

课 题 目 录

一、影像技术

- 1.1 高精度面阵型多光谱重构技术研究
- 1.2 基于非接触式反射光谱的皮肤光学研究
- 1.3 基于超表面的 Image Sensor 光学结构研究
- 1.4 基于 AIGC 技术的实时视频超分
- 1.5 基于三维高斯溅射的数字人三维重建
- 1.6 基于用户反馈的模型优化链路的人像美颜效果技术
- 1.7 人脸质量及肤质感知 Face-IQA 技术
- 1.8 人像恢复增强算法研究
- 1.9 运动人像自动曝光算法研究
- 1.10 自动人像构图算法研究

二、硬件技术

- 2.1 6.75MHz 高功率可集成逆变整流控制系统
- 2.2 毫米波相控阵无线充电系统
- 2.3 电池健康度精准预测算法模型开发
- 2.4 锂电池正负极阻抗检测及电位控制方法研究
- 2.5 锂电池 EIS 阻抗检测技术

三、通信技术

- 3.1 提升 MIMO 近场区传输性能的研究
- 3.2 外场环境下 Wi-Fi 无线网络的建模与仿真
- 3.3 基于无线终端 Wi-Fi CSI 的电梯场景识别算法研究
- 3.4 城市高楼环境下的精准定位
- 3.5 基于无线终端的全场景智能精准识别
- 3.6 室内高精度定位导航
- 3.7 判断 UE 拥塞场景

3.8 利用 SSB 信号确定最强信号方向

四、智能终端技术

- 4.1 复杂场景下智能穿戴设备的融合定位技术
- 4.2 手腕背部解剖结构及手表反射式 PPG 产生原理研究
- 4.3 睡眠剥夺的量化分析及其对认知与健康影响的评估
- 4.4 基于计算机视觉的中餐食物能量摄入估计研究
- 4.5 开放式耳机设计中主动抗噪技术的设计与实现

五、新材料

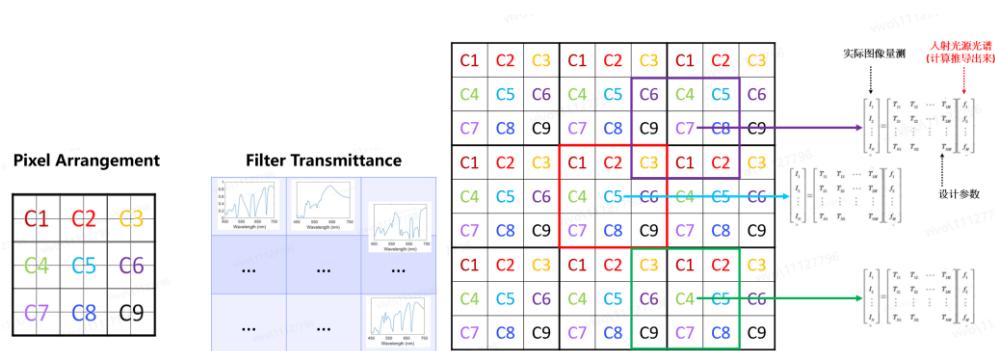
- 5.1 手机散热技术创新

一、 影像技术

1.1 高精度面阵型多光谱重构技术研究

技术背景

2024 年手机行业开始规划导入面阵型的多光谱 sensor，与传统 RGB sensor 搭配用于画质增强，对较复杂的光源场景提供精准的色彩还原能力。目前行业两家主流的小型化多光谱 sensor 供应商（Seetrum 与光，QS 求是）均采用“Reconstructive spectral 光谱重构”技术，经由 sensor 实际图像输出数据与预先已定义好的多通道宽光谱设计参数，通过解欠定方程（dictionary learning and compression sensing techniques），计算出场景光谱分布数据，然而目前此技术的光谱还原精准度在各种色温光源下离实际场景应用的需求还有很大差距。为了在场景光谱还原的准确性（算法）以及多光谱 sensor 性能/空间分辨率（硬件）之间取得最佳平衡，需要对算法与硬件设计进行探索，为后续技术研发提供参考。



技术挑战

基于光谱重构技术，如果多光谱 sensor 上采用的多光谱 CFA (color filter array) 种类越多，虽然可以增加场景光谱还原的精准度但是会牺牲空间分辨率，同时增加算法复杂度以及平台算力的需求。采用的多光谱 CFA 越多，硬件制造复杂度以及硬件成本也会跟着增加。如何在兼顾场景使用价值与图像效果下，开发出一个高精度面阵型多光谱 sensor 是一个重要技术课题。

当前结果

vivo 对多光谱 sensor 的重建算法以及相关硬件方面的技术积累还不够全面和深入。目

前多光谱供应商提供的算法能控制的输入参数有限,对于场景光谱的还原不能满足我们的需求, vivo 需要在多光谱 sensor 开发和应用方面进行探索。

技术诉求

主要技术诉求包括三方面:1)在多光谱信号处理 pipeline 框架下,如何从多光谱 sensor 的 CFA 光谱形态以及图像数据输出,经由宽光谱重构算法还原出场景光谱数据; 2) 光谱重构算法研究,在公开或自有数据集上验证光谱还原精准度; 3) 基于多光谱传感器的图像数据,高效还原出各场景环境下(实验室、实景、低光环境下)物体的实际颜色。除了一般理论技术评估外,可采用行业的商用方案(与光,求是)进行实景验证。

前瞻技术诉求: 目前的多光谱 sensor 通过 CFA 方式实现,未来可能会被半导体制程工艺制作的超表面(Meta-surface)结构取代,希望探索超表面结构在多光谱 sensor 开发和应用中的优势和劣势。

课题申请人可在主要技术诉求和前瞻技术诉求中任选其一,也可两者都选。

1.2 基于非接触式反射光谱的皮肤光学研究

技术背景

随着多光谱阵列传感器的小型化与精度提升,已逐渐具备结合进移动消费设备的条件,并可研究其在皮肤光学领域中的应用。现有在光谱学与生物学领域的皮肤光学探索,一般基于荧光检测、二次谐波显微成像或接触式测量,而在移动消费领域,更偏向于使用多光谱阵列传感器完成对面部整体皮肤状态的分析,贴合用户的日常使用需求。

技术挑战

面部反射光谱,现实中会受多重因素影响,包括:

- 1) 使用者所处环境光源及其干扰;
- 2) 多光谱传感器帧率(用户保持不动情况下的时间与位移);
- 3) 多光谱阵列传感器的空间精度、光谱精度;
- 4) 面部化妆影响。

考虑到消费者日常使用场景的复杂性及用户体验，面部反射光谱的计算精度与速度是重要的探索方向。

当前结果

目前使用多光谱阵列传感器，通过成像在较短时间内达到的皮肤检测，更多还是依据颜色空间转换（RGB→Red/Brown）检测血红蛋白与黑色素，如何进行较高精度、更多维度的皮肤检测仍是值得探索的研究方向。

技术诉求

使用多光谱阵列传感器，通过成像在较少帧内达到较高精度的皮肤检测。

任务 1：探究反射光谱检测面部皮肤的可行性，提出检测方法及硬件需求。探索方向不限于（可选其中几项）：色斑/痣、角质栓、紫质、卟啉、血红蛋白-氧合作用预测、红血丝、含水量、含油量、白皙度、皱纹/细纹（程度分析）、各种分泌物、化妆品吸收率、血氧/血糖/心率、皮肤疾病检测。申请人也可提出新的检测方向共同探讨。因多光谱阵列传感器目前仍基于硅基 CMOS 传感器，因此探测波长范围约为 380-940nm。在紫外波段不能添加主动光源，仅可接受被动环境光（可探索 CMOS 可响应的紫外波段内的量测，设定环境为阳光下）。

任务 2：探究环境因素（温度/湿度/光照强度等）对以上测试结果的影响。

任务 3：（在满足任务 1 后的附加任务）身体其他部位的皮肤问题检测（可考虑添加主动光源，贴合式）。

1.3 基于超表面的 Image Sensor 光学结构研究

技术背景

超表面作为一种全新的功能材料，其本身由分布在表面上的人工微纳结构所组成。这一与光波长相近的结构单元促使其可以与周围光场进行独特的相互作用，展现出不同寻常的光线调制效果。相较于传统光学元件，超表面具有超轻、超薄的特点，这使得手机等便携式设备在设计上可以实现更加轻薄的外形及更多样化的功能，提升用户体验。

技术挑战

传统 Image Sensor 表面的光学结构有两层：color filter array(CFA)及 Micro Lens Array (MLA)。

CFA 阵列：对波长采取筛选机制，滤除了其他波长光，能量损失较大，弱光响应能力较差。

MLA：随着 Sensor pixel size 越来越小， MLA 的设计与制成精度极大影响 Sensor 的性能表现。

CFA 与 MLA 的性能提升，会给 Sensor 的噪声、模组的解析力以及其他画质因素带来较大收益，有助于目前瓶颈问题的优化与解决。

当前结果

目前使用超表面的新型 Sensor，替代 MLA 或者 MLA+CFA 的方案，在解析力、crosstalk、shading 等方面仍有较大提升空间。在设计、材料、制成工艺上寻找突破方向。

技术诉求

将超表面器件用于 Sensor 光学结构，达到使用超表面替代 MLA 或 MLA+CFA，达到比传统 sensor 更好的低光照性能，其他画质因素无明显下降。

1.4 基于 AIGC 技术的实时视频超分

技术背景

基于 AIGC 的单帧画质增强在学术界有着较为广泛的研究背景。随着 Stability AI 的基模从 SD2.1 迭代到 SDXL，行业内也逐渐涌现了 StableSR、SUPIR 等具备不同生成能力的单帧超分算法，其画质增强效果相较于传统的 VQVAE/GAN 等生成技术，获得了较大幅度的进步。与此同时，各个手机厂商，譬如：小米/OPPO/华为等，纷纷推出基于 AIGC 技术的单帧画质增强算法，在工业界获得了不错的落地效果和良好的市场反响。因此如何将 AIGC 技

术拓展到视频领域，获得能够实时获取的高清画质视频成为了一个重要的手机影像需求。

技术挑战

- 1) 针对当前帧，如何智能筛选临近帧并将周围时序信息融合到 AIGC 的算法结构中，实现画质增强效果的最大化是视频超分领域的核心技术问题。
- 2) AIGC 技术受限于庞大的网络参数量和较高的性能功耗需求，在 GPU 或者手机 SoC 上能够处理的图像分辨率和运行时长都有一定限制。对于视频超分而言，如何在确保较高的图像画质效果基础上，保持较低的性能功耗以获得实时超分的效果，是个重要的技术问题。

当前结果

目前行业内出现了一系列基于 AIGC 技术的单帧超分工作 (StableSR, SEESR, SUPIR 等)，甚至单步超分的工作 (ADDSR, OSEDiff 等)。同时一些学术界的工作在尝试将单帧超分拓展到时序上以实现视频超分 (DiffIR2VR-Zero)，但是视频质量恢复较差，同时无法达到实时的运行速度。

