信则针对特定任务优化信息编码策略。与之不同，意图驱动智简通信的核心特征在于将编码传输对象从数据语义拓展至包含上下文依赖的复杂业务意图。该技术以语义token作为信息表征的基本单元，替代传统bit级表示，实现表征粒度的意图自适应调节。此外，系统构建覆盖信息全生命周期的处理机制，不仅实现语义层面的理解与传输，更强调意图层面的解析与执行，在极简压缩、极高韧性和极强泛用性方面具备显著优势。

2.1 智简通信的设计目标

随着通信系统日益面临带宽紧张、时延敏感与算力受限等多重资源约束，传统以连接为中心的通信范式已难以满足多样化、语义化的智能应用需求[15]。智简通信系统以“面向意图的智能压缩传输”为核心理念，构建具备“感知—认知—决策—反馈—控制”闭环能力的智能体驱动通信框架，具体如图4所示。在总体设计目标上，智简通信不仅关注数据的传输效率，更强调语义的有效表达与意图的精准对齐。研究重点聚焦于以下关键技术方向：

1）通用语义编码与上下文意图解析：构建跨模态、可泛化的语义表示方法，提取符合通信目标的高价值语义信息，并解析其上下文意图。

2）语义表征的适变精简机制：结合任务需求与资源状态，自适应地调整语义表示粒度，实现信息内容的高效压缩与精简表达。

3）压缩编码与联合误差校正机制：在信号传输阶段，融合语义特征压缩编码与后验反馈校正策略，增强通信系统的韧性与精度。

4）意图对齐与可信质量评价机制：接收端实现语义特征到控制或感知行为的精准映射，建立可量化的主观/客观质量评估体系，确保传输结果与预期意图一致。

基于上述关键模块，智简通信系统从“信息的提取—理

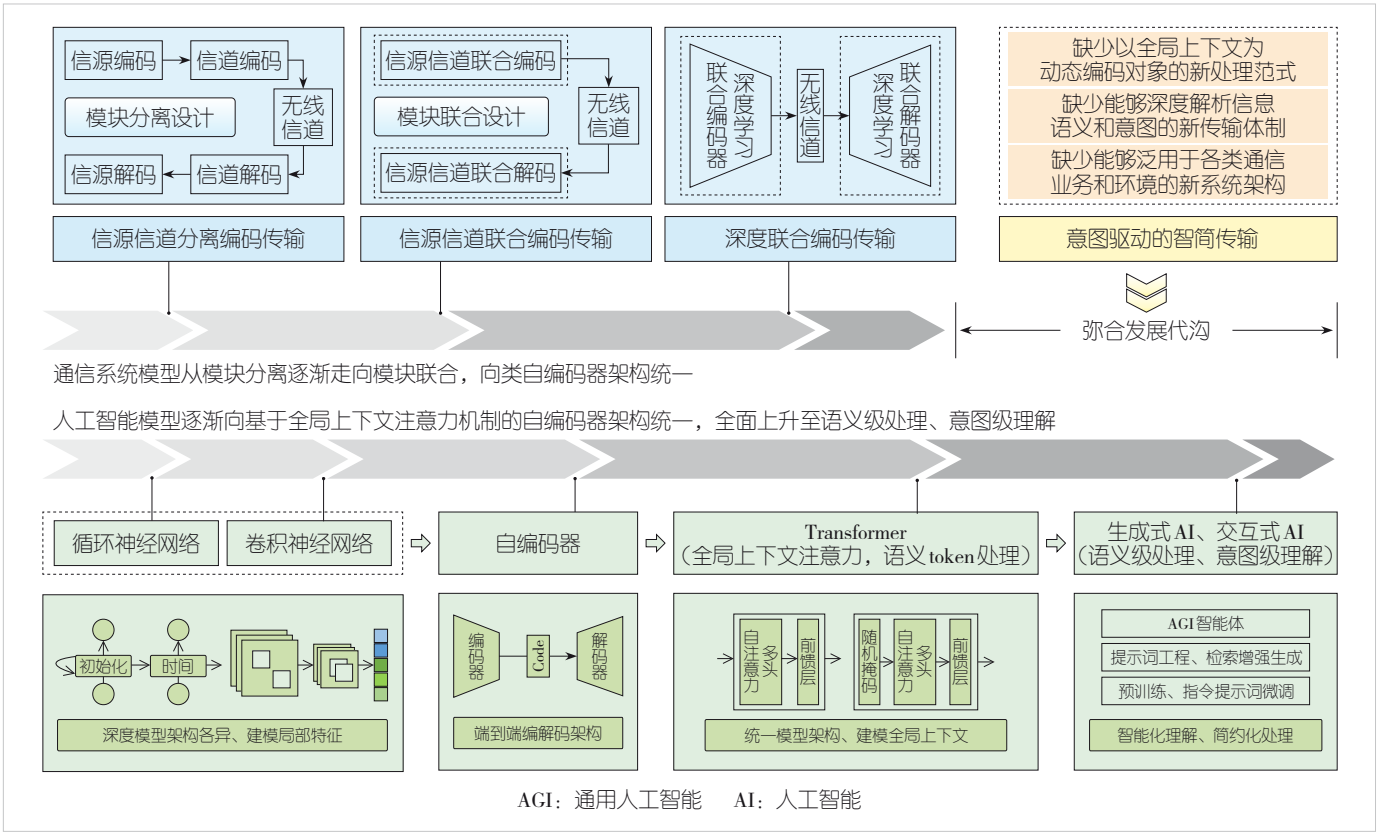


图3　信息通信研究与人工智能研究存在的发展代沟及智简通信的研究定位

解—传输—校正—利用”全过程出发，构建了面向语义与意图层的广义编码传输机制。该机制强调系统的柔性适配能力，可根据不同场景在资源、语义复杂度、控制精度等方面进行动态调整，从而实现以下目标：

