

**国家重点研发计划宽带通信和新型网络重点专项  
大维智能共生无线通信基础理论与技术（基础研究类）**

## **项目简报**

**第 2 期**

华中科技大学主办

2021 年 08 月 03 日

---

### **本期导读**

- **专项办通知公告**

- ◇ 科技部发布关于《国家重点研发计划项目中期检查工作规范（试行）》的通知
- ◇ 科技部办公厅《关于坚决遏制国家重点研发计划项目（课题）“突击花钱”中“四风”问题的通知》
- ◇ 科技部科技监督与诚信建设司《关于汇交科研作风学风和科研诚信建设情况的通知》

- **项目进展情况**

- ◇ 项目组 2021 年中交流会召开
- ◇ 项目组专题讲座第一期“专利课堂”召开

- **项目重要成果选编**

- ◇ 背向散射通信与主被动共生通信系统设计与实现
- ◇ 超大规模天线非均匀球面波信道建模与性能分析
- ◇ 基于多天线的环境反向散射系统的最佳检测器设计
- ◇ 基于智能超表面的共生无线电调制方案设计

- ◇ 数据辅助的免调度传输技术研究
- ◇ 基于脑电响应的流畅度评价研究

● **项目社会经济效益**

- ◇ 科研基地
- ◇ 人才培养
- ◇ 知识产权
- ◇ 交流合作
- ◇ 荣誉奖项

## 专项办通知通告

# 科技部发布关于《国家重点研发计划项目中期检查工作规范（试行）》的通知

国科资函〔2018〕3号

各有关司局、各项目管理专业机构、各有关单位：

为组织做好国家重点研发计划项目中期检查工作，推动项目按期完成任务目标，根据《国家重点研发计划管理暂行办法》（国科发资〔2017〕152号）和《国家重点研发计划资金管理办法》（国科发资〔2016〕113号），我们制定了《国家重点研发计划项目中期检查工作规范（试行）》。现印发给你们，请遵照执行。

国家重点研发计划实行项目中期检查制度，执行期为3年及以上的项目应在实施中期开展检查工作，目的在于及时了解项目执行进展情况，发现和解决项目实施中的重大问题，对项目能否完成预定任务目标做出判断。

科技部资源配置与管理司

2018年1月30日

《国家重点研发计划项目中期检查工作规范（试行）》详见如下网址：

<https://mp.weixin.qq.com/s/FXFKg-fWrNEt99u1eYyJPQ>

## 科技部办公厅《关于坚决遏制国家重点研发计划项目（课题）“突击花钱”中“四风”问题的通知》

科技部办公厅 2021 年 3 月 8 日向各项目管理专业机构、国家重点研发计划项目（课题）承担单位及其主管部门下发了《关于坚决遏制国家重点研发计划项目（课题）“突击花钱”中“四风”问题的通知》。十九届中央纪委五次全会明确将科研管理领域作为反腐败重点领域之一，体现了中央纪委国家监委对科研领域全面从严治党和党风廉政建设工作得高度重视。近日，中央纪委国家监委党风政风监督室专门就遏制科研机构“突击花钱”问题提出要求，这是贯彻落实十九届中央纪委五次全会精神部署，围绕强化国家战略科技力量加强监督检查，保障“十四五”规划顺利实施得重要举措。为落实党中央决策部署和十九届中央纪委五次全会精神，加强国家重点研发计划项目资金管理，防止科研单位在岁末年初或临近结题验收时出现“突击花钱”现象，坚决遏制“四风”问题，通知内容主要包括：一、高度重视，提高站位，牢固树立“过紧日子”思想；二、严明纪律，筑牢防线，严禁违规安排支出；三、关口前移，防微杜渐，积极构建加强科研经费管理的长效机制；四、协同联动，统筹推进，发挥好各类监管主体的作用。

各单位要高度重视、精心谋划、认真推进，将遏制“突击花钱”工作做实做细，切实营造科研领域风清气正的政治生态和良好发展环境。同时，在开展监督检查过程中，注重提高效率，创新方法，避免出现多头、重复检查现象，不给科研单位和科研人员增加额外负担。

