**“面向未来通信的数学基础（信息论）”专项项目指南**

香农信息论一直是通信技术的基本遵循，它指引了通信技术近几十年的发展与进步。但香农信息论是在理想通信环境下所建立的通信信道容量/传输速率界的估计理论，并不适应未来通信的复杂环境和多样化性能目标。而未来通信的信源可以是具有知识结构、有记忆和可学习的;信道与环境具有密集、异构、分布式等复杂网络特征下的多发多收结构;通信的性能追求也不仅仅局限在容量或速率，需要联合兼顾可靠性、时延、吞吐量、能效、算力效率、隐私与安全等因素。因此,未来通信技术（6G）凾需信息论的新突破和新指引。国家自然科学基金委员会数学物理科学部现启动“面向未来通信的数学基础（信息论）”专项项目，将针对未来通信的典型场景、网络结构、性能需求，为未来信息技术开展理论基础研究。

**一、科学目标**

本专项项目旨在围绕未来通信的典型场景、网络结构、性能需求等共性基本问题，扩展传统信息论单一的信道容量/传输速率性能界到多维性能界，评估影响系统性能的内在因素及其作用规律，并以此驱动各调控要素的创新，为未来通信技术提供坚实的理论依据和技术支撑。

**二、拟资助研究方向和研究内容**

**（一）面向人机物共生与网络化传输的多用户信息论（申请代码1选择A04、A06下属代码）**

针对未来通信网络海量连接、人机物共生(如人、电脑、无人机、传感器、监测器等)的泛在通信模式，运用随机数学、复杂网络、最优化等工具建立刻画大规模网络传输系统内在规律的多用户信息论，为多样性约束下的多址接入、资源分配、信号设计等技术提供基础。主要研究:（1）大规模通信网络的容量界分析。根据新型接入需求，分析大规模网络随机接入的容量界，建立以可达速率、时延、连接强度、用户间干扰、反馈、协作等多重要素为变量的网络性能评估指标及其性能界，据此分析网络内部调控要素对网络性能的作用规律;（2）面向巨连接场景的新型编码技术。针对海量机器连接场景，研究用户数量巨大、短数据包、免调度传输、以及非独立码本等约束下的信道编码方案；（3）面向超可靠低时延场景的编码与传输联合优化技术。针对工业互联网、车联网、触觉互联网等通信场景，研究超高可靠性、超低时延的短码设计与联合优化方法。

**（二）智能反射面辅助的新型无线通信数学理论与数学技术（申请代码1选择A04、A06下属代码）**

针对短距离无线通信节点作用距离有限、小区边缘无线基站干扰用户等问题，利用新兴的智能超表面技术人为改变无线通信信道特性，探索基于智能超表面电磁波数学特性的高效可控信号增强与抵消技术。主要研究：（1）智能超表面辅助的下行多用户通信系统的理论容量界，提出利用智能超表面扩大无线通信覆盖范围的数学方法；（2）研究智能超表面辅助的多小区通信系统的理论容量界，提出利用智能超表面改善小区边缘受干扰用户通信质量的策略与方法；（3）研究以上场景下多智能超表面辅助的无线通信系统的理论容量界，提出智能超表面的优化部署方案；（4）发展多字母概率空间内的泛函表示理论、次可加性等数学工具，建立统一的智能超表面辅助无线通信系统的性能界理论，指导未来无线通信系统的设计与实现。

**（三）感知与通信融合条件下的语义信息理论（申请代码1选择A04、A06下属代码）**

针对传统通信网络架构单纯追求数据传输性能，忽略数据中所包含的信息内容和语义，导致用户信息理解效率低及体验差等缺陷，以更具普适性的语义作为性能指标，建立新的通信信息理论，为机-机智联、人-机智联与人-人智联的未来通信提供理论基础。主要研究：（1）语义的数学刻画与表征度量：包括语义符号库与知识库建模、语义符号编解码方法；（2）语义通信网络模型与知识的共享机制：包括知识库的共享与迁移、语义模型的共享与迁移、多智能体间的语义协同方法；（3）语义的跨域感知与识别：包括多域知识融合的语义感知与识别方法、语义的动态感知与识别、主观因素（如用户情绪、性格、社交关系等）对语义的影响建模与识别方法；（4）语义通信的性能刻画：包括语义通信的信道容量、网络容量、语义失真率、多义性理解偏差度量;（5）语义的交互认知：包括通过交互构建语义知识库的方法、机-机交互、人-机交互和人-机交互对语义感知和识别的影响。