技术诉求

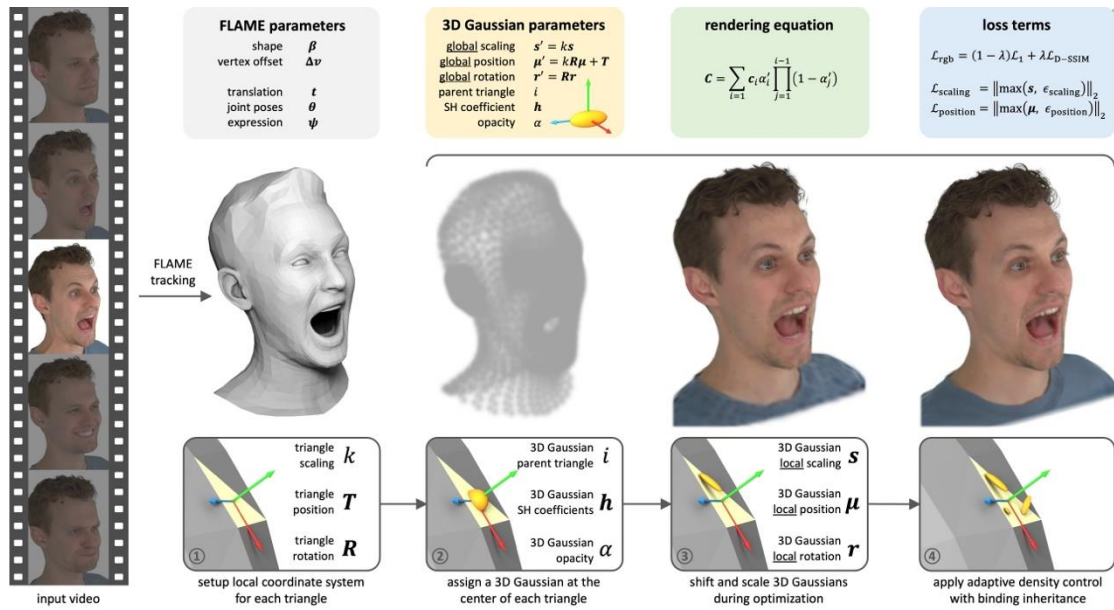
针对一个 512x512 分辨率的视频流，基于 L40S/V100/A100 等当前流行的英伟达显卡，利用 AIGC 大模型 (SD2.1/SDXL/SD3 等) 实现实时的视频超分算法 (30FPS)，且画质重建效果相对于单帧画质超分算法无明显下降 ($\Delta\text{PSNR} < 2 \text{ dB}$, $\Delta\text{SSIM} < 0.1$)

1.5 基于三维高斯溅射的数字人三维重建

技术背景

三维高斯溅射 (3D Gaussian Splatting, 3DGS) 是一种新兴的三维场景表示和渲染技术，使用大量 3D 高斯函数来表示三维场景。每个高斯函数代表空间中的一个点，具有位置、尺度、颜色和透明度等属性。相比传统的神经辐射场技术，三维高斯溅射能够实现实时或近实时的渲染速度，大大提高了交互性。由于使用显式的三维空间表示，三维高斯溅射比起隐式方法

更容易进行局部编辑和修改，因此被广泛的用于数字人三维重建中。



技术挑战

重光照：结合 3DGS 已有的逆渲染（Inverse Rendering）工作，进行数字人的材质、法向量以及环境光照的分解，实现数字人在不同光照条件下的渲染；

可编辑：能够利用大语言模型的能力，对于数字人进行语义三维分析，实现通过文字 prompt 引导进行的三维数字人编辑，例如三维数字人美化等任务；

动态重建：放松三维数字人重建中的约束，能够在自然环境下进行数字人的重建，甚至从人的运动视频中实现三维数字人的重建；

精细结构：可以实现人面部精细结构，诸如头发、眼睛等细节部位的高精度重建。

当前结果

仅针对三维数字人重建以及 3DGS 逆渲染问题进行独立的工作复现与研究，欠缺可重光照、高保真、可驱动的 3DGS 数字人开发经验。

技术诉求

可选择如下部分实现：

- 实现可重光照的 3DGS 数字人重建；
- 实现文本驱动的三维数字人编辑；
- 实现高精度的数字人动态三维重建。

参考文献:

- [1] GaussianAvatars: Photorealistic Head Avatars with Rigged 3D Gaussians, Shenhan Qian, Tobias Kirschstein, Liam Schoneveld, Davide Davoli, Simon Giebenhain, Matthias Nießner
- [2] HUGS: Human Gaussian Splats, Muhammed Kocabas, Jen-Hao Rick Chang, James Gabriel, Oncel Tuzel, Anurag Ranjan
- [3] GaussianHead: High-fidelity Head Avatars with Learnable Gaussian Derivation, Jie Wang, Jiu-Cheng Xie, Xianyan Li, Chi-Man Pun, Feng Xu, Hao Gao
- [4] GPS-Gaussian: Generalizable Pixel-wise 3D Gaussian Splatting for Real-time Human Novel View Synthesis, Zheng, Boyao Zhou, Ruizhi Shao, Boning Liu, Shengping Zhang, Liqiang Nie, Yebin Liu
- [5] Relightable Gaussian Codec Avatars , Shunsuke Saito and Gabriel Schwartz and Tomas Simon and Junxuan Li and Giljoo Nam

1.6 基于用户反馈的模型优化链路的人像美颜效果技术

技术背景

随着大众审美水平的提高，用户对于手机拍人像的标准也越来越高，需要高清质感、真实美等多维度全面保证，而人像审美评价标准偏主观化，当前无法对人像美的标准进行全面客观化的评测。

因此，结合用户审美的反馈机制的模型优化链路就显得非常重要，如果人像美颜算法在模型训练中就可以嵌入用户对于模型效果的评价和反馈信息来指导网络进行针对性的训练学习，那么最终算法会消除主观评测与真实用户审美的效果偏差，模型结果会越来越接近用户的主观审美效果。

技术挑战

1. 如何定义出用户对于人像美颜效果的具体评价反馈信息维度，使得这些反馈信息是可以很好地指导网络进行学习。
2. 基于第1点定义明确的用户反馈信息，如何设计一种有效的反馈机制用于模型训练。

当前结果

目前业界主要基于相关算法评测团队进行人像美颜效果的主观评测，存在整体闭环效率不高以及与用户感知接受的主观偏差。目前也有相关技术研究试图解决这些问题，但仍在前期探索阶段。

技术诉求

任务：

1. 设计一种满足业务需求的用户反馈的模型优化链路的人像美颜效果技术，在实际用户场景测试集中与算法评测团队的人工通过率重合度可以达到 90%。

2. 设计的用户反馈的模型优化链路技术具有通用性和较好的扩展性，比如可以复用到其他涉及用户主观评价的相关任务上，在目前学术界相关成熟算法上加上该反馈机制可以带来至少 10%的提升。

参考文献

- [1] Li L, Liang D, Gao Y, et al. All-e: aesthetics-guided low-light image enhancement[J]. arXiv preprint arXiv:2304.14610, 2023.
- [2] Liang Y, He J, Li G, et al. Rich human feedback for text-to-image generation[C]//Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2024: 19401-19411.

1.7 人脸质量及肤质感知 Face-IQA 技术

技术背景

目前 AI 算法大多按照数据丢给网络“黑盒化”的训练逻辑，这种方法在较多任务上可以满足一般效果需求，但对于人像精细化效果目标来说，这种“黑盒化”的训练逻辑无法满足高标准高稳定性的效果要求。希望可以探索出人脸区域的图像质量和人脸肤质状态等信息来更加“白盒化”地指导人像 AI 算法，实现精细稳定的效果，达到人像高阶审美的需求和应用。

如果可以准确检测出人脸区域的图像质量（比如清晰度、模糊度、噪声水平等），准确识别出人脸区域的肤质状态信息以及人脸不同子区域（比如额头，脸颊，下巴等）的肤质状态，则利用这些信息就可以很好地设计算法前后处理规避模块策略，同时也可以将这些信息嵌入到实际下游任务算法先验框架的构建中，指导下游算法模型可以更加“聪明”地训练学习。

技术挑战

1. 调研定义出切实有用的图像质量以及肤质状态这种颗粒度的具体 IQA 维度，并要求算法具有较高准确性。
2. 设计图像质量信息和肤质状态信息的嵌入机制，以更好地引导提升人像具体任务（以人脸超分算法为下游任务）的效果。

当前结果

目前业界基于图像 IQA 技术的研究已经有所应用，但大多用于前后处理的规避处理上（例如识别到输入图像太模糊就规避这张图像，不做后续算法处理等），但将这些图像质量先验信息直接应用到算法框架的设计中来引导模型训练和提升算法效果，目前暂无特别有效的解决方案。

技术诉求

任务：

1. 设计一种可以准确检测人脸图像质量和人脸肤质状态的 face IQA 技术，检测准确率需要高于 90%
2. 基于人脸超分任务设计一种有效的 face IQA 先验信息的嵌入机制来提升实际模型效果，与不加入先验信息嵌入机制相比，至少可以带来 10%的效果提升（以定量或定性方式衡量）

参考文献

- [1] Wang J, Chan K C K, Loy C C. Exploring clip for assessing the look and feel of images[C]//Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2023, 37(2): 2555-2563.
- [2] Su S, Yan Q, Zhu Y, et al. Blindly assess image quality in the wild guided by a self-adaptive hyper

network[C]/Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. 2020: 3667-3676.

1.8 人像恢复增强算法研究

技术背景

随着大众审美水平的提高，用户对于手机拍人像的要求也越来越高，不仅需要人脸清晰而且也需要人脸以外的身体部位是清晰的。

因此，希望基于图像超分、图像修复等图像恢复增强技术可以不仅实现整体人像（人脸+身体）的超清。目前很多图像增强或者生成类算法都是基于人脸区域进行处理，很少涉及人脸+身体的处理。身体区域其实和自然场景比较类似，穿的衣服佩戴的饰品等都是未知的，没有和人脸区域那么强的结构先验信息，生成类算法的稳定性挑战较大。

技术挑战

1. 人脸+身体的图像分辨率较大，需要设计能处理高分辨率的图像增强技术模型。
2. 人穿戴的衣物随机性很大，身体区域几乎没有和人脸区域一样强的结构先验信息，需要设计稳定的图像生成增强类算法。

当前结果

目前业界对于自然场景的图像超分增强类研究很多，但可以直接在工业界应用的框架很少，主要是因为模型结果与输入的一致性以及算法稳定性比较差，当前仍在探索效果好且稳定性好的技术方案。

技术诉求

1. 设计一种满足业务需求的人像恢复增强技术，在实际用户场景测试中具有较好的定量及定性效果。
2. 设计的人像恢复增强算法效果没有严重的 artifacts 问题。

参考文献

- [1] Yu F, Gu J, Li Z, et al. Scaling up to excellence: Practicing model scaling for photo-realistic image restoration in the wild[C]//Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2024: 25669-25680.
- [2] Wang J, Yue Z, Zhou S, et al. Exploiting diffusion prior for real-world image super-resolution[J]. arXiv preprint arXiv:2305.07015, 2023.
- [3] Wang X, Xie L, Dong C, et al. Real-esrgan: Training real-world blind super-resolution with pure synthetic data[C]//Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision. 2021: 1905-1914.