1）简压缩：以最小的数据量传达最具意义的信息。

2）高韧性：应对复杂信道和动态环境中的鲁棒传输。

3）强泛用：适配人—人、人—机、机—机等通信需求。

与传统通信系统仅依赖比特级检错纠错不同，智简通信系统创新性地实现了信号空间与语义空间的双重校正机制。信号空间校正继承了经典通信理论中的比特级检错纠错功能，确保了底层信号传输的可靠性。语义空间校正则是系统的创新亮点，通过后验反馈机制，在接收端动态校准语义特征与发送端意图的对齐度，构建意图驱动的端到端质量保障体系。这种双重校正机制不仅保障了传输的准确性，更确保了意图执行的一致性。

综上所述，智简通信是未来通信技术从“连接驱动”向“意图驱动”转型的关键路径。其核心是集成智能体的认知与控制能力，实现更高效、更韧性、更智能的通信系统设计，具有重要的理论研究价值和广泛的实际应用前景。

2.2 智简通信的系统架构

为满足未来通信系统中多样化、智能化的业务需求，本文提出了一种意图驱动的层次化智简编码传输系统架构，如图5所示。该架构在总体设计上呈现出从底层到高层、由比特到语义再到意图的逐级抽象过程，旨在实现高效、韧性、可演进的信息传输机制，且与现有通信体制兼容。

系统架构整体分为3个功能层次：

1）底层（Bit-centric信号传输层）：对应传统通信系统中以比特为单位的信号调制与物理传输机制，确保底层信号的可靠传递，为上层语义与意图表达提供基础承载。

2）中层（Token-centric语义传输层）：通信内容以token为基本单元进行表达与传输，代表了对原始数据的语义压缩编码结果。通过语义建模与上下文分析，实现对信息“意义”的传输。

3）顶层（Intent-centric意图调控层）：通过解析业务数据、用户行为及环境状态，提取驱动通信策略调度的高层抽象意图，作为系统智能决策与资源调配的核心依据。意图不仅用于指导语义压缩与token筛选，还可动态调整传输策略，实现端到端的信息传输闭环控制。