## 科技部科技监督与诚信建设司《关于汇交科研作风学风和科研诚信建设情况的通知》

各国家科技计划（专项、基金等）任务承担单位：

为贯彻落实中共中央办公厅、国务院办公厅《关于进一步弘扬科学家精神加强作风和学风建设的意见》《关于进一步加强科研诚信建设的若干意见》，根据科技部、自然科学基金委《关于进一步压实国家科技计划（专项、基金等）任务承担单位科研作风学风和科研诚信主体责任的通知》（国科发监〔2020〕203号）要求，国家科技计划（专项、基金等）任务承担单位每年年底要通过国家科研诚信管理信息系统报告本单位科研作风学风和科研诚信建设情况。

各国家科技计划（专项、基金等）任务承担单位2020年科研作风学风和科研诚信建设情况，请于2021年4月9日前汇交至国家科研诚信管理信息系统，以后年度的建设情况请按要求于每年12月31日汇交。汇交流程为：登录国家科技管理信息系统公共服务平台 (<https://service.most.gov.cn>)，点击“监督评估”菜单中“科研作风学风和科研诚信建设”子菜单，按照填写提示汇交有关内容。

特此通知。

科技部科技监督与诚信建设司

2021年3月12日

详见如下网址：[https://service.most.gov.cn/kjjh\\_tztg\\_all/20210315/4210.html](https://service.most.gov.cn/kjjh_tztg_all/20210315/4210.html)

## 项目进展情况

### 项目 2021 年中交流会召开

2021 年 7 月 20 日、21 日，由我校江涛教授牵头承担的国家重点研发计划“宽带通信和新型网络”重点专项“大维智能共生无线通信基础理论与技术”项目年中交流会在华中科技大学召开。

20 日，江涛教授首先向应邀参与会议的重点研发团队成员表示热烈的欢迎。江涛教授表示，各课题/单位将在未来进行更加密切的交流，形成更加高效紧密的合作，以望能够尽快达到甚至超过本项目预期指标。

华中科技大学代表就指标完成情况，组织管理情况，社会经济效益，代表性成果等方面对整个项目的完成情况进行了详细的汇报，项目组内各方对研究成果进行了高度肯定，并就各子课题的具体问题提出了指导性意见。

东南大学、浙江大学、西南交通大学、中兴通讯股份有限公司以及清华大学等与会各单位依次阐述了所负责子课题的中期指标完成情况、社会经济效益、代表性成果等。

21 日，会议进行了中期检查政策宣贯和财务管理培训，并就本项目各个重要事项进行了讨论；最后，各单位对自己的优秀研究成果进行了具体的展示和讲解，并分课题进行了技术交流与讨论。

此次交流会，项目组各单位从结果层面展示了各课题/子课题的中期研究成果，在诸多方面达成共识，且促进了项目组成员之间的相互交流。

新闻网址：

[http://eic.hust.edu.cn/professor/jiangtao/ZDYF\\_web/html\\_progress/progress\\_02\\_news.html](http://eic.hust.edu.cn/professor/jiangtao/ZDYF_web/html_progress/progress_02_news.html)

## 项目组专题讲座第一期“专利课堂”召开

2021年7月28日，项目组专题讲座第一期以线上的形式召开，会议邀请了中兴通讯股份有限公司的马一华高级工程师为项目组各参与单位师生分享了专利的写作经验。

会上，马一华高工从公司专利申请策略的专利类型、技术交底书作用、技术交底书内容、技术交底书各部分撰写要点四个方面进行了专业、详尽的介绍。之后，项目组各参与单位师生就技术特征、实现方案、写作技巧、论文与专利间关系等各个方面展开了积极询问和交流，马一华高工一一进行了解答。