1.9 运动人像自动曝光算法研究

技术背景

人像摄影对于主体的亮度，影调要求很高。当前手机行业针对人像基本都有基于人脸测光的技术，利用人脸先验信息来达成人脸准确曝光和影调控制的效果。然而，受限于人脸检测的稳定性，路人和主体的无法区分，以及人脸进出带来的不稳定性，需要在人像自动曝光算法上持续研究和提升。

技术挑战

人像检测与分割：首要挑战是准确地检测和分割出图像中的人像，这需要解决背景复杂、光照不均和姿态变化等问题。

主体识别：如何合理的区分出取景画面的真正主体和路人，以规避路人对整体主体测光的准确性和稳定性的影响。

系统时延：取景画面有人物进出时无法及时检测出，导致自动曝光算法不及时和不准确，无法预测画面内容的变化趋势来做到合理曝光和曝光收敛。

当前结果

目前，运动人像自动曝光已经做了一些优化措施，除了人脸信息，还会加入人体，人头等信息做辅助；基于已经识别到人脸场景并进行曝光后，根据人头、人体对曝光结果进行稳

定，防止人脸信息丢失造成曝光突变。

技术诉求

未来在运动人像自动曝光算法研究中，关键的技术诉求包括：

- 1、人物进出的曝光预测：对画面内容能提前预测，提升场景突变的曝光准确性和稳定性。
- 2、系统时延降低：降低系统时延，以做到人眼人脑的协同效率。
- 3、主体识别与感知：结合人像摄影的构图理解，眼神判断等多模态信息，探索画面真正主体识别技术。

1.10 自动人像构图算法研究

技术背景

随着摄影技术的发展和普及，人像摄影在社交媒体、广告和艺术创作中占据了重要位置。人像构图是影响一张照片视觉效果和艺术表达的关键因素之一。传统上，人像构图依赖于摄影师的经验和艺术感觉，但随着计算机视觉和机器学习技术的进步，自动人像构图算法成为可能，可以有效地提高摄影师和非专业用户的摄影质量。

技术挑战

1. 人像检测与分割：首要挑战是准确地检测和分割出图像中的人像。这需要解决背景复杂、光照不均和姿态变化等问题。
2. 构图规则建模：如何从艺术和心理学的角度定义和建模人像构图规则是另一个关键挑战。这涉及到如何平衡主体和背景、使用线条和形状来引导观众视线等方面的复杂技术问题。
3. 个性化和自适应：不同场景、不同用户需求下的个性化构图需求是一个挑战。算法需要能够根据用户的偏好和场景特点进行自适应调整，以生成符合期望的构图结果。

当前结果

目前，自动人像构图算法已经取得了一些进展，在学术界其主要研究与 Image Cropping 相关。主要的成果包括：

规则化模型与生成算法：通过规则化的模型和生成对抗网络，能够模拟和生成符合艺术构图规则的人像布局。

强化学习与优化：一些算法开始探索基于用户反馈和场景分析的个性化构图调整方法，提高了构图的符合度和用户满意度。

技术诉求

自动人像构图算法涉及到计算机视觉、机器学习和人工智能等技术领域的深入研究，通过科技与人文的结合满足用户拍照的需求。关键的技术诉求包括：

融合多模态信息：整合图像内容、情感识别和场景理解等多模态信息，以提高构图算法的智能化水平和适应性。

深化艺术感知能力：进一步研究艺术感知模型，探索如何将艺术理论与计算机视觉技术相结合，以生成更加具有艺术感和情感表达的人像构图结果。

参考文献

- [1] Hong, James et al. "Learning Subject-Aware Cropping by Outpainting Professional Photos." *ArXiv abs/2312.12080* (2023): n. pag.
- [2] Zhang, B., Niu, L., Zhao, X., & Zhang, L. (2022). Human-centric Image Cropping with Partition-aware and Content-preserving Features. *ArXiv, abs/2207.10269*.
- [3] Wang, C., Niu, L., Zhang, B., & Zhang, L. (2023). Image Cropping with Spatial-aware Feature and Rank Consistency. *2023 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 10052-10061.
- [4] Chen, Y., Huang, T., Chang, K., sai, Y., Chen, H., & Chen, B. (2017). Quantitative Analysis of Automatic Image Cropping Algorithms: A Dataset and Comparative Study. *2017 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*, 226-234.

二、 硬件技术

2.1 6.75MHz 高功率可集成逆变整流控制系统

技术背景

无线充电在便携终端上具有广泛的应用。目前手机摄像头持续变大，凸包变厚，导致现在 Qi 协议无线充自由度差的劣势愈发明显：凸包严重，手机背部被顶起，导致无线充电距离变远、线圈设计偏下，与第三方无线充底座难于失配。车载无线充很难找到最佳充电位置。随着工信部进一步放开无线充频率、功率限制[1]，磁共振无线充技术获得了可发展的空间。工信部明确 6.78MHz 为无线充电可用频率，且最大功率限制提升至 80W[1,2]。磁共振技术为无线充发展方向之一，它具有多种优势：1.无线充电自由度大，可以解决线圈位置偏移，凸包带来的充电效率下降问题。2.工作频率提升，线圈电感量设计值小，内部占据空间变小。3.充电距离远，可实现“边玩边充”。

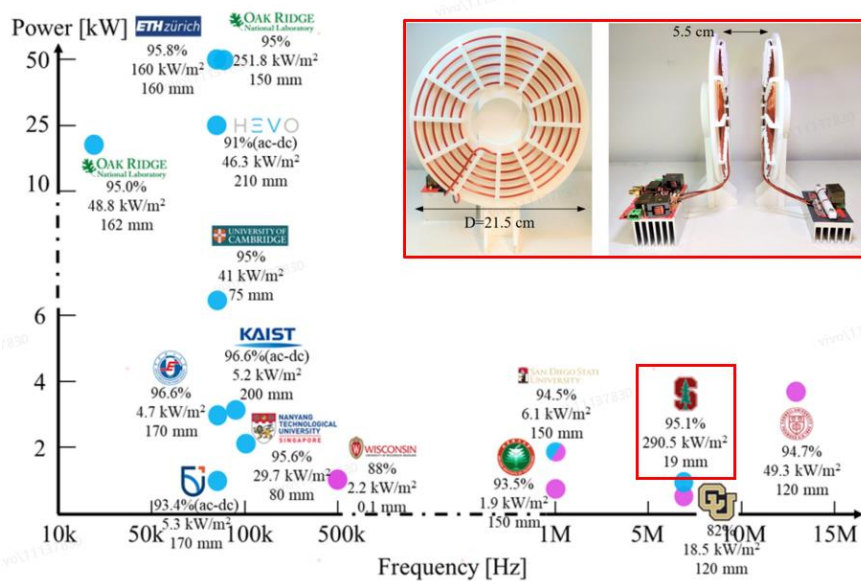


图 1. 磁共振无线充电性能

技术挑战

1. 逆变系统

不同于现有 Qi 协议无线充系统可以使用全桥逆变，射频高功率（6.75MHz）需要引入 E 类开关逆变电路等功率放大技术。随着工作频率提升至 6.78MHz，系统需要考虑射频阻抗匹配问题。随着接收线圈移动，发射电路的负载阻抗有较大波动，系统很难维持在最高效率。

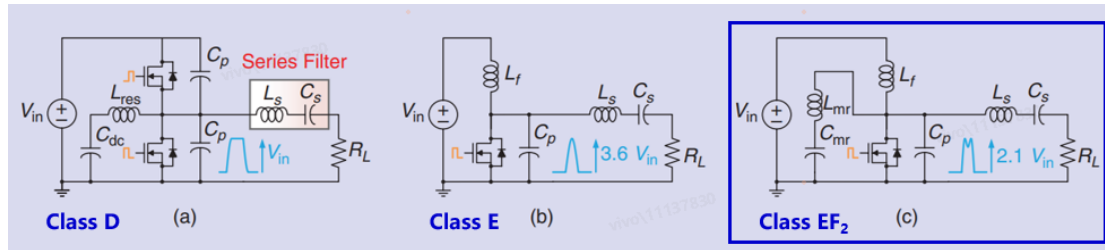


图 2. 射频功率放大器电路

2.耦合系统

无线充电线圈的磁场作用范围内需要相对均匀的磁场分布。一方面传统磁屏蔽材料-纳米晶随着工作频率增加磁损急剧增加，更均匀的磁场分布可以降低磁损耗影响。另一方面更均匀的磁场分布可提高充电区域内移动功率稳定性，实现倾斜翻转等多种充电姿态。因此在耦合系统设计中，需要考虑充电线圈走线的设计，使得无线充电区域的磁场分布均匀。

3.整流系统

在无线能量传输接收端，需要研究射频能量到直流能量转换的整流器设计。业界现有集成同步整流控制器最高只支持约 2MHz，6.78MHz 无线充电接收端整流效率低，功率无法达到现有 kHz 水平。由于在连续导通模式（CCM）下，整流电流的快速变化可能导致突变。在高 di/dt 条件下，同步整流控制器难以在电流为零时及时关闭同步整流（SR）开关管，这可能引起额外的开关损耗和增加可靠性风险。设计能够在 CCM 下快速响应电流突变的同步整流控制器面临着技术挑战。

4.功率反馈控制系统

不同位置和充电姿态情况下耦合参数会发生大范围改变，为了维持负载端充电功率的稳定，需要逆变系统需要根据输出负载的变化来调整 Tx 输入功率、工作频率和信号占空比等参数来维持负载端充电功率的稳定。因此需要通过功率反馈控制技术进行动态响应调整，具有设计上的挑战。

当前结果

目前业界集成同步整流控制系统只能支持不超过 2MHz[3-5]。在磁共振技术方面还是只能维持在固定位置和姿态的高功率高效率充电，动态调整范围小，逆变整流系统效率低，未达到目前 Qi 协议无线充水平。

技术诉求（完成任一）

任务一：6.765-6.795MHz 工作频率范围的高效率高动态范围逆变控制器（switch-mode inverter）电路和控制算法。

1. 逆变开关管系统（开关管参考型号 GS61004B）实现至少 30W 稳态输出功率，最高逆变效率不低于 97%。

2. 逆变系统有阻抗匹配调整能力，输出阻抗在 3-50 Ω 动态变换过程中，维持最高输出功率且效率不低于 60%。

任务二：6.765-6.795MHz 工作频率范围的高效可集成全桥同步整流控制器电路和控制算法

1. 控制器控制 SR 开关管（开关管参考型号 INN040FQ043A）导通占比大于 90%，二极管导通占比小于 10%，预期整流桥最高效率 $\geq 98\%$ @10V3A。

2. 控制器支持连续导通模式下电流非过零关断。

3. 5-30W 输入功率动态变化下输出电压不低于 9.9V,动态变化过程中最低效率不低于 80%。

任务三：设计在 6.765-6.795MHz 工作频率范围内工作的无线充线圈模组。[6]