该层次化架构通过内层支撑外层、外层调控内层的方

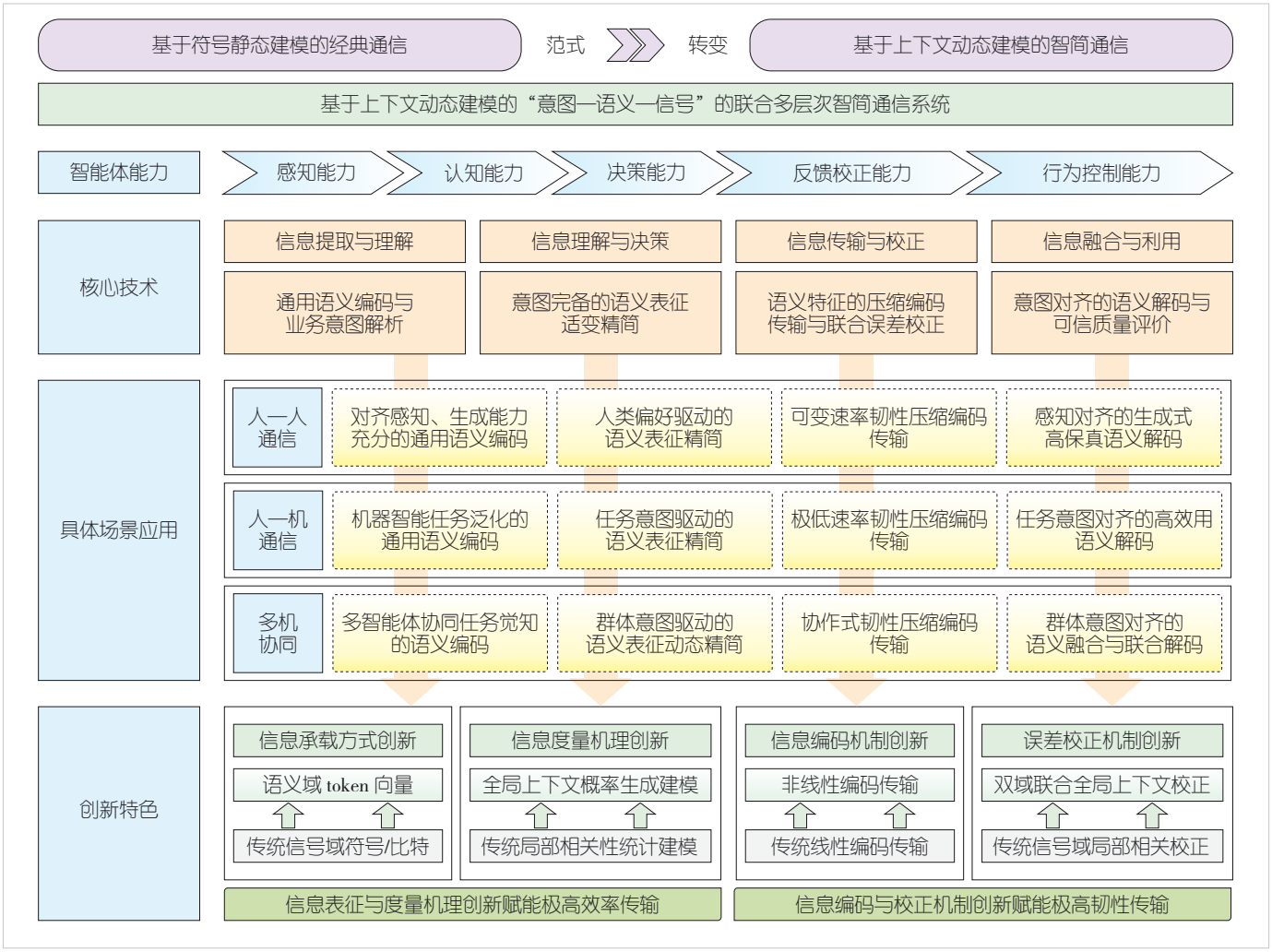


图4 智简通信总体技术路线

式，构建了一个由内而外融合的信息传输体系。同时，它具备良好的可扩展性与演进能力，可在不破坏传统通信协议栈结构的前提下，逐步引入语义与意图驱动的增强功能。

在功能方面，该系统能够适配多种差异化通信场景：

1）面向人—人业务的高保真感知数据传输，强调主观感知对齐与数据压缩保真。

2）面向人—机交互的高效命令与控制指令传输，突出语义精准性与低时延。

3）面向多智能体系统的协同语义共享与意图对齐传输，支撑大规模异构智能体之间的协作控制。

在系统架构设计中，兼容性问题得到了充分考虑。系统采用渐进式演进策略，以现有的比特级信号传输为基础，在其上叠加语义处理与意图解析功能模块。这种分层解耦的方式，确保了语义与意图信息通过底层信号传输层完成物理传递，从而天然兼容现有的通信协议栈。在实现过程中，系统无须对底层通信基础设施进行颠覆性改造，而是通过在协议栈中插入智能处理模块，实现功能无缝扩展与性能提升。

综上所述，该意图驱动的层次化系统架构为智简通信提供了统一理论框架与技术支撑，体现了从“连接为中心”向“语义与意图为中心”的通信范式升级路径。

3 智简通信的技术路线

3.1 面向人—人业务感知的智简通信技术路线

在面向人类用户的高质量数据传输任务中，如何在带宽、时延等多重通信资源受限的条件下有效满足人类感知体验，已成为智能通信系统中的关键挑战之一。近年来，感知对齐的编码传输技术成为研究热点[16–20]，其核心目标是保障主观感知质量，实现通信资源的高效利用。

在质量建模方面，研究者融合认知心理学与神经科学理论，探索符合人类感知机制的质量评价与建模方法[21–23]，旨

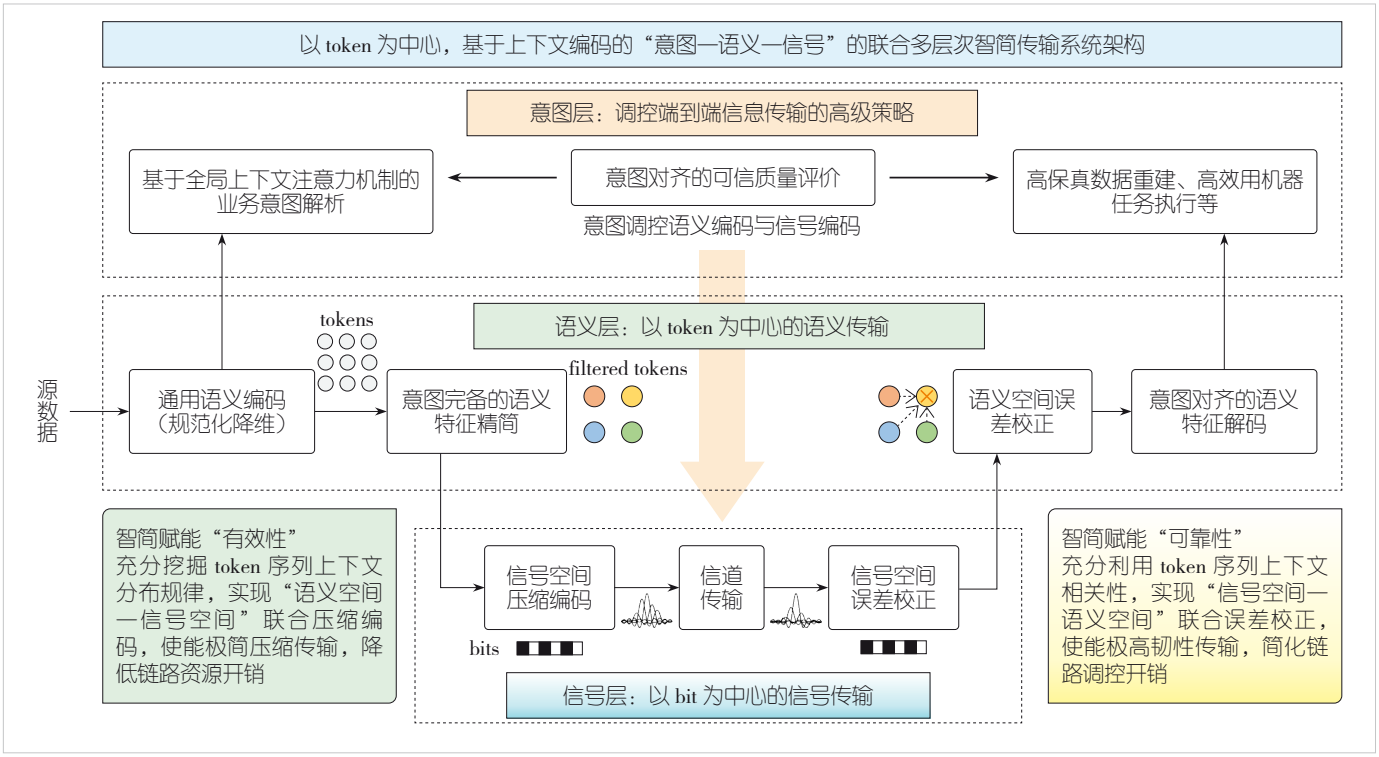


图 5　智简通信系统架构

在构建以人类主观感受为核心的传输质量评估体系，通过对用户偏好的智能感知建模，实现从“面向客观失真优化”向“面向主观感知优化”的范式转变。

为应对多模态异构数据在语义表达上的规范性和简约性需求，通用语义编码技术逐渐成为研究焦点[24–26]。该技术将原始数据映射到对齐人类感知的语义空间，通过生成能力充足的 token 序列完成数据的语义化压缩表达。结合用户感知偏好和意图，对 token 序列进行语义过滤与融合，获取高度简约的语义表示，在保证感知质量的前提下降低数据冗余。