会议的最后，组织者江涛教授作了会议总结发言，高度肯定了马一华高工的讲解内容，并凝练了师生提问的核心关注点，最后对参与会议的师生表示了感谢。

按照年中交流会大家达成的共识，接下来会不定期以线上或线下的形式开展专题讲座来促进交流并分享前沿技术。

## 项目重要成果选编

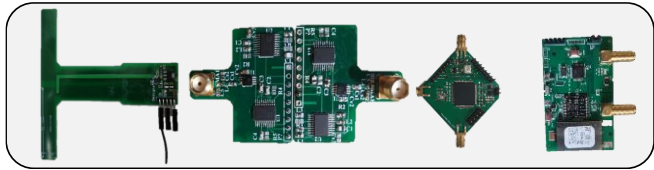
# 背向散射通信与主被动共生通信系统设计与实现

### 第六代移动通信 (6G) 研究中心 (华中科技大学)

作为最具竞争力的低功耗物联网和共生通信解决方案之一,背向散射通信技术受到了广泛关注,并已在理论上取得了超前的成果。然而,受限于硬件与系统,距离其应用还有较大的差距。

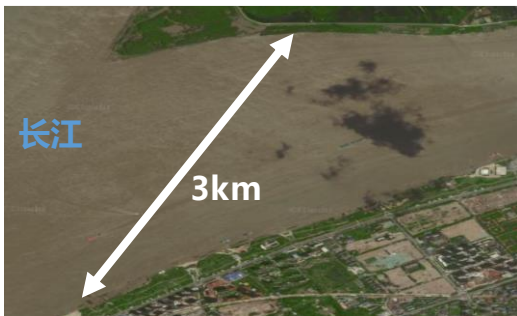
华中科技大学在第六代移动通信 (6G) 研究中心立足于自主研制的背向散射通信核心模块,在远距离、高速率背向散射通信系统及共生无线通信研发上取得了以下突破性成果:

1. 研制了多代被动式通信终端核心模块,实现了基于 LoRa 信号的被动传输、基于



背向散射通信核心模块

STM32 的能量收集、基于脉冲位置调制的 LoRa 信号传输和基于多阻抗匹配网络的高阶调制等功能。



远距离性能测试场景

2. 搭建了基于 LoRa 信号的远距离被动通信系统,设计免同步传输方案,实现了 10 毫瓦功耗下被动通信最远距离大于 3 千米;搭建了基于 IEEE 802.11 协议的高速率背向散射系统,对原协议帧结构

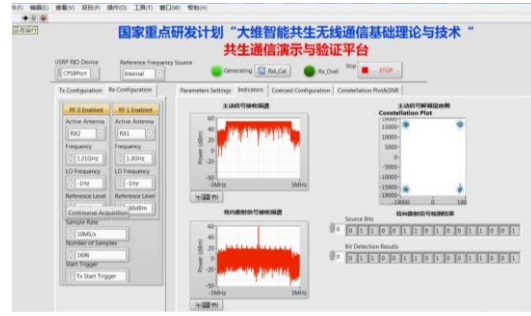
进行了改进,实现了 1.5 米距离、 $10^{-3}$  误码率条件下 10Mbps 的峰值速率。

3. 搭建了基于共生信号的安全传输系统,实现了在假冒攻击和女巫攻击场景下 8.4% 的综合认知误识率;搭建了链路级共生通信演示平台,其中主动信号



采用FBMC调制、被动信号采用ON/OFF移频调制，实现共生信号的准确检测和符号级的检测结果展示。

上述研究成果发表在了 IEEE INFOCOM、IEEE TMC、IEEE TCOM 等国际期刊会议上。



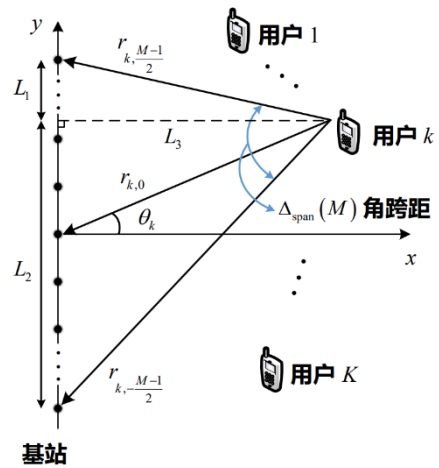
链路级共生通信演示系统界面

## 超大规模天线非均匀球面波信道建模与性能分析

移动通信国家重点实验室 紫金山实验室 (东南大学)