Tx 大小约 200*200mm, Rx 大小约 60*60mm。线圈背部均需覆盖锰锌铁氧体，纳米晶等磁屏蔽材料。线圈背部放置金属不影响系统工作。

Rx 线圈模组厚度不超过 0.4mm，交流阻抗 R_s 小于 200m Ω 。

Rx 和 Tx 最佳耦合位置 S21 大于 -0.8dB。Rx 在 Tx 范围内自由移动，倾斜（倾角大于 60°），移动过程中 S21 大于 -3dB，避免出线分频，零耦合现象。

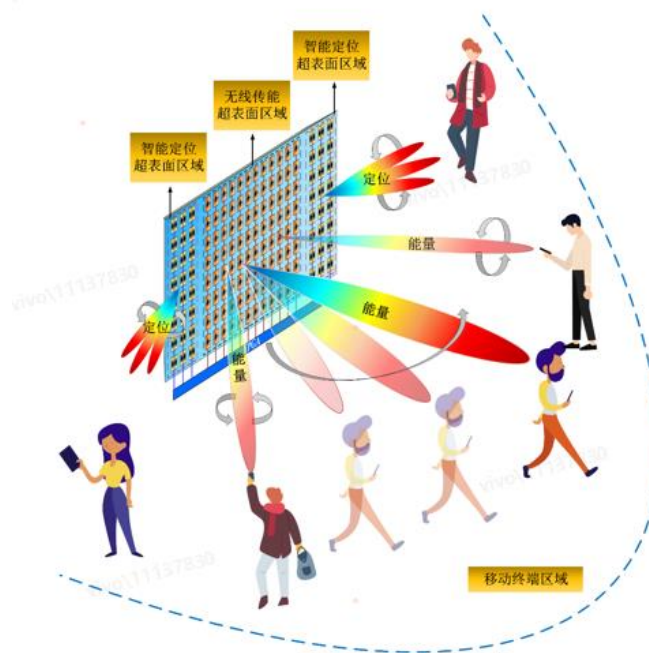
参考文献

- [1] https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202305/content_6883940.htm
- [2] <https://www.itu.int/rec/R-REC-SM.2129-0-201908-I/en>
- [3] <https://www.ti.com/product/UCD7138>
- [4] <https://www.ti.com/product/UCC24612>
- [5] <https://www.ti.com/seclit/ml/slup379/slup379.pdf>
- [6] Y. Zhuang, A. Chen, C. Xu, Y. Huang, H. Zhao and J. Zhou, "Range-Adaptive Wireless Power Transfer Based on Differential Coupling Using Multiple Bidirectional Coils," in IEEE Transactions on Industrial Electronics,

2.2 毫米波相控阵无线充电系统

技术背景

近场耦合无线充电技术已经发展到一定瓶颈，可以满足的充电场景很有限。远场电磁波相控阵无线充电技术有着巨大的潜力，此技术包括发射，接收系统，定位等多个系统。一般的，工作频率越高，电磁波波束穿透性越弱，功率提升越困难，能量随距离衰减越严重，收发天线尺寸越小，反之亦然。综合使用范围，充电功率，设备大小（以适配手机为目标），可使用商用频段等等因素，将工作频率设计在 24.25GHz 附近，即 n258 频段内，参照 5G 室内基站安全标准。

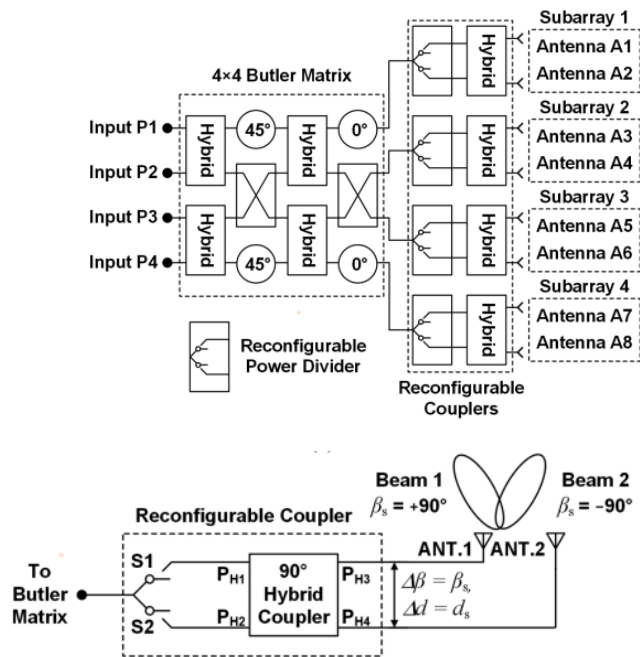


NR operating band	Uplink (UL) and Downlink (DL) operating band BS transmit/receive UE transmit/receive F _{UL,low} – F _{UL,high} F _{DL,low} – F _{DL,high}	Duplex mode
n257	26500 MHz – 29500 MHz	TDD
n258	24250 MHz – 27500 MHz	TDD
n260	37000 MHz – 40000 MHz	TDD
n261	27500 MHz – 28350 MHz	TDD

技术挑战

定位系统：微波无线充电的定位逻辑主要是测向，如何满足测向后相控系统波束指向控制；如何进行低成本精准测向，又能与微波充电系统集成融合。

相控系统：高精度多位有源移相器/矢量控制半无源移相器/巴特勒矩阵等无源移相器，需要在成本与应用场景的多重考虑与折中。



[1, 2]

多目标性：高精度多位有源移相器/矢量控制半无源移相器满足 TX，天线阵列分区域需要精准调控满足近距离多波束指向以及多目标性。

技术现状

目前波束赋型充电技术在毫米波段投射范围很难达到 1m，搭配定位精度很难做到 mm 级别，动态响应速度满，技术水平不足支持智能设备动态充电。

技术诉求

设计工作在 24GHz 左右相控阵波束赋形发射天线阵列，使用基于巴特勒矩阵等无源移相器驱动。同时设计相应的接收天线阵列。

1.TX 天线阵列馈入功率>75W，TX 天线阵 16*16 通/或串馈 32 通道，功放采用分布馈

入以单元满足高效率， $\pm 45^\circ$ 双极化串馈满足大功率激励。发射通道射频转化效率大于 40%

2. Rx 天线阵输出直流功率 $>5W$ (8*8 阵列)，并联或 $\pm 45^\circ$ 双极化以满足大功率，差分/极化非敏感满足高效与鲁棒性，整流天线效率大于 65%。收发工作距离大于 1m (5W)

3.在上述的 Tx 天线阵列基础上使用调频连续波的方式测向，测向精度小于 0.1°

参考文献

- [1] Z. Peng, L. Ran and C. Li, "A K-Band Portable FMCW Radar With Beamforming Array for Short-Range Localization and Vital-Doppler Targets Discrimination," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 65, no. 9, pp. 3443-3452, Sept. 2017, doi: 10.1109/TMTT.2017.2662680.
- [2] H. -J. Zhao, H. Chu, X. -H. Zhu and Y. -X. Guo, "A Butler Matrix-Based Antenna Array With Improved Gain Flatness and Sidelobe Levels by Using Pattern-Reconfigurable Subarrays," in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 21, no. 12, pp. 2477-2481, Dec. 2022, doi: 10.1109/LAWP.2022.3197727.

2.3 电池健康度精准预测算法模型开发

技术背景

消费类电子产品种类繁多，同一款机型的体量大，使用人群分布广，使用环境也千差万别，进而导致产品终端内部的电池经历的工况复杂多变，电池寿命影响显著。另外，近年来，用户换机周期增长，用户更加关注电池寿命与耐用性。为了满足用户的需求，提升用户满意度，得到准确的电池健康度 (SOH, state of health) 以及针对不同用户习惯制订相应的延长寿命措施非常关键。

目前在整机端，主要使用电量计 (Coulomb Counting) 测量得到电池的 SOH。按照理解，实际测试的 SOH 应当是最准确的，但事实并非如此，电量计依赖于实际使用中精确的电流测量，但电源管理芯片提供的电流数据精确度受制于环境温度的稳定性，这使得重度使用，如游戏和视频时，获得的 SOH 数据误差较大。此外，受限于复杂因素和用户的使用习惯，电量计测试电池 SOH 的算法激活周期很长(3-4 周)。再加上电池容量受到充放电电流大小影响，电量计传感器的测试波动，导致实际电量计测量得到的 SOH 综合准确度并不理想。再加上目前硅体系电池的应用，而且针对硅体系电池，由于石墨与硅的混合，导致电量计测试

偏差更大。

因此，本课题基于模型角度，结合整机工况，在整机端搭建电池寿命模型。该模型的优势：①准确度高，不受体系影响，可以在初始针对不同体系搭建不同的模型与之匹配；②反应及时，不受用户习惯的影响；③可结合用户习惯进行寿命预测；④与电量计的计算方法完全独立，二者的结果可以相互验证，或者通过卡尔曼滤波等算法得到一个更真实的健康度。

为提升建模的效率，我司可提供已实测的循环与存储的数据。电池信息：2800mAh。充电流程：9.8A CC to 4.2V, 7.68A to 4.25V, 5.48A to 4.51V, 4.384A CC to 4.56V CV to 822mA。充电后静置 5min。放电流程：0.7C DC to 3.0V。放电后静置 5min。详细的内容，请见下面 2 个表：

循环数据：

序号	环境温度	SOC 下限	SOC 上限	平行样	循环数
1	25	0%	100%	3	500
2	25	0%	90%	3	500
3	25	0%	80%	3	500
4	25	50%	100%	3	500
5	25	20%	100%	3	500
6	35	0%	100%	3	500
7	45	0%	100%	3	500

存储数据：

序号	环境温度	SOC	平行样	存储天数
1	35	100%	3	90
2	35	80%	3	90
3	45	100%	3	90
4	45	80%	3	90
5	45	50%	3	90
6	55	100%	3	90

建模前期可以使用公开的 NASA 数据集或者马里兰大学数据集或其他数据集。

NASA 数据集：<https://ti.arc.nasa.gov/tech/dash/groups/pcoe/prognostic-data-repository/#battery>