在信号层传输阶段，研究者引入注意力机制与序列建模方法，挖掘 token 序列中潜在的上下文概率结构，支持更高效的变速率压缩编码策略[16]。结合后验生成采样机制，在接收端实现信号与语义空间的联合误差反馈校正[20]，提升解码结果对人类语义感知的对齐度，增强端到端传输的有效性与鲁棒性。

如图 6 所示，感知对齐的智简编码传输机制是通信系统向“以人为中心”智能范式演进的重要方向，未来研究将聚焦于提升感知建模精度、优化语义压缩效率，以及强化解码质量保障。

3.2 面向人—机网联控制的智简通信技术路线

随着人—机协同场景的不断拓展，实现对多类型机器操作设备的高效、低时延网联控制已成为智能通信系统中的关键课题[27]。尤其在“人→机”控制链路中，针对强异构性、大规模、低延迟的指令传输需求，构建高效、强韧性的编码传输机制，是实现精准控制与意图对齐的核心挑战。

在系统架构上，近年来的研究开始关注在发送端引入轻量化智能体模块，对实时场景数据进行预处理分析[28–29]。该模块通过目标导向的感知数据筛选和实时清洗，有效压缩冗余信息，提升下行链路的传输效率。针对人类指令与机器感知信息的融合表达，研究者提出将其嵌入统一的语义表示空间，通过 token 化生成极简语义单元[26]。

在编码传输阶段，采用全局注意力机制挖掘 token 序列的上下文依赖结构，结合变速率压缩编码策略，实现从语义空间到信号空间的韧性编码与传输，以适应网络动态变化带来的带宽波动，提升关键控制语义的传输鲁棒性。

在接收端，部署的轻量化智能体协同云端高级智能体进行控制意图的解析与执行决策生成。云端智能体基于 token 序列完成意图抽象与高层决策输出，并以 token 形式发送至设备端；设备端智能体则将 token 映射为具体控制命令，实现端到端的意图对齐与执行闭环。

此外，为提升端侧智能体的部署效率与决策质量，相关研究还引入了知识蒸馏与强化学习等手段，以支持智能体的轻量化运行与动态自适应优化[30]。通过上述机制，系统能够

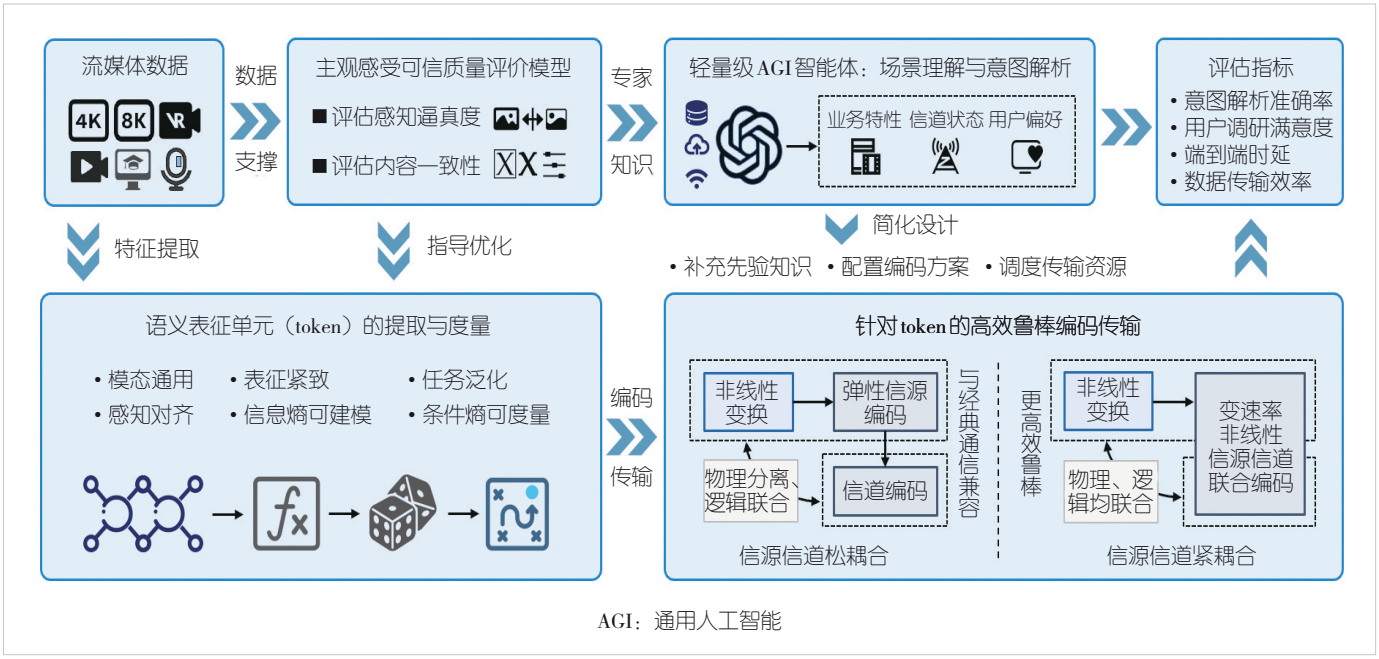


图6 面向人—人业务感知的智简通信技术路线

实现收发端之间的意图快速对齐与闭环反馈，在保障控制时效性的同时，提升人—机交互的稳定性与精度。

如图7所示，面向人—机网联控制的智简编码传输机制通过语义压缩、意图对齐与智能体协同优化，为大规模、低延迟、高鲁棒性的机器通信提供了新范式，展现出极大的研究与应用潜力。