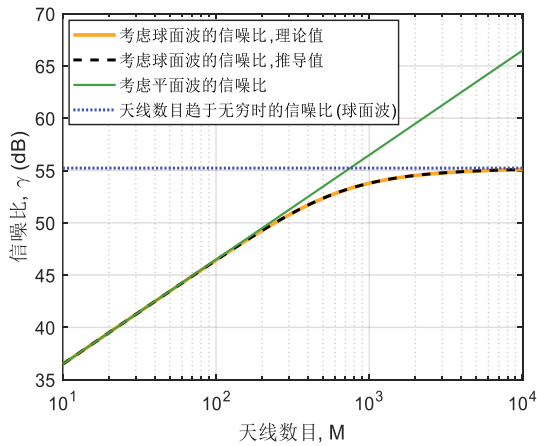
大规模天线是5G的关键传输技术，其典型配置是在基站端部署64根天线。随着移动通信网络对传输速率及接入规模需求的进一步提升，B5G/6G的天线规模及尺寸将会进一步大幅增加，迈向超大规模天线通信时代。同时，伴随着小区半径及通信链路距离的进一步缩小，传统依赖于均匀平面波假设的信道模型不再适用于未来超大规模天线通信，亟需建立精确反应阵列单元间非平面波相位关系及非均匀幅度关系的信道模型，并进行基础性能分析。

为此，东南大学移动通信国家重点实验室与紫金山实验室研究了基于非均匀球面波的超大规模天线通信信道模型与性能分析，取得了如下成果：



超大规模天线通信示意图

1. 考虑超大规模天线阵元间信号相位及幅度的精确关系,摒弃了传统均匀平面波假设,建立了非均匀球面波的超大规模天线信道模型。基于该模型,推导了用户信噪比的闭式表达式。结果表明,对于非均匀球面波模型,用户信噪比不再随天线数目线性增长,而是取决于用户角跨距这个新参数。一方面,当天线数目



用户信噪比与天线数目的关系

较少时,基于非均匀球面波模型的结果与传统平面波结果相吻合。另一方面,当天线数目趋于无穷大时,基于传统平面波模型的用户信噪比趋于无穷,这个结果显然不符合物理规律,而基于非均匀球面波模型的用户信噪比则趋向于定值。

2. 针对多用户超大规模天线阵列通信,揭示了不仅可以利用用户间角度差异性来降低多用户干扰,还可通过用户间的距离差异性进行干扰消除,这为超大规模阵列通信干扰抑制提供了新的自由度。此外,当天线数目较少时,均匀平面波与非均匀球面波模型给出相近的用户和速率。当天线数目显著增大时,由于均匀平面波模型夸大了用户之间的角度分离,即低估了用户之间的干扰,用户和速率明显高估了真实值。

上述研究成果为后续超大规模天线实现超高速率传输及超大规模连接奠定了坚实的理论基础。

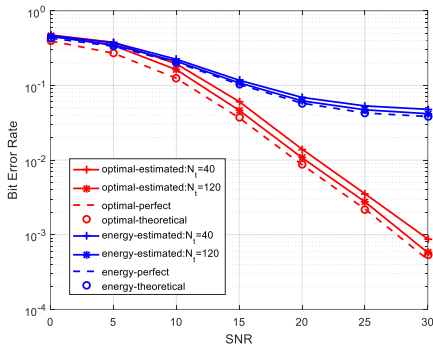
上述研究成果获得了IEEE ICC 2021 最佳论文奖 (best paper award)。

# 基于多天线的环境反向散射系统的最佳检测器设计

浙江大学

基于环境反向散射通信是构建环境友好和可再生物联网的一项有前景的技术，其中反向散射设备利用环境信号作为激励，以此免去其发射信息所需的高功耗射频电路，从而大大降低了电池以及维护成本。