马里兰大学数据集：<https://calce.umd.edu/data#CS2>

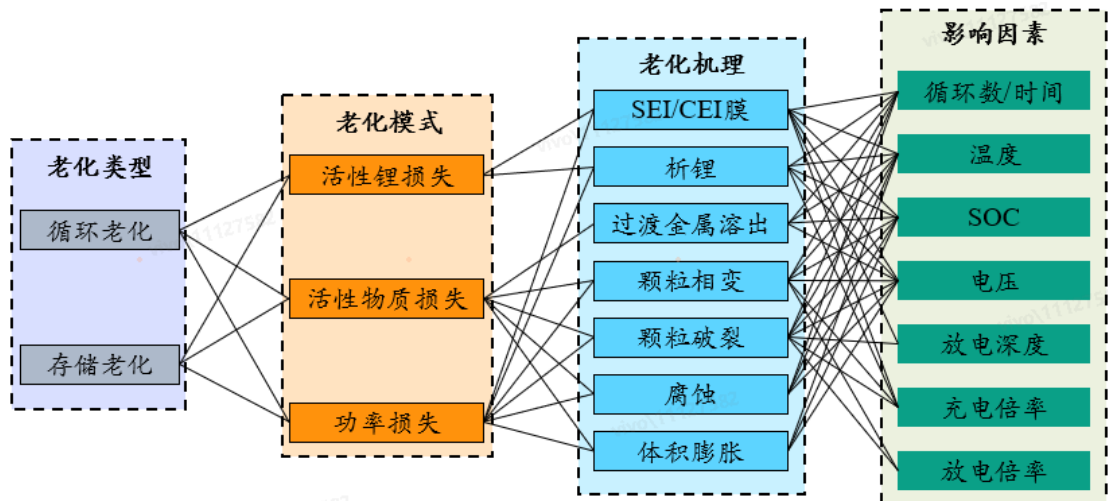
模型的思路为：

①电池单体，先搭建随不同条件下(温度、SOC 下限、SOC 上限、循环数/天数)的寿命

模型；②整机模型，将电池实际工况代入到单体模型，结合累计损伤，计算电池的老化与健康度；③结合用户使用习惯，对寿命进行预测。

技术挑战

单体模型：以锂离子电池为例，电池老化涉及到3种老化模式【1】，活性锂离子损失、活性材料损失、功率损失。电池老化受到多种因子：温度、SOCmax（SOC, state of charge）、SOCmin、充电倍率、放电倍率、循环数等因子的影响。因此，准确的模型很复杂。而且由于循环与存储的测试周期很长，受限测试资源的限制，不可能穷尽工况进行测试，只能提供有限的老化数据。需要通过此模型，将任意条件下的老化准确计算出来。



整机模型：用户之间习惯差异很大，同一个用户使用习惯也波动较大。比如，一天内的放电的 SOCmin 不确定、充电次数、环境温度(室内/室外/有无空调等)，波动很大，并不确定。如何有效描述整机端的复杂工况并使之适配模型输入是整机模型的关键技术挑战。

技术现状

电池单体模型：目前主要是通过阿伦尼乌斯来描述温度影响，使用逆幂律来描述等其他因素影响[2-3]。此方法对于存在老化加速的场景并不适用，尤其是老化过程中出现拐点的情况[4-5]，偏差较大。对于出现拐点的老化规律暂时没有较好的模型。机器学习是一种比较好的解决方法，不过要注意，受限测试资源限制，能够提供的实验数据有限。基于 Relaxation Voltage 数据评估电池 SOH 是另一有效方法[6-7]，但该方法依赖于长时间的充电时间，适合于有整晚充电习惯的用户。

整机模型：受限整机工况的复杂性，暂时没有看到相关文章报道比较成熟的方案。

技术诉求

任务一：基于电池单体有限的实验室测试数据，能够搭建出电池单体模型。实现如下效果：

①训练集数据，SOH 偏差： $\leq \pm 1\%$ ，测试集数据，SOH 偏差： $\leq \pm 2\%$

(优选单向偏，且模型预测的 SOH 小于真实 SOH)

②输入工况参数的任意组合(工况参数包括：温度、SOCmax、SOCmin、充电倍率、放电倍率、循环数等)能够得到对应的 SOH，并且与实验测试的结果偏差： $\leq \pm 2\%$ ；(优选单向偏，且模型预测的 SOH 小于真实 SOH)

③模型通用性要求：针对石墨、硅体系(不同硅含量的体系)要求均适用 (该模型适用于硅体系与石墨体系，区别在于使用不同的数据进行训练得到)

任务二：整机模型的搭建。实现如下效果：

①能够将整机中电池的工况(动态的工况与实验室不一致，比如 SOC 上下限不固定，环境温度不固定，我司可提供 2~4 周试用机器试用时的电池工况，用于分析)输入到整机模型；

②能够将任务一中的单体模型与累积损伤结合，与实际实验室整机测试的 SOH 偏差： $\leq \pm 2\%$

参考文献

- [1] Che Y, Hu X, Lin X, et al. Health prognostics for lithium-ion batteries: mechanisms, methods, and prospects[J]. Energy & Environmental Science, 2023, 16(2): 338-371.
- [2] Cui Y, Du C, Yin G, et al. Multi-stress factor model for cycle lifetime prediction of lithium ion batteries with shallow-depth discharge[J]. Journal of Power Sources, 2015, 279: 123-132.
- [3] Redondo-Iglesias E, Venet P, Pelissier S. Eyring acceleration model for predicting calendar ageing of lithium-ion batteries[J]. Journal of Energy Storage, 2017, 13: 176-183.
- [4] Attia P M, Bills A, Planella F B, et al. "Knees" in lithium-ion battery aging trajectories[J]. Journal of The Electrochemical Society, 2022, 169(6): 060517.
- [5] Diao W, Kim J, Azarian M H, et al. Degradation modes and mechanisms analysis of lithium-ion batteries with knee points[J]. Electrochimica Acta, 2022, 431: 141143.
- [6] He, Liang, Eugene Kim, Kang G. Shin, Guozhu Meng, and Tian He. "Battery state-of-health estimation for

mobile devices." In Proceedings of the 8th International Conference on Cyber-Physical Systems, pp. 51-60. 2017.

- [7] Zhu, Jiangong, Yixiu Wang, Yuan Huang, R. Bhushan Gopaluni, Yankai Cao, Michael Heere, Martin J. Mühlbauer et al. "Data-driven capacity estimation of commercial lithium-ion batteries from voltage relaxation." Nature communications 13, no. 1 (2022): 2261.

2.4 锂电池正负极阻抗检测及电位控制方法研究

技术背景

锂电池负极析锂会导致电池性能下降，缩短循环寿命，甚至会造成电池膨胀、燃烧、爆炸等安全隐患。当负极电位接近或低于金属锂的析出电位时，锂离子就会以金属锂的形式在负极表面析出。故在充放电过程中可检测到负极电位，并实时控制负极电位不超门限对电池健康安全很关键。锂电池正极电位过高会导致正极材料快速衰减，电芯寿命快速下降并伴随热稳定性下降，因此监控充电过程正极电位变化对于电池健康和电池安全很关键。

整机应用场景下，仅可检测电池电压、电流、温度，可获取电池内部信息较少，无法获得正负极电位。硅负极提升能量密度显著，但其循环性能差、动力学差等特点仍需对负极电位合理控制予以克服。若成功应用该技术，则 vivo 可在电池充电速度、能量密度、使用寿命等领域均形成优势。

vivo 可提供锂离子电池和测试资源，PMIC 和开发板需进一步讨论，现不确定。本课题处于电化学（电化学模型或等效电路模型建模）和现代控制算法（卡尔曼滤波，模型预测控制）领域交叉地带，不对硬件和软件做要求。

技术挑战

建立模型：正负极电位的观测与控制需对电池进行建模，电-热-老化耦合模型建模难度大

预测控制：正负极电位整机端实时控制需算法支持，在解决产热等非线性模型时有降低动态计算量需求

状态观测：整机动态监控电压温度等有较大误差，需设计卡尔曼滤波等状态观测器

参数辨识：建模需考虑全生命周期正负极各自老化带来的参数变化情况，能够完成动态参数辨识。

当前结果

使用电-热-老化耦合模型+EKF+MPC 算法动态电位控制已有一定经验，但无法完成动态参数辨识；

动态 EIS+DRT 检测全生命周期正负极阻抗增长的课题研究较少，目前判断搭配等效电路模型理论可行。

技术诉求

1.开发范围：（需使用 C++语言编写，需结合充电 IC 使用；电池及充电 IC 由 vivo 提供，测试系统需由申请者搭建）电-热-老化耦合模型+动态状态观测器+模型预测控制+EIS-DRT 参数辨识（电化学模型不需要加有限元仿真，最多到 P2D 模型即可）其他可满足需求模型+控制方法+动态参数辨识方案

2.开发要求：（以①为例说明，若该方案可将其他方案带入下文要求标准不变。）

1.建立电-热-老化耦合模型（电学部分：电化学模型或等效电路模型；热学部分：考虑散热的等效热模型），通过倍率充电、FFC 充电、HPPC、实际工况充电条件测试，三电极电位 RMSE 误差 $\leq \min\{2\%, 10\text{mV}\}$ （测试电芯与资源 vivo 提供）

2.建立正负极电位、电芯内部温度状态观测器，该状态观测器可以是卡尔曼滤波、粒子滤波等，用以消除测量误差以及模型误差。通过标准同上。

3.建立 MPC 控制算法，该算法可兼容电热耦合模型中热学部分非线性状态空间方程，目标函数应包含温度、SOC、正负极电位四选三，权重可调；KKT 条件包含温度、SOC、正负极电位。动态求解方法可选取原始对偶内点法、序列二次规划法等，算法需包含降低计算复杂度的动态应用逻辑（如参数部分更新等）。测试标准为通过分别控制恒负极电位充电、恒正极电位充电、恒温度充电与设定参考值 RMSE 误差不超过 2%。

4.建立动态 EIS-DRT 识别正负极内阻的模型技术。通过该技术动态更新电热耦合模型中的电阻、电容参数。测试标准为 1000cls 循环内，每 100cls 进行恒负极电位充电、恒正极电位充电、恒温度充电与参考值误差 RMSE 不超过 5%

参考文献

- [1] 基于三电极等效电路模型的锂离子电池安全充电策略研究；张碗玲,胡晓松等
- [2] 基于模型预测控制的锂离子电池充电优化策略研究；贾港华,蔡欣等
- [3] 基于模型预测的纯电动汽车动力总成热管理策略；冯权，黄瑞等
- [4] 基于多传感的智能电池；路遥，韩雪冰等

2.5 锂电池 EIS 阻抗检测技术

技术背景

电池随时间使用会老化衰减，充放电性能下降，其中包括最大容量、峰值功率下降、电池阻抗增大，在实际使用过程中要匹配电池目前现状来用，避免出现些异常。电池电化学阻抗谱 EIS 是表征电池特征的重要参数，EIS 阻抗检测准确有利于表征电池现状，且用来指导此时怎么更好的用好电池，如电池电量显示、电池寿命 SOH 表征、峰值功率控制等。

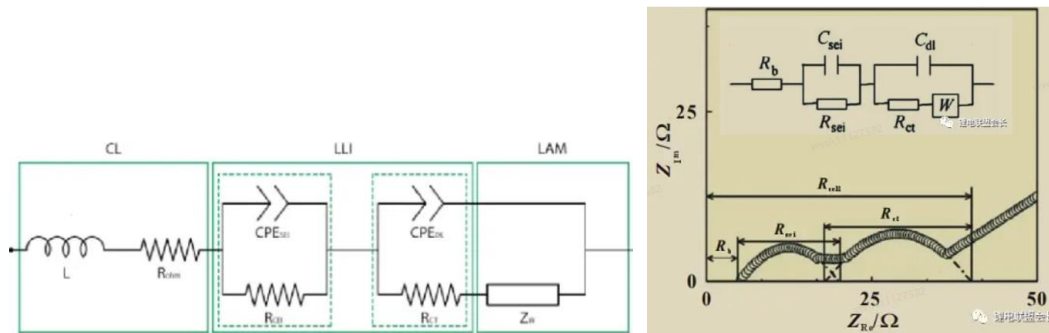
技术挑战

电池 EIS 阻抗检测一般是施加频率不同的电流激励，检测相应的电压波动响应，从而计算出电池阻抗。但在整机系统中施加电流激励有一定难度，如频率范围、电流幅度精度；电压响应的测量存在系统本身带来的噪声、检测采样率不足，造成精度差等问题。