3.3 面向多机交互协同的智简通信技术路线

在智能网联系统中，多智能体的协同感知与联合决策对通信系统提出了更高的语义表达与意图对齐要求。多智能体之间的高效协同不仅依赖于底层通信能力，更需构建面向语义层的智简编码与意图协同机制，以应对多源异构数据、复杂任务需求和时变环境动态带来的挑战。

在语义建模方面，研究者逐步从单智能体语义重要性评估拓展至多智能体场景下的协同语义分析[31]。基于多模态、多粒度的token语义表示，结合注意力机制对异构智能体间的感知数据进行加权融合，实现语义层的时空对齐与意图层的协同映射。这一过程对于实现多智能体之间的高效协同感知与共享认知具有关键意义。

在通信效能评估与优化方面，已有研究构建了基于群体意图驱动的通信评价体系。通过引入图神经网络（GNN）与强化学习（RL）算法，建立动态连接图结构，捕捉智能体间任务依赖与通信拓扑的演化特征[32-33]。在此基础上，进一步提出面向任务的动态编码与传输策略，实现通信资源与协同效率之间的平衡。

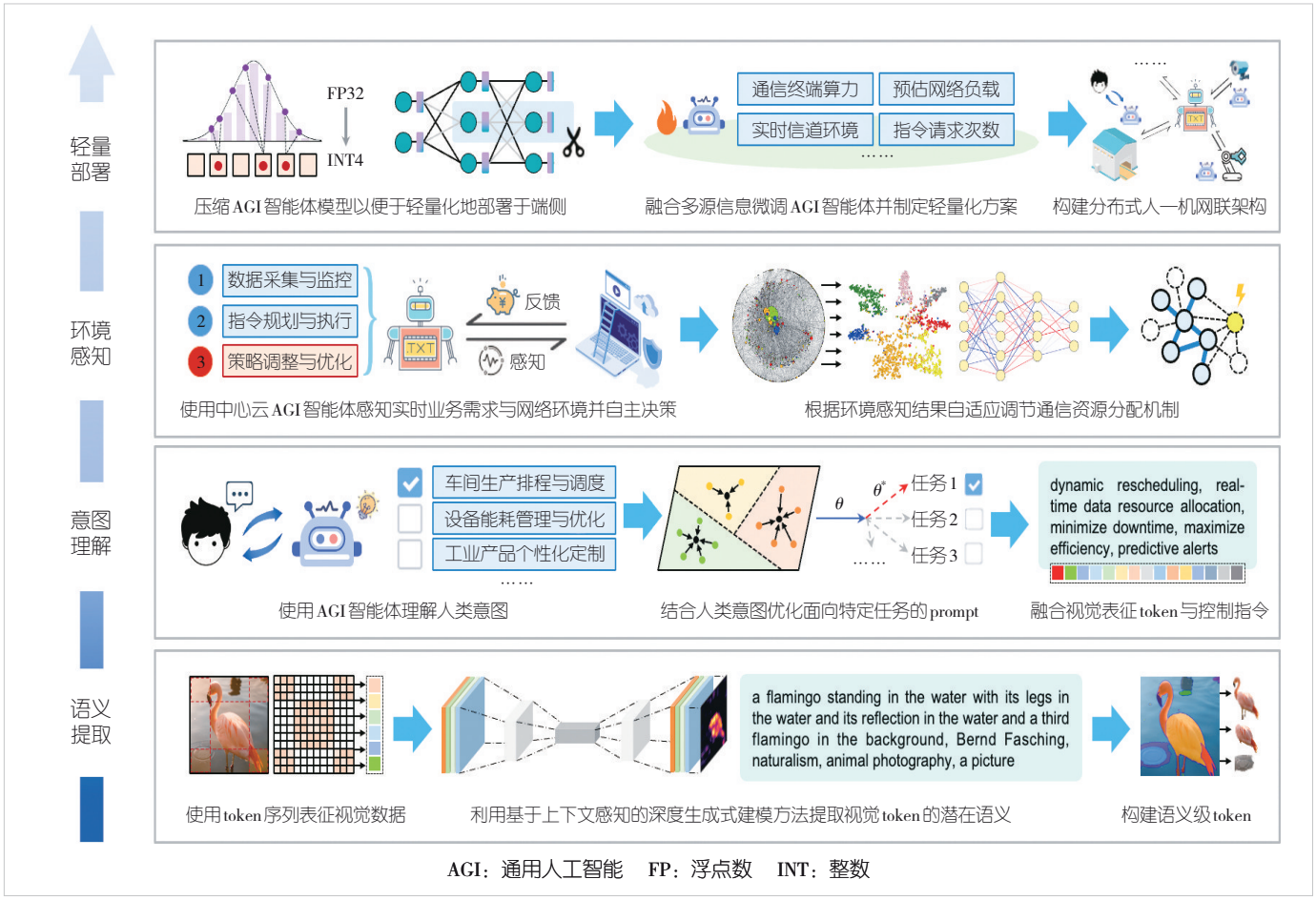
在智能体系统的演化机制研究方面，相关工作尝试融合认知心理学中的意图建构理论[34]与系统动力学建模方法[35]，探索智能体群体的自主演化机制。通过构建稀疏互联的动态语义通信网络，并引入意图理解更新机制与策略自主调度机制，推动智能体间从被动协同走向主动协同，实现多智能体系统中“智慧涌现”式的协作通信范式[36]。