然而由于直射未知环境信号的干扰，微弱反射信号的检测存在较大难度。为实现环境反向散射系统微弱信号的可靠检测，浙江大学信电学院提出利用多接收天线来辅助对抗直射干扰，取得如下主要创新成果：

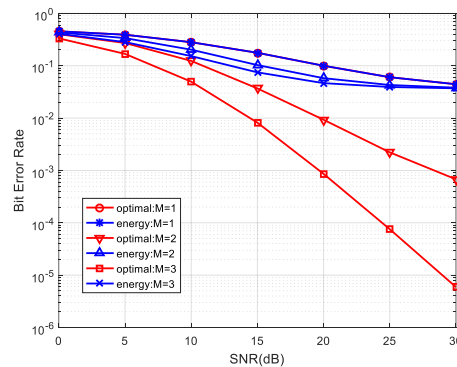


利用估计参数的检测器性能 ( $M=2$ )

1. 提出了基于多接收天线的最佳 (optimal) 检测方法。通过在接收端配置多天线，根据接收信号向量，利用最大后验检测理论推导基于多接收天线的最佳检测器。针对所提出的最佳检测器所需要的系统参数，还提出了参数的估计方法。

2. 提出了基于多接收天线的能量 (energy) 检测方法。由于发射不同符号所导致的信号能量差异显著，利用接收天线信号的能量和推导的门限进行比较，从而进行符号判断。

3. 经过理论分析发现，所提出的最佳检测器在接收天线数目为1时，可退化为能量检测器；当接收天线数目大于1时，能量检测器由



天线数目对检测器的影响

于直射路径的干扰存在误码平台，而最佳检测器由于利用了多天线之间的非线性

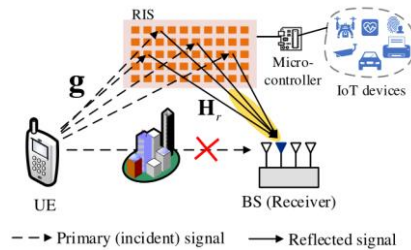
特性，从而消除了高信噪比下的误码平台。

研究成果发表在中科院一区期刊IEEE Internet of Things Journal上。

## 基于智能超表面的共生无线电调制方案设计

西南交通大学

智能超表面含有大规模的低成本无源反射单元，可作为全双工无源中继辅助通信，为无线通信中的频谱稀缺和高功耗问题带来了新的解决方案。共生无线电是一种主被动互惠传输技术，其中被动设备（无源设备）基于反射（散射）技术传输物联网信息，同时辅助主动传输。共生无线电的主要优势是主被动系统间高效共享频谱和功率，实现高谱效和高能效。结合智能超表面和共生无线电，能够进一步提高谱效和能效，也为