EIS 阻抗是电池阻抗谱，还涉及到时频转换等算法研究，分解出不同频率下的阻抗谱，并基于一段频率内或某几个频率点的复阻抗来表征电池特征参数的算法研究。

当前结果

通过充电过程中停止充电并再次启动充电来施加电流脉冲，检测电压波形，计算 $Z=dV/dI$ ，得到一定频率范围内的复阻抗值，用相对增长量来表征电池衰减情况。



技术诉求

任务 1: 电池 EIS 阻抗检测及电池特征表征, EIS 检测是需要手机整机端落地的,但因为手机整机端激励信号、检测精度,故整机端 EIS 检测有一定精度 EIS 商用设备的检测作为对比,衡量精度。

1. 锂电池 EIS 阻抗检测优选频段范围及精度研究, 电池及测试装置由 vivo 提供
2. 不同频段或特征点阻抗和电池特征参数的表征关系研究

任务 2: 基于电池 EIS 阻抗的充放电应用策略

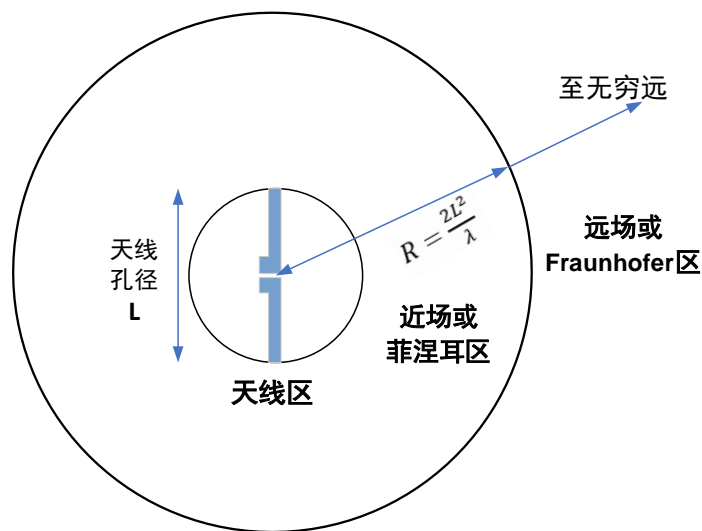
1. 基于电池的 EIS 阻抗特性研究相应的充电策略, 如降压降流策略
2. 基于电池的 EIS 阻抗特性研究相应的放电策略, 如随电池老化的低压功率限制策略

三、 通信技术

3.1 提升 MIMO 近场区传输性能的研究

技术背景

当天线向外辐射电磁波时，会在天线周围形成电磁场并向周围传播，其形成的电磁场特性随天线的距离而变化。如下图所示，它们大致分为两个区域，近场区域和远场区域（也称 Fraunhofer 区）。其中近场区又可以进一步分为感应近场区和辐射近场区（也称菲涅耳 Fresnel 区）。



远场区是靠近辐射近场区之后的区域。在该区域，电磁场以辐射场为主。电场(E 场)和磁场(H 场)彼此正交，并且与平面波一样与传播方向正交，该区域方向图与天线的距离无关。远场区域由以下等式表示：

$$R > \frac{2L^2}{\lambda}$$

其中，R 是测量点与天线的距离，L 为天线的最大尺寸，即天线孔径， λ 为电磁波的波长。

感应近场，辐射场不占主导地位，其范围由以下等式表示：

$$0 \leq R \leq 0.62 \times \sqrt{\frac{L^3}{\lambda}}$$

菲涅耳区或辐射近场区是感应近场和远场之间的过渡区域。与感应近场不同的是，在该区域辐射场逐渐占主导地位，且辐射图的形状随距离而显著变化（辐射场的角度分布与距离天线口径的距离有关）。其范围由以下等式表示：

$$0.62 \times \sqrt{\frac{L^3}{\lambda}} \leq R \leq \frac{2L^2}{\lambda}$$

将 Wi-Fi 的不同频点和不同天线孔径的具体数值代入上面的公式，可以得到不同的近场区与远场区的分界。如下表所示，天线孔径为 5 厘米的近场区与远场区的分界的示例：

频点/MHz	波长/米	感应近场区和辐射近场区的分界/ 米	近场区和远场区的分界/ 米
2442	0.123	0.0198	0.0407
5180	0.058	0.0288	0.0863
5825	0.052	0.0305	0.0971

以上通过理论计算得到的远场近场的分界线，仅供参考。我们当前遇到的问题具体见下一章：

技术挑战

用户在新购手机后会将两台手机近距离放置（比如 < 0.5 米）来迁移数据，其摆放距离通常是属于近场区（包含感应近场区和辐射近场区）。当前主流的旗舰手机上的 Wi-Fi 普遍使用的是双天线的（MIMO，传输两条数据流），即发射端和接收端都是两根天线的。实测发现近场区存在一定概率的数据传输速率偏低的问题，即近场的极限吞吐率是和摆放位置有关的。近场区的极限吞吐率的问题事关用户体验和产品竞争力，因此很有必要投入研究装有多根（比如 2~6 根）天线的无线终端的 WI-FI 在近场区的传输特性。

当前结果

将两台手机近距离（比如 < 0.5 米）摆放，做数据传输（比如互传、手机克隆），发现某些方向下存在 Wi-Fi 吞吐率较差的问题，如下图所示，在最差角度（左图）的吞吐率和在最好角度（右图）的吞吐率相差一倍以上，由此可看出手机的摆放位置近场区的极限吞吐率有着至关重要的影响，因此不能保证在所有角度（即任何摆放）下的 Wi-Fi 吞吐率都能达到或接近极限吞吐率（即两条数据流的最大速率）的目标。初步拆解此问题是和天线的相关性、射频的隔离度、不平衡度、基带芯片的 MIMO 解调算法等相关。



技术诉求

任务：建立近场区的 MIMO 传输的模型，包含近场区的信道模型、物理层仿真链路等模型；分析并解析影响近场区极限吞吐率的若干因素（建议有仿真评估验证结果），并提出对天线、射频、基带芯片上可实际落地的设计建议，以有效提升下一代无线终端在近场区的极限吞吐率（可量化的目标：差角度的极限吞吐率提升 25%以上）。

进阶目标如下：

考虑无线终端的实际 Wi-Fi 设置，给出 MIMO 天线的包络相关系数（ECC）、射频的 Tx EVM（发射端的误差矢量幅度）、Rx EVM（接收端的误差矢量幅度）和基带芯片里 MIMO 解调算法的信道条件数（channel condition number）等影响 Wi-Fi 极限吞吐率的因素之间的数学关系/数学原理。

3.2 外场环境下 Wi-Fi 无线网络的建模与仿真

技术背景

业界通常使用 NS-3 网络模拟器来做 Wi-Fi 网络的系统仿真，允许研究人员和工程师对各种网络场景进行深入的性能分析和优化。NS-3 的基本模型共分为五层：应用层、传输层、网络层、连接层、物理层。模型里面包含可配置的 STA 和 AP 设备、可设置的移动模型、网络协议栈、流量模型，可以构建 ARP、ICMP、TCP/UDP 等协议报文和不同大小的数据包，拥有 CSMA、速率控制算法、拥塞算法等，通过编程模拟各种网络环境，可获取到关键的性能指标，如时延、吞吐量等。其中时延是指数据包从发送方到接收方所需的时间，包括传播延迟、处理延迟、队列延迟和发送延迟；吞吐量表示在一定时间内成功传输的数据量，通常

以比特每秒（bps）或字节每秒（Bps）表示。

技术挑战

Wi-Fi 在实际场景（比如办公室、家居、机场/高铁站等）下，每次的测试结果都会存在一定的波动，即单次的测试结果是时变的。另外受限于无线终端的存储空间和电量，在有限的 log 或者甚至没有 log 只有大数据（比如一天只采 3 个时刻的数据或者网络异常上报的数据）的情况下，如何在仿真系统里完美地复现出外场的测试场景和结果，研究人员或者工程师以此模型来进行深入的性能分析和优化。

当前结果

在实验室复现外场问题和测试结果（时延和吞吐率等性能指标），有一定的难度，耗时耗力。

技术诉求

任务：通过对实际外场进行采样、提取特征，并建立模型，利用仿真系统模拟实际场景的 Wi-Fi 网络拓扑、信道模型和协议算法等，输出不同业务（游戏、下载、上网等）类型的用户体验的性能指标（时延和吞吐率等）。

1. 建立不同环境下 2.4G 和 5G 穿墙的信号传输模型，包含信号的传输路径（直射穿墙、绕射/反射穿墙）、穿墙的真实机理等，给出不同墙体的衰减值、不同环境/户型的信号传输路径、穿墙后的信号强度等；

2. 建立典型家居场景的仿真模型，在不同位置（比如卧室、卫生间、客厅、阳台等）和网络拓扑（比如 1 台 AP 带 3 台 STA、2 台 AP 带 10 台 STA 等组合）下，仿真值与实际场景的测试结果相吻合（要求仿真值和实测值的偏差 $\leq 5\%$ ，比如吞吐量实测值 200Mbps，那么要求仿真值在 190Mbps~210Mbps 之间；比如 5 次 ping 包时延实测平均值为 100ms，那么要求仿真值在 95ms~105ms 之间）；

3. 建立典型办公室场景的仿真模型，在不同位置（比如工位、走廊、卫生间等）和网络拓扑下，仿真值与实际场景的测试结果相吻合（要求仿真值和实测值的偏差 $\leq 5\%$ ）；

4. 建立典型机场/高铁站场景的仿真模型，在不同位置（比如登机口/检票口、中庭、卫

生间等)和网络拓扑下,仿真值与实际场景的测试结果相吻合(要求仿真值和实测值的偏差 $\leq 5\%$)。

3.3 基于无线终端 Wi-Fi CSI 的电梯场景识别算法研究

技术背景

在无线通信中,CSI 数据描述了一个信号在每条传输路径上的衰弱因子,即信道增益矩阵 H 中每个元素的值,如信号散射(Scattering),环境衰弱(fading, multipath fading or shadowing fading),距离衰减(power decay of distance)等信息。当前行业主要通过采集并使用深度学习技术建模分析 CSI 数据,实现识别室内人体或物体移动等行为。

不同材质和空间环境对信号传播造成不同的影响,这些信息会被 CSI 数据记录下来。无线终端作为接收机,可以对 CSI 数据进行采集和分析。因此,有机会利用 CSI 数据,实现对无线终端所在典型场景的识别,如电梯、楼梯间等。

技术挑战

与固定放置发送机和接收机识别人物运动行为不同,用于采集和分析 CSI 的无线终端的位置是不固定,甚至处于运动状态的。因此采集的信号源是不稳定的,无法通过对比 CSI 前后信息变化来实现场景识别。

另外,场景特征是五花八门的,抓取到场景特征是关键也是难点。同样是电梯场景,电梯轿厢的材质(玻璃、金属)、大小(客梯、货梯、消防梯)、人数等不尽相同,都会造成 CSI 数据的变化。