如图8所示，面向多智能体交互与协同的智简通信机制，融合了语义建模、图结构学习等多学科交叉技术，为实现高效、智能、自适应的多智能体通信系统提供了理论基础与关键技术支撑，是未来智能通信系统的重要发展方向[35-36]。

3.4 智简通信系统可行性的验证实例

为验证智简编码传输系统的实际可行性和有效性，我们以城市交叉路口的车路协同避障场景为例进行阐述。考虑一个典型的城市十字路口，该路口配备有路侧感知单元，其任务是向接近路口的自动驾驶车辆传输实时感知信息，以辅助安全通行。传统方案需要传输完整的多摄像头视频流（分辨率为1 920×1 080，帧率为30 fps，数据率约25 Mbit/s）、激光雷达点云数据（约10 Mbit/s）以及各类传感器原始数据，总数据率超过40 Mbit/s。这些在5G网络峰值条件下尚可承载，但在网络拥塞或边缘覆盖场景中，传输时延达200～500 ms，难以满足车辆安全避障的实时性要求（<100 ms）。

针对上述问题，意图驱动智简通信系统的具体处理过程



AGI：通用人工智能　FP：浮点数　INT：整数

图7　面向人—机业务感知的智简通信技术路线

为：系统首先通过车联网（V2X）获取车辆状态信息，解析其驾驶意图，例如速度为45 km/h，目标为直行通过路口，距离路口80 m。基于此意图，系统从海量感知数据中筛选出与该车辆通行路径相关的关键信息：前方车道占用情况、行人穿越动态、信号灯剩余时间等，过滤掉无关车道的车辆信息。筛选后的关键信息被编码为标准化语义token序列：

• 交通信号：[LIGHT:GREEN:REMAIN:12S]；

• 前方车辆：[VEHICLE:SEDAN:LANE1:DISTANCE:25M:SPEED:35KMH]；

• 行人动态：[PEDESTRIAN:ADULT:SIDEWALK:INTENT:WAIT]；

• 路面状况：[ROAD:DRY:VISIBILITY:GOOD]。

随后，系统将原始40 Mbit/s的数据压缩为仅包含24个语义token的序列，数据量降低至约2 kbit/s。根据当前网络状况（可用带宽5 Mbit/s，往返时延=30 ms）以及信息的紧急程度，系统对token序列进行优先级排序。安全关键信息（前方车辆、行人动态）采用冗余编码以确保可靠传输，而环境辅助信息（如路面状况）则采用普通编码。