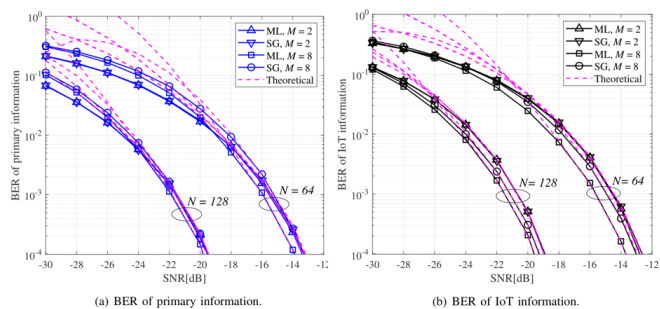


系统模型

B5G/6G大规模物联网传输提供了新的物理层方案，该技术具有广阔的应用前景。

西南交通大学信息编码与传输实验室对基于智能超表面的共生无线电技术进行了研究，并针对相干接收和非相干接收分别设计了调制方案和解调算法。

1. 针对相干接收，设计了基于star-QAM和接收天线索引的空间调制方案(C-SSM)。主动设备采用PSK，智能超表面同时采用二维星座图符号和接收天线索引

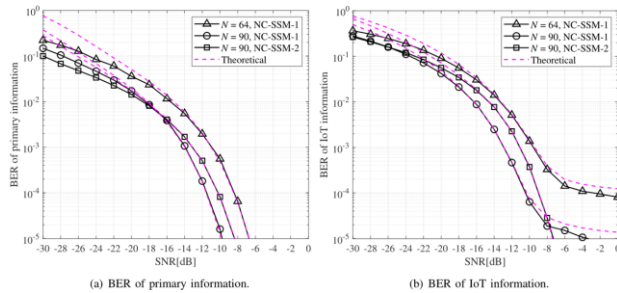


C-SSM 方案误码率

引传输物联网信息。主动设备和智能超表面的星座图符号集联合组成(相乘) star-QAM符号集，智能超表面采用被动波束激活索引号已被编码的天线。研究表明

RIS的单元数 ( $N$ ) 对系统性能有重要影响, 增大 $N$ 能显著提高系统性能。另外, 研究还发现, 基于接收天线索引的调制技术具有良好的性能, 增大其调制阶数(也即天线数), 误码性能变化不明显。

2. 针对非相干接收, 设计了两种空间调制方案, 两种方案均采用了二维星座图与接收天线索引传输信息。一种采用曼彻斯特编码对RIS的反射幅度进行控制以映射信息 (NC-SSM-1), 另一种则不采用幅度调制 (NC-SSM-2)。



NC-SSM-1/2 方案误码率

研究表明, 在不同信噪比条件下NC-SSM-1和NC-SSM-2各有优势, 在实际场景中, 应根据具体的信道条件选择调制方案。另外, NC-SSM-1在高信噪比条件下会导致物联网信息的误码率出现错误平台。因此, 在高信噪比下, NC-SSM-2是更好的方案。所提调制技术为高效实现基于RIS的共生无线电提供了可行方案。

相关研究成果已经发表在IEEE Transactions on Vehicular Technology期刊上。

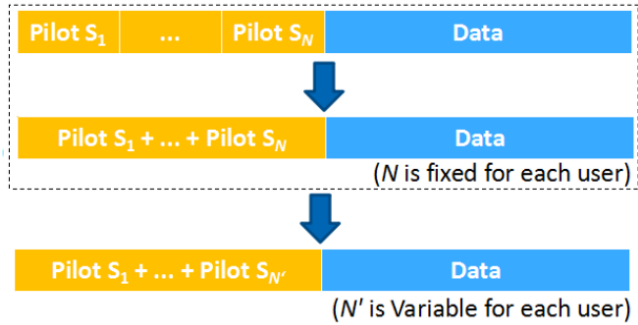
## 数据辅助的免调度传输技术研究

### 移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室 (中兴通讯)

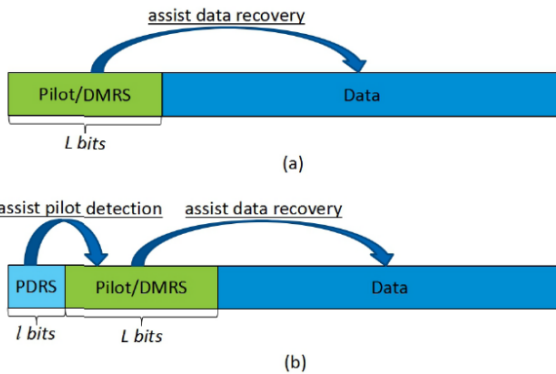
随着通信技术的不断发展, 面向机器的通信有望在未来发挥更加重要的作用, 为生产生活创造更大的经济价值。和面向人的通信不同, 机器通信的主要业务是面向海量终端的偶发式小包通信。如果仍然采用传统基于调度的传输, 基站需要和大量终端节点进行交互, 为小包数据消耗很大的信令开销, 严重限制了海量机器通信效率。移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室针对终端自主配置导频

的传输方式展开研究，重点关注从接收信号的数据中提取有效信息，提高多用户传输能力，取得如下主要创新结果：

1. 提出多导频的不同场景下的性能边界，提出在大维天线和海量用户下，成环概率是关键。优化导频结构，从级联多导频，演进到叠加多导频，再到非规则叠加多导频，可以取得明显的性能优势。相关研究成果输出国内和 PCT 专利各一篇，PIMRC 2021 会议论文一篇。