当前结果

当前手机终端可以实时采集指定信道 MIMO 系统的 CSI 数据,但是未能发现特定场景下的变化特征。

技术诉求

任务：使用特定无线终端，对相同场景不同情况进行 CSI 数据采集，分析 CSI 变化并提取关键特征，将关键特征作为输入进行深度学习模型训练，得到可以准确识别相关场景的模型。

1. 对相同电梯、相同楼层、无人情况下，手机处于 1.5 米高，45° 握持，手机背面朝向电梯门，在电梯关门过程，进行 CSI 数据采集；
2. 分析与提取 1 的数据特征，训练模型，相同电梯场景识别准确率>90%，召回率>80%；
3. 对不同材质、不同大小、不同人数的轿厢，分别在不同楼层，手机处于 1.3~1.7 米高，45° 握持，手机背面朝向电梯门，在电梯关门过程，进行 CSI 数据采集；
4. 筛选出 3 的数据特征，训练模型，城市随机 50 台电梯进行识别测试，识别准确率>90%，召回率>75%。

注：

电梯场景识别准确率：模型识别到电梯时，终端真实在电梯轿厢内且电梯运行前的比例；

电梯场景识别召回率：终端开始进入电梯轿厢，在电梯运行前，模型识别到电梯的比例。

3.4 城市高楼环境下的精准定位

技术背景

在城市高楼下使用定位功能，不同用户的使用需求和行为各不相同，比如：

- ① 行车导航、步行导航、骑行导航
- ② 分享实时位置、用户之间找人
- ③ 找特定的地点（商场入口、外卖导航等）

用户在这类环境下的定位和导航的需求越来越频繁，并对定位的精度和实时性的要求越来越高。

现有技术主要是通过 GNSS 卫星定位来获取位置的。在城市高楼这类复杂多样环境下，由于受到多径信号和遮挡的影响，定位误差波动大，定位结果容易出现漂移。

在此基础上叠加 RTK（实时差分定位）等方式来提升定位精度的方案，在空旷道路场景下有较好的效果，但是在城市高楼下效果无明显改善。

技术挑战

1、因为手机接收到的卫星信号受到折射和反射等的影响，导致常见的定位算法(包括 L1 和 L5 双频的使用)在城市峡谷环境下恶劣的区域无法计算出高精度位置(<5m);

2、使用周边基站、Wi-Fi 等网络定位的方式，严重依赖于周边基站、Wi-Fi 的覆盖情况，定位精度无法得到保证；

3、手机的天线性能、传感器精度受限（无法达到一个很高的标准），并且用户使用手机的行为多样，包括使用车载支架、手握、摆臂、裤兜、背包等多种形态，对手机接收到的信号会产生一定的影响，并且对惯导等位置推算算法的精度也会造成一定的挑战。

当前结果

在城市中心高楼密集的区域，GPS 定位精度差，定位和导航的漂移情况严重。

技术诉求

结合当前手机能获得的信息（包括 GPS 卫星信号、各类传感器信号、Wi-Fi/蓝牙/基站信号，以及通过网络从服务器获取的数据如差分数据等），自行定义和采集验证所需数据集，设计高精度定位方案，能做到在城市峡谷卫星信号遮挡/多径严重的区域，进行高精度定位，相关指标如下：

1、首个位置点定位精度 $cep95 < 5m$ （即有 95%的概率其定位结果会在这个半径 5m 的圆内），定位速度 tff （首次定位时间） $< 5s$ （定位速度以方案实际应用于目前市场上主流旗舰手机型号上的实测效果为准）

2、能够持续实时定位，每秒更新位置结果，轨迹出现漂移的精度 $< 5m$

注：CEP 是 Circular Error Probability,圆概率误差。

3.5 基于无线终端的全场景智能精准识别

技术背景

在室内，GPS、基站等定位技术受限，无法准确识别所处位置。此外 Wi-Fi 定位方式对于两个很近的场景（如两个场景距离<10m 以内）是很难区分出来的，因为获取到的 Wi-Fi 的信息重合度非常高。与上面所述的传统的定位/导航功能（可实时获取用户所处位置）不同的是，全场景智能精准识别的功能通常是运行在后台，当用户进入到某个场景时手机会主

动推送此场景对应的功能/服务。此课题的目标是准确地识别出用户所处的场景，为后续相关功能服务的智能推送奠定基础。下面是一些具体的应用示例：

- ① 到地铁站/公交站推送乘车码功能；
- ② 到小区推送取快递功能；
- ③ 到商店推送扫码支付功能；
- ④ 到电影院推送购电影票功能；
- ⑤ 到某家店门口推送该商家广告功能等。

这个后台程序/应用是需要一直运行的，因此它的功耗是不可忽略的关键因素。

技术挑战

实时性：能及时快速识别到场景切换；

低功耗：新增功耗增量小；

场景识别准确率：识别准确率越高，用户体验越好；

场景识别精度：识别精度越高，支持的智能推荐的场景越丰富，满足用户的需求越多。

当前结果

1、识别场景精度方面

①在相隔较远(100m 以上)的场景，能准确识别；

②但在相隔较近的场景（楼上、楼下、两家挨着的商铺等）识别不准。

2、场景识别的实时性有待提高。

技术诉求

1、实时性：进入场景，能准确快速识别，耗时<2s

2、低功耗：新增功耗<1mA*h

3、场景识别准确率：场景识别准确率 $\geq 99\%$

4、场景识别精度：水平面能区分两个中心点距离 $\geq 5m$ 的场景，垂直面能区分两个中心点高度差 $\geq 3m$ 的场景。

3.6 室内高精度定位导航

技术背景

随着城市化进程的发展，大型商场等室内活动场所在用户生活中的占比越来越高，随之带来的用户在室内使用定位和导航功能的需求越来越频繁。具体的需求如下：

- ① 商场内部导航查找店铺
- ② 分享位置找人/找车
- ③ 机场、高铁、地铁站等公共场馆导航定位

目前的技术以网络定位为主，原理是通过 Wi-Fi/基站的指纹匹配来实现，这类方法的定位精度依赖于以下几个方面：

1) Wi-Fi/基站信号覆盖情况：AP（无线接入点）覆盖良好的情况下能够做到接近米级的精度，一般情况下精度在几十米至几百米的范围内，严重依赖于 AP 信号的分布；

2) 指纹数据的采集情况：采集方式受限，通常是众包的方式采集，结合 GPS 信号以及加速度计、陀螺仪等运动相关传感器，或者基于已有的指纹定位，即采集当前位置扫描到的 Wi-Fi/基站信号来确定位置。这种收集指纹数据的方式无法保证很好的数据质量来支持高精度定位；

3) 定位算法：当前定位算法以指纹匹配+机器学习优化为主，在异常处理方面（如用户搬家 Wi-Fi 位置变化、移动热点的信号、用户设备差异所导致的接收信号强度不同等）的要求比较高。

这类主流室内定位技术能够满足基本的定位需求（确定所在建筑及大致方位），但是无法满足室内精准导航（包括楼层识别等）的需求。

技术挑战

- 1、室内无法搜到 GPS 信号，无法利用卫星信号进行高精度定位；
- 2、室内 Wi-Fi/BT 信号多径复杂且时变性强，定位精度难以提升；
- 3、室内地形复杂，商铺、楼层、电梯等排列密度不一，人员流动性强，终端硬件差异，天线高度不同对精确定位带来挑战；
- 4、其它的定位方式如 UWB 等，对部署有要求，较难达到广泛应用的程度。

当前结果

在大型商场内部，无法精确定位和导航来找店、找人。

技术诉求

在室内场景（各种典型的室内商超、火车站、机场等），能够进行高精度快速定位，满足以下指标：

1、首个位置点的定位精度 $cep95 < 5m$ （即有 95%的概率其定位结果会在这个半径 5m 的圆内），定位速度 $ttff$ （首次定位时间） $< 3s$

注：如果方案耗时主要为算法运行、资源调度耗时，所运行的目标平台/设备不同会有差异，不便评估定位速度，则以方案应用于目前市场上主流旗舰手机型号上的实测效果为准。

2. 能够持续实时定位，每秒更新位置结果，轨迹出现漂移的精度 $< 5m$

3.7 判断 UE 拥塞场景

技术背景

在地铁、高铁、演唱会和景点等场景，手机用户较多，基站容量有限，所以在这些场景容易出现拥塞的现象。用户在网络拥塞的场景会出现无法上网、电话不通、微信消息发送不成功的问题，用户体验差。手机侧需要一种有效手段，能够快速准确识别出拥塞情况，并进行相应的手段逃离拥塞频段。

技术挑战

挑战 1：在同一小区基站下用户较多的拥塞场景，从信号的能量角度（RSRP、RSSI、RSRQ、SNR 等）都正常，且在演唱会等场景信号强，需要通过其它复杂变量和逻辑来推断出是否拥塞；

挑战 2：根据用户使用手机业务的不同，拥塞可以分为两种：

1) 上行拥塞：比如百度云上传大文件、微信传文件/视频、直播等业务，上行传输需要较大的带宽，往往无法满足；

2) 下行拥塞：比如看直播、刷视频、微信语音视频业务等，下行传输需要较大带宽。

根据不同的拥塞情况，手机的解决措施往往也不一样，比如上行拥塞可以通过增强上行来解决，下行拥塞增加上行效果甚微，需要下行增强的手段。

当前结果

目前暂时没有很好的拥塞检测机制，特别是下行拥塞。

技术诉求

- 1.可以借助传感器,地理围栏等手段,1s内识别拥塞场景,且拥塞场景识别率95%以上;
- 2.可以分别识别上行和下行拥塞场景,上行和下行拥塞场景识别准确率95%以上;
- 3.若使用AI技术,需要考虑模型的鲁棒性,适用于演唱会、热门旅游景点、地铁站台和高铁站等典型静态拥塞场景。