车载智能系统接收token序列后，结合车辆当前状态生成具体驾驶策略：

• 维持当前速度45 km/h；

• 监控前方车辆，保持安全车距；

• 准备在信号灯变红前通过路口；

• 注意观察人行道，暂无穿越风险。

相比传统方案，意图驱动的智简通信系统可实现：

• 数据传输量：从40 Mbit/s降至2 kbit/s，压缩比达99.995%；

• 端到端时延：从200～500 ms降至35～50 ms，满足实时性要求；

• 决策准确性：在100次测试场景中，系统生成的驾驶决策与基于原始数据的决策一致性达97%；

• 网络适应性：在带宽受限至1 Mbit/s的条件下，系统仍能保持稳定通信。

该实例验证了智简通信系统在确保安全关键信息完整性

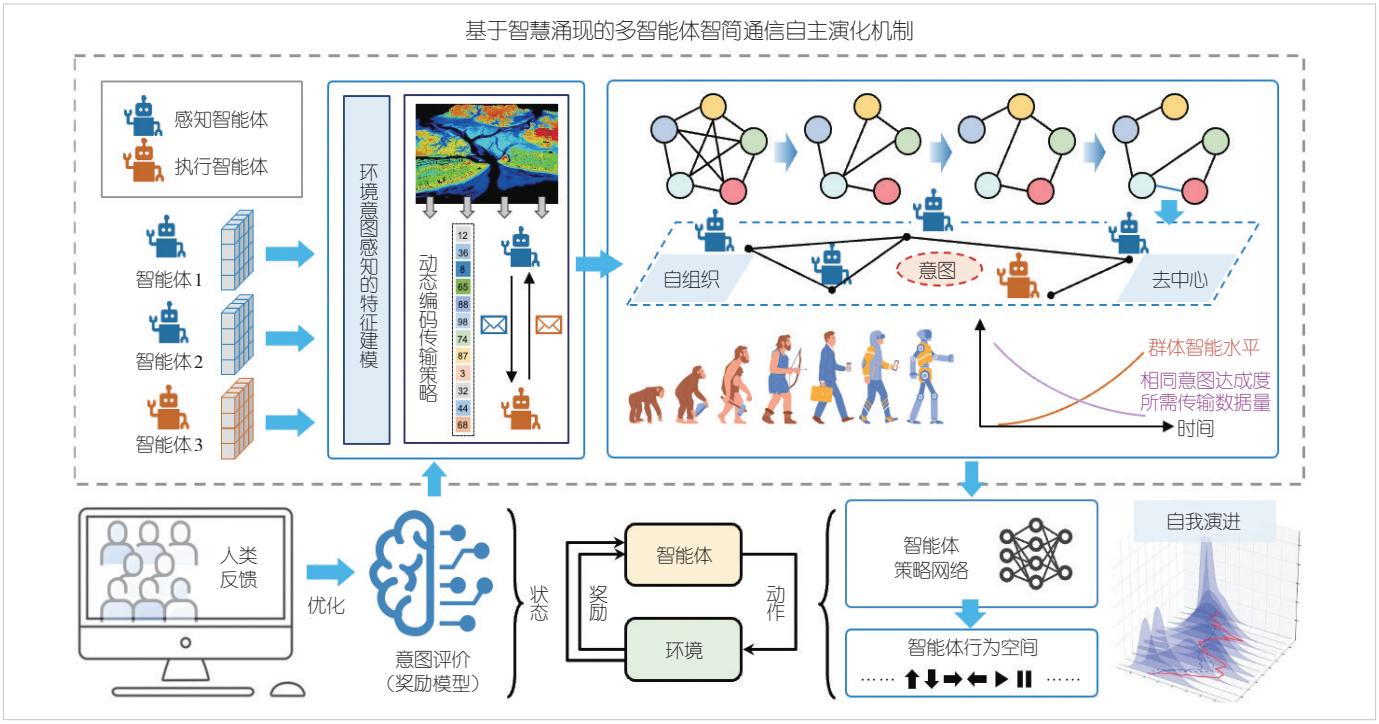


图 8　面向多机交互协同的智简通信技术路线

的同时，显著提升传输效率和实时性的能力，充分展现了其在实际应用场景中的可行性和有效性。

4 结束语

本文面向6G时代“万物智联”通信需求，提出一种意图驱动的智简编码传输系统。该系统融合认知心理学、信息论与人工智能方法，以语义token为基本单元，构建信息效用导向的通信新范式。系统集成智能体的感知、认知与反馈能力，支持上下文感知的语义建模与压缩传输，适配人—人感知、人—机控制与多智能体协同等差异化场景，在带宽受限与信道动态环境下表现出高效性、鲁棒性与泛用性，为未来通信系统的智能演进提供理论支撑与技术参考。

参考文献

[1] ZHANG P, XU W J, GAO H, et al. Toward wisdom-evolutionary and primitive-concise 6G: a new paradigm of semantic communication networks [J]. Engineering, 2022, 8: 60-73. DOI: 10.1016/j.eng.2021.11.003
[2] CHACCOUR C, SAAD W, DEBBAH M, et al. Less data, more knowledge: building next-generation semantic communication networks [J]. IEEE communications surveys & tutorials, 2024, 27 (1): 37-76. DOI: 10.1109/comst.2024.3412852
[3] XIA L, SUN Y, LIANG C S, et al. Generative AI for semantic communication: architecture, challenges, and outlook [J]. IEEE wireless communications, 2025, 32(1): 132-140. DOI: 10.1109/mwc.003.2300351
[4] WEAVER W. Recent contributions to the mathematical theory of communication [EB/OL]. [2025-05-06]. https://courses. ischool.berkeley.edu/i218/s15/Weaver_Recent-Contributions.pdf
[5] 路甬祥. 学科交叉与交叉科学的意义 [J]. 中国科学院院刊, 2005, 20 (1): 58-60. DOI: 10.16418/j.issn.1000-3045.2005.01.014
[6] GRATTAN-GUINNESS I. From the calculus to set theory 1630-1910: an introductory history [M]. New Jersey, USA: Princeton University Press, 2020
[7] NISHIMORI H. Statistical physics of spin glasses and information processing: an introduction [M]. Oxford, UK: Clarendon Press, 2001
[8] VASWANI A, SHAZEER N, PARMAR N, et al. Attention is all you need [EB/OL]. (2023-08-02) [2025-05-22]. https://arxiv.org/abs/1706.03762
[9] BARSALOU L W. Perceptual symbol systems [J]. Behavioral and brain sciences, 1999, 22(4): 577-609; discussion 610-660. DOI: 10.1017/s0140525x99002149
[10] BENGIO Y. Learning deep architectures for AI [J]. Foundations and trends in machine learning, 2009, 2(1): 1-127. DOI: 10.1561/2200000006
[11] BOURTSOULATZE E, BURTH KURKA D, GUNDUZ D. Deep joint source-channel coding for wireless image transmission [J]. IEEE transactions on cognitive communications and networking, 2019, 5(3): 567-579. DOI: 10.1109/tccn.2019.2919300
[12] GUNDUZ D, QIN Z J, AGUERRI I E, et al. Beyond transmitting bits: context, semantics, and task-oriented communications [J]. IEEE journal on selected areas in communications, 2022, 41(1): 5-41. DOI: 10.1109/jsac.2022.3223408
[13] 张平. 语义通信: 未来通信系统的智简之道 [J]. 中兴通讯技术, 2024, 30(1): 1-2. DOI: 10.12142/ZTETJ.202401001
[14] 吕守晔, 戴金晟, 张平. 信源信道联合的新范式: 语义通信 [J]. 中兴通讯技术, 2023, 29(2): 2-8. DOI: 10.12142/ZTETJ.202302002
[15] LUO X W, CHEN H H, GUO Q. Semantic communications: overview, open issues, and future research directions [J]. IEEE wireless communications, 2022, 29(1): 210-219. DOI: 10.1109/mwc.101.2100269
[16] DAI J C, WANG S X, TAN K L, et al. Nonlinear transform source-