面向大维系统的新型导频结构



$$\mathbf{W} = \mathbf{P}\mathbf{Y}^{\dagger} \quad \mathbf{s} = \{n_1, n_2, \dots, n_\xi\} = \arg \min_n \|\mathbf{w}_n \mathbf{Y}_R - \mathbf{r}_n\|_2^2$$

面向大维系统的超低辅助检测方案

2. 大维天线下传统的非正交导频方案和算法复杂度极高，即便 AMP 可以解决贪婪算法中矩阵求逆复杂度的问题，大维举证乘法的复杂度仍然很高。针对这个问题，提出一种超低辅助检测

方案，借助短序列辅助检测，大大降低矩阵乘法的维度。此外，所提出的算法无需迭代，只需要一次检测和排序。结合这两点大大减少复杂度。研究成果输出国内和 PCT 专利各一篇，WCL 短文期刊论文一篇。

3. 结合数据的特征，开展了减小导频开销的研究，其中方案 2 中的短序列开销可以通过数据进行功能的替代，进一步提升了谱效。



# 基于脑电响应的流畅度评价研究

清华大学

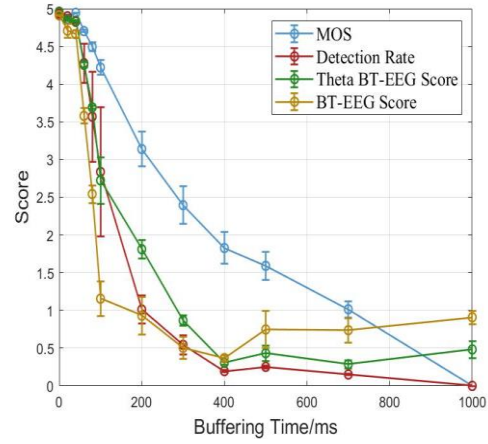
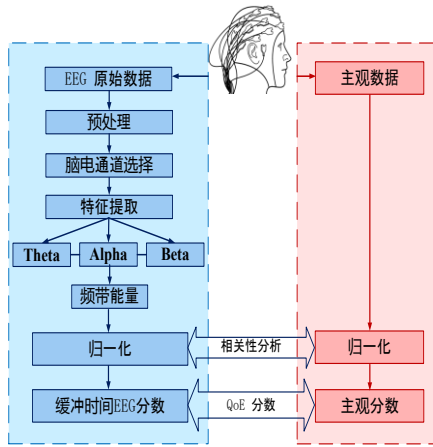
随着无线通信技术与多媒体业务种类的快速发展,通信的主要价值不仅仅是准确传递信息更体现在满足人们具体的体验需求。基于服务质量(QoS)层面的客观技术指标评价方法难以匹配当前无线视频通信的发展需求,因此必须发展面向体验的无线视频质量主观评价方法。EEG信号是对人类思维活动的直接反映,其量化可以实现不带有主观偏差的感知评价,能更为准确地衡量用户的体验质量。本研究针对视频卡顿现象这一用户普遍面对的场景,根据脑电响应对视频流畅度的评价方法进行研究,取得了多项原创性成果:

1. 建立了以1000ms内视频卡顿时长为变量的脑电数据库。通过征集志愿者、观看卡顿视频并记录对应脑电信号的方式建立了脑电数据库。所包含卡顿时长分别为0ms、20ms、40ms、60ms、80ms、100ms、200ms、300ms、400ms、500ms、700ms、1000ms共计12个等级。通过所建立脑电数据库可以进一步通过脑电数据研究视频流畅度的用户体验质量评价方法。

2. 通过计算脑电数据库中卡顿视频对应脑电信号中Theta (4-8 Hz)、Alpha (8-13 Hz) 和Beta (13-30 Hz) 三个频段的信号功率谱密度作为脑电量化计算的特征,提取对应信号频段的能量后进行规范化处理,最终可以得到不同视频卡顿时间对应不同的分数,以此作为脑电响应对视频流畅度的评价方法。