验证环境:可以提供vivo样机,并开放TCP/UDP相关日志,手机main log。若研究者有手机可以抓取相关日志,也可以使用非vivo手机。

3.8 利用SSB信号确定最强信号方向

技术背景

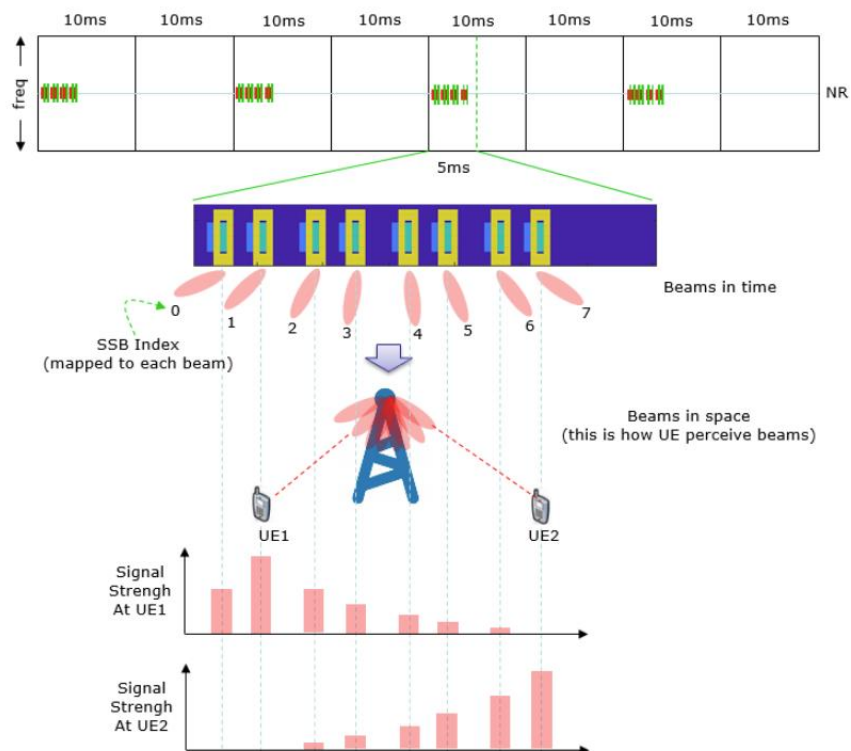
因为手机GNSS定位功耗较高,所以蜂窝基站指纹定位被广泛应用于室内、室外场景中的定位。利用蜂窝基站信号定位,无需额外部署硬件设备,是一个非常节省成本和功耗的方法。指纹定位的核心思想,是把实际环境中的位置和某种“指纹”联系起来,一个位置对应一个独特的指纹。位置指纹的具体内容多种多样,任何与位置相关的特征都能被用做位置指纹。比如某个位置上无线信号的多径特征、某个位置上是否能检测到接入点或基站、某个位置上接收到来自基站信号的RSRP、某个位置上通信往返时间或延迟,这些都能作为一个位置指纹,或者也可以将其组合起来作为位置指纹。

目前基站定位的精度受限,一般定位精度在100m以上,原因是基站的覆盖范围较大,信号波束宽,且信号随环境波动较大,很难给出精确的定位。如下图所示,传统基站往往只有1个波束,一个扇区的角度范围一般 120° ,所以UE只能知道在 120° 范围内,无法再精准知道方向性,定位精度存在挑战。



技术挑战

与指纹定位相比，5G 基站的广播信号 SSB 有了波束的概念，如下图所示，每 20ms 基站会发送一串 SSB 组，每个 SSB index 会发送不同的波束，波束个数取决于基站的天线数。从终端视角看，不同位置的 UE 接收到不同波束的信号能量不同。所以从波束的角度看，有机会可以使得 UE 角度位置 and 实际位置更精准。



技术诉求

借助 NR SSB 的波束信息，帮助 UE 确定最强信号来波方向。

技术场景：

- 1) 可以在日常弱场信号场景，包含室内：地库，写字楼，也包括室外：荒野，面积不小于 50 平方米的场地进行测试。
- 2) 由于目前基站可能有 4 天线设计，8 天线设计，64T64R massive mimo 等不同天线设计，SSB 波束的数量也不想通，希望能适配市面上几种典型基站的的天线配置即可（即 FDD 基站 4 天线，8 天线，TDD 基站：64T64R,室内小站:4T4R）。

技术研究目标：希望确定基站最强信号来波相对手机正常使用时（单手，屏幕正面朝上）的方向，定位角度误差满足 20° （CDF95）和 10° （CDF68）。

希望研究者优先采用自研 SDR/USRP 搭建平台，采集实际外场基站数据进行研究。其次若没有硬件平台，也可以通过纯软件仿真平台，仿真基站和终端的收发链路进行算法研究。

参考文献

<https://www.ebyte.com/new-view-info.html?id=3095>

https://www.sharetechnote.com/html/5G/5G_Phy_BeamManagement.html

[\[book.github.io/13_%E6%97%A0%E7%BA%BF%E5%AE%9A%E4%BD%8D/S4_%E4%BF%A1%E5%8F%B7%E6%8C%87%E7%BA%B9%E5%AE%9A%E4%BD%8D%E7%AE%97%E6%B3%95/\]\(https://book.github.io/13_%E6%97%A0%E7%BA%BF%E5%AE%9A%E4%BD%8D/S4_%E4%BF%A1%E5%8F%B7%E6%8C%87%E7%BA%B9%E5%AE%9A%E4%BD%8D%E7%AE%97%E6%B3%95/\)](https://iot-</p></div><div data-bbox=)

四、智能终端技术

4.1 复杂场景下智能穿戴设备的融合定位技术

技术背景

手表等智能穿戴产品受体积和功耗影响，天线及模组性能的相较于手机会有较大的下降。同时受使用环境的影响和人体运动的干扰，定位的性能和连续性难以保障。主要体现在起始点的位置漂移过大，运动过程中的位置会产生持续性的漂移。

作为运动数据的重要来源，定位的异常会导致距离、轨迹和配速等一系列数据失真，影响用户体验。在业内，头部的企业已经开始使用多源传感器进行手表的位置估算，尤其是基于 GNSS 和 IMU 融合的 EPTS（Electronic Performance and Tracking System）技术在产品中已有使用，其轨迹的准确性和连续性较单一的 GNSS 定位有了较大的改善。

技术挑战

GNSS 定位问题：GNSS 定位可靠性难以评价。卫星定位性能的影响因素较多，在使用过程中容易受到环境干扰，如多路径、电离层及环境遮挡，连接卫星个数、信号质量等会有较大波动，准确估计位置定位误差是行业内的一大难题，错误的位置输入将会降低融合定位系统的效果。

IMU 数据辅助定位问题：IMU 数据需剔除人体摆动影响。不管是组合导航还是 PDR 定位均依赖于用户的姿态信息，但手表的 IMU 数据会受到手臂摆动的影响，剔除难度大。

技术现状

目前手表的定位结果来自芯片输出的 GNSS 原生数据，手表虽内置 IMU 芯片，但未采用 IMU 信息进行辅助定位，复杂场景下定位的轨迹漂移严重。同时融合定位技术在其他设备和应用领域已有可参考的手段和方法。

技术诉求

任务 1：研究长效星历辅助定位技术：通过已有或生成长效星历研究缩短首次定位时间的方法，实现首次定位时间优于 3s。

任务 2：研究定位数据质量控制及定位性能评价技术：研究保障输出定位结果的准确性

与可靠性的方法。保障定位结果准确性，实现首点漂移在空旷环境下优于 5 米，半遮挡环境优于 10 米，双边遮挡优于 15 米；保障定位结果的可靠性，实现楼宇和树荫环境下轨迹的综合性能达到 CEP68 指标优于 5 米。

任务 3：研究多源传感器融合定位技术：研究融合 IMU 以及其他传感器数据的融合定位算法和技术，配合用户运动状态识别保障在卫星短暂失效情况下轨迹的连续性和准确性，实现卫星信号失锁 10 秒内位置精度优于 10 米。

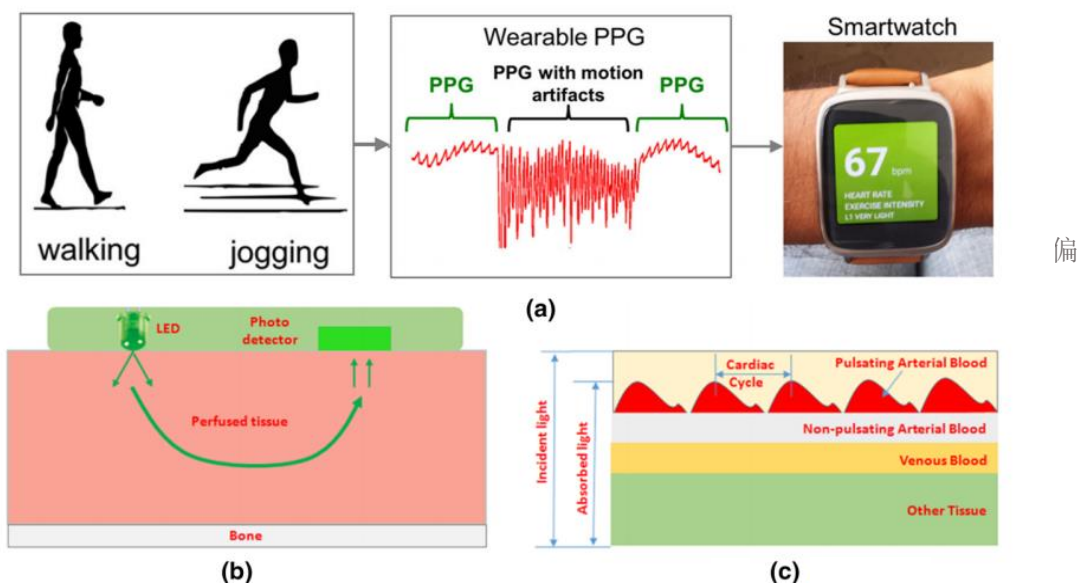
4.2 手腕背部解剖结构及手表反射式 PPG 产生原理研究

技术背景

PPG（Photoplethysmogram）信号通常被认为血管扩张-收缩产生的光变化信号。测量方式有投射式和反射式两种。

手表上通常采用反射式 PPG 信号进行健康测量，比如心率，血氧，RRI 等。

当前，基于 PPG 的健康检测手表逐渐得到大众认可和普及，基于反射式 PPG 信号也能做出很多应用。但是对于手表佩戴后 PPG 信号及其干扰的形成原理仍然没有得到充分的研究。



目前希望厘清的问题包括：

1. PPG 有效信号大致上来源于血管的脉冲，但是具体来自于哪部分血管？
2. 不同波长 PPG 信号在幅度和波形细节上有较大的区别（绿光/红光/红外），这种区别来源于什么？
3. 不同佩戴压力下 PPG 波形的区别很大，这种区别源于什么？
4. 表带对运动干扰影响较大，原因是什么？
5. 反射式血氧的 R 值离散型较投射式血氧测量的 R 值离散型高了一个数量级，原因是什么？
6. 反射式血氧测量中会出现 R 值反转的情况（常氧下红光的 PI 值应低于红外的 PI，但是有时候会测出相反的情况），形成这种情况的原因是什么？

技术诉求

任务 1：手腕解剖结构及各部分对 PPG 有效信号的贡献。包括：1) 手腕背部的详细解剖结构；2) 各解剖结构对反射 PPG 信号的贡献；3) 建立 PPG 信号产生的静态光学模型。

任务 2：运动干扰下的 PPG 光学建模。包括：1) 建立运动情况下的 PPG 信号产生的光学模型；2) 利用该模型分析手表各因素的影响：PD-LED 间距，发光角，收光角，光路排列，表带软硬，表体重量，佩戴压力等。

任务 3：反射式血氧的 R 值离散型改进。包括：1) 建立反射式血氧的 PPG 信号产生模型；2) 基于该模型分析如何改进反射式血氧的 R 值离散型。

4.3 睡眠剥夺的量化分析及其对认知与健康影响的评估

技术背景

睡眠剥夺是指个体未能获得足够的睡眠时间或睡眠质量。长期慢性的睡眠剥夺是一个影响当代年轻人健康的重要问题。现代快节奏、高压力的生活环境，以及短视频等快消娱乐方式，进一步加剧了睡眠剥