channel coding for semantic communications [J]. IEEE journal on selected areas in communications, 2022, 40(8): 2300–2316. DOI: 10.1109/jsac.2022.3180802
[17] WANG S X, DAI J C, LIANG Z J, et al. Wireless deep video semantic transmission [J]. IEEE journal on selected areas in communications, 2022, 41(1): 214–229. DOI: 10.1109/jsac.2022.3221977
[18] ERDEMIR E, TUNG T Y, DRAGOTTI P L, et al. Generative joint source–channel coding for semantic image transmission [J]. IEEE journal on selected areas in communications, 2023, 41(8): 2645–2657. DOI: 10.1109/jsac.2023.3288243
[19] TAN K L, DAI J C, LIU Z Y, et al. Rate–distortion–perception controllable joint source–channel coding for high–fidelity generative semantic communications [J]. IEEE transactions on cognitive communications and networking, 2024, 11(2): 672–686. DOI: 10.1109/tccn.2024.3511960
[20] WANG S X, DAI J C, TAN K L, et al. DiffCom: channel received signal is a natural condition to guide diffusion posterior sampling [J]. IEEE journal on selected areas in communications, 2025, 43 (7): 2651–2666. DOI: 10.1109/jsac.2025.3559158
[21] BLAU Y, MICHAELI T. Rethinking lossy compression: the rate–distortion–perception tradeoff [EB/OL]. (2019–07–30)[2025–05–20]. https://arxiv.org/abs/1901.07821
[22] WASSILIWIZKY E, MENNINGHAUS W. Why and how should cognitive science care about aesthetics? [J]. Trends in cognitive sciences, 2021, 25(6): 437–449. DOI: 10.1016/j.tics.2021.03.008
[23] MIN X K, GU K, ZHAI G T, et al. Screen content quality assessment: overview, benchmark, and beyond [J]. ACM computing surveys, 2022, 54(9): 1–36. DOI: 10.1145/3470970
[24] YU Q, WEBER M, DENG X, et al. An image is worth 32 tokens for reconstruction and generation [EB/OL]. (2024–06–11)[2025–05–21]. https://arxiv.org/abs/2406.07550
[25] YAO J, YANG B, WANG X. Reconstruction vs. generation: taming optimization dilemma in latent diffusion models [EB/OL]. [2025–05–21]. https://cvpr.thecvf.com/virtual/2025/poster/33084
[26] QIN H L, DAI J, WANG S, et al. Neural coding is not always semantic: towards the standardized coding workflow in semantic communications [EB/OL]. (2025–05–24) [2025–05–25]. https://arxiv.org/abs/2505.18637
[27] LAN Q, WEN D Z, ZHANG Z Z, et al. What is semantic communication? a view on conveying meaning in the era of machine intelligence [J]. Journal of communications and information networks, 2021, 6(4): 336–371. DOI: 10.23919/jcin.2021.9663101
[28] YANG W T, LIEW Z Q, LIM W Y B, et al. Semantic communication meets edge intelligence [J]. IEEE wireless communications, 2022, 29(5): 28–35. DOI: 10.1109/mwc.004.2200050
[29] YANG W T, XIONG Z H, YUAN Y L, et al. Agent–driven generative semantic communication with cross–modality and prediction [J]. IEEE transactions on wireless communications, 2024, 24(3): 2233–2248. DOI: 10.1109/twc.2024.3519325
[30] TSENG W C, WANG T H J, LIN Y C, et al. Offline multi–agent reinforcement learning with knowledge distillation [EB/OL]. (2022–11–28) [2025–05–25]. https://dl. acm. org/doi/10.5555/3600270.3600287
[31] SYKORA Q, REN M, URTASUN R. Multi–agent routing value iteration network [EB/OL]. (2020–07–09) [2025–05–28]. https://arxiv.org/abs/2007.05096
[32] LIU Y, WANG W X, HU Y J, et al. Multi–agent game abstraction via graph attention neural network [J]. Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence, 2020, 34(5): 7211–7218. DOI: 10.1609/aaai.v34i05.6211
[33] CHEN S K, DONG J Q, HA P Y J, et al. Graph neural network and reinforcement learning for multi–agent cooperative control of connected autonomous vehicles [J]. Computer–aided civil and infrastructure engineering, 2021, 36(7): 838–857. DOI: 10.1111/mice.12702
[34] MAO H Y, LIU W L, HAO J Y, et al. Neighborhood cognition consistent multi–agent reinforcement learning [J]. Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence, 2020, 34(5): 7219–7226. DOI: 10.1609/aaai.v34i05.6212
[35] CHEN F, REN W. On the control of multi–agent systems: a survey [J]. Foundations and trends in systems and control, 2019, 6(4): 339–499. DOI: 10.1561/2600000019
[36] YANG D, YANG K, WANG Y, et al. How2comm: communication–efficient and collaboration–pragmatic multi–agent perception [J]. Advances in neural information processing systems, 2023, 36: 25151–25164

作 者 简 介

戴金晟，北京邮电大学副教授、博士生导师；主要研究方向为智简网络与智简传输的基础理论与关键技术；主持包括国家重点研发计划、国家自然科学基金、北京市自然科学基金在内的多个科研项目；入选北京市科技新星、中国科协青年人才托举工程、小米青年学者等；发表论文100余篇。

秦晓琦，北京邮电大学副教授，国家级青年人才，中国工程院“中国工程前沿杰出青年学者”；主要研究方向为智能机器通信基础理论与关键技术；主持包括国家重点研发计划项目、国家自然科学基金面上项目、北京市自然科学基金项目等多个科研项目；获省部级和全国学会级科学技术一等奖3项，获最佳论文奖3项；已发表论文130余篇，参与制定国际标准2项、行业标准4项。

秦海龙，北京邮电大学在读研究生；主要研究方向为三维视觉建模、智简编码传输。

张平，中国工程院院士，北京邮电大学教授、网络与交换技术全国重点实验室主任，《通信学报》主编，IEEE Fellow，IMT–2020（5G）专家组成员，IMT–2030（6G）推进组咨询委员会委员，国家自然科学基金委“创新研究群体”带头人；长期致力于移动通信理论研究和技术创新，为中国自主技术成为国际主流做出了基础性的贡献；曾任国家重点基础研究发展计划（“973”计划）首席科学家、国家高技术研究发展计划（“863”计划）主题专家组专家等；获国家科技进步奖特等奖、一等奖，国家技术发明奖二等奖3项，科技进步奖二等奖2项，全国创新争先奖，光华工程科技奖等奖项，入选教育部首批“黄大年式教师团队”。