3. 此外,还计算了实验下的MOS和侦测率分数(DRScore),并计算与脑电评价方法之间的相关系数。从中可以看出MOS和DR评分与基于脑电信号的评分有很强的相关性,尤其是Theta波段的相似性最高。通过计算三者之间的平均方差可以看出基于脑电相应的流畅度评价方法是有效的,且相比于主观方法具有更

好的鲁棒性。



(a) 信号处理流程图

(b) 脑电响应对视频流畅度的评价结果

上述研究成果发表在ICIP 2021国际会议上。



## 项目社会经济效益

### 1. 科研基地

项目牵头单位华中科技大学成立“第六代移动通信研究中心”。

### 2. 人才培养

在人才培养方面，截止 2021 年 07 月 20 日，本项目已为近 200 名青年教师、博士生、硕士生和公司职员提供了高水平科研平台及环境，并指导 1 名博士后顺利出站（清华大学 1 名）、14 名研究生顺利毕业（华中科技大学 1 名，东南大学 2 名，浙江大学 4 名，西南交通大学 3 名，清华大学 4 名），其中博士研究生 10 名（华中科技大学 3 名，东南大学 2 名，浙江大学 2 名，西南交通大学 2 名，清华大学 1 名）。

另输送新加坡南洋理工联培博士 1 名（程亚军）、新加坡国立大学联培博士 1 名（陶琴）。

### 3. 知识产权

在知识产权方面，截止 2021 年 07 月 20 日，已发表或接收期刊及会议论文 47 篇，申请发明专利 17 项，提交标准提案 4 项，对未来标准的潜在技术进行保护，所取得的成果涵盖大维智能共生无线通信基础理论、技术与系统。

### 4. 交流合作

(1) 项目组成员在 IEEE INFOCOM、IEEE GLOBECOM、IEEE ICC、IEEE ICCS、ICRA、VTC、6G WS 等国际、国内顶级通信会议上展示了相关研究方案和成果，提升了研究工作的国际影响力。

(2) 项目组成员受邀在国内外知名高校和研究机构（如澳门大学、南京大学、鹏城实验室等）、以及重要学术会议（如 5G 通信与大数据技术前沿高端论

坛、浙江省信息通信技术前沿论坛等)作专题报告。项目参与单位中兴通讯股份有限公司作为报告人牵头 5G 2-step RACH 标准的讨论,项目/课题骨干作为后台支撑 2-step RACH 的研究和讨论。

(3) 项目/课题骨干金石教授的牵头组织下,围绕可重构智能表面(Reconfigurable Intelligent Surfaces, RIS),举办了 RIS 系列线上前沿讲座,邀请了国内外 RIS 专家进行讲座,向数以千名的研究者分享了 RIS 的最新前沿,取得了非常热烈的反响。讲座已办十三期,金石教授作了第一期报告。

(4) 项目/课题骨干参与 6G Summit、智能超表面白皮书撰写、同时作为主要贡献者参与了 6G Flagship 牵头的 6G MTC White Paper 的撰写,将自研技术及方案输出到国际上,同时掌握未来标准的潜在技术最新动态。

(5) 项目/课题骨干陶晓明研究员作为 Organization & Financial Chair 组织了 20th IEEE International Conference on Cognitive Informatics & Cognitive Computing 会议。

## 5 荣誉奖项

1. 2020 GLOBECOM 最佳论文奖(浙江大学)
2. 2021 ICC 最佳论文奖 1 项(东南大学)
3. 2 人获 2020 年博士研究生国家奖学金(陈耘、胡小玲)

---

地址:湖北省武汉市武昌洪山区珞喻路 1037 号 邮编:430074

电话:027-87793073 15527796484

Email: [sinc\\_lab@163.com](mailto:sinc_lab@163.com) [yuzhang123@hust.edu.cn](mailto:yuzhang123@hust.edu.cn)

---

编辑:江涛、张宇

---