**（四）通信计算一体化环境下的信息论（申请代码1选择A04、A06下属代码）**

针对分布式计算与通信一体化场景，推广单一性能目标的香农信息论到包含容错率、速率、时延、学习性能的多性能指标信息论,以此为基础，优化网络编码，提升计算与通信整体性能。主要研究:（1）容错编码与分布式计算理论。利用最大距离可分码（MDS）、概率码、非线性编码等技术削弱不可靠计算的影响，提升网络学习鲁棒性，并建立容错能力与计算性能之间的数学关系；（2）编码-压缩-通信一体化设计方法。引入网络编码、时变量化、用户调度等技术，通过网络通信资源在多个维度上的联合优化，提高传输效率、减少带宽消耗、降低网络时延，并且提供对恶意节点攻击的抵抗能力。（3）安全内生的多层次联邦学习技术。设计基于差分隐私的编码方案，在保证总体函数被可靠学习的前提下，保障用户数据和用户偏好的隐私性，实现计算学习和数据安全的融合。

**三、资助计划**

本专项项目资助期限为4年，项目研究团队须由包含数学、网络通信等不同领域专家组成，采取双负责人制（其中一位负责人应为数学研究人员，排名第一负责人为项目总体负责人）。项目研究期限应填写“2022年1月1日-2025年12月31日”。计划资助3-4项，平均资助强度为300-400万元/项，资助经费总强度约为1200万元。

**四、申请要求及注意事项**

（一）申请资格

1.具有承担基础研究课题的经历；

2.具有高级专业技术职务（职称）；

在站博士后研究人员、正在攻读研究生学位以及无工作单位或者所在单位不是依托单位的人员不得作为申请人进行申请。

（二）限项申请规定

1.本专项项目申请时计入高级专业技术职务（职称）人员申请和承担总数2项的范围。

2.申请人同年只能申请1项专项项目中的研究项目。

3.应符合《2021年度国家自然科学基金项目指南》中对申请数量的限制。

（三）申请注意事项

1.**申请书报送日期为2021年11月1日-11月7日16时**。

2.本专项项目申请书采用在线方式撰写。对申请人具体要求如下：

（1）申请人在填报申请书前，应当认真阅读本申请须知、本项目指南和《2021年度国家自然科学基金项目指南》的相关内容，不符合项目指南和相关要求的申请项目不予受理。

（2）本专项项目旨在紧密围绕**“面向未来通信的数学基础（信息论）**”，集中国内优势研究团队进行研究，成为一个专项项目群。申请人应根据本专项项目拟解决的具体科学问题和项目指南公布的拟资助研究方向，自行拟定项目名称、科学目标、研究内容、关键科学问题、技术路线和相应的研究经费等。

（3）申请人登录科学基金网络信息系统https://isisn.nsfc.gov.cn/（没有系统账号的申请人请向依托单位基金管理联系人申请开户），按照撰写提纲及相关要求撰写申请书。

（4）申请书中的资助类别选择“专项项目”，亚类说明选择“研究项目”，附注说明选择“科学部综合研究项目”,申请代码1应当按照拟资助研究方向后标明的代码要求选择数理科学部相应的申请代码。**以上选择不准确或未选择的项目申请将不予受理。**

（5）请按照“专项项目-研究项目申请书撰写提纲”撰写申请书时，**请在申请书正文开头注明“面向未来通信的数学基础（信息论）之研究方向：XXX（按照上述4个研究方向之一填写）**”**。**

申请书应突出有限目标和重点突破，明确对实现本专项项目总体科学目标和解决核心科学问题的贡献。

如果申请人已经承担与本专项项目相关的其他科技计划项目，应当在申请书正文的“研究基础与工作条件”部分论述申请项目与其他相关项目的区别与联系。

3.申请人应当严格按照《国家自然科学基金资助项目资金管理办法》等相关规定和《国家自然科学基金项目资金预算表编制说明》的具体要求，按照“目标相关性、政策相符性、经济合理性”的基本原则，认真编制《国家自然科学基金项目预算表》。

4.本专项项目采用无纸化申请，申请人完成申请书撰写后，在线提交电子申请书及附件材料。依托单位只需在线确认电子申请书及附件材料，无须报送纸质申请书，但应对本单位申请人所提交申请材料的真实性和完整性进行认真审核，在项目申请接收截止时间前通过信息系统逐项确认提交本单位电子申请书及附件材料；**在申请截止时间后24小时内在线提交项目申请清单。**项目获批准后，依托单位将申请书的纸质签字盖章页装订在《资助项目计划书》最后，在规定的时间内按要求一并提交。

5.本专项项目咨询方式：

国家自然科学基金委员会数学物理科学部综合与战略规划处

联系人：陈国长、张攀峰

联系电话：010-62326910、6911

（四）其他注意事项

1.为实现专项项目总体科学目标，获得资助的项目负责人应当在项目执行过程中关注与本专项其他项目之间的相互支撑关系。

2.为加强项目之间的学术交流，本专项项目群将设专项项目总体指导组和管理协调组，并将不定期地组织相关领域的学术研讨会。获资助项目负责人必须参加上述学术交流活动，并认真开展学术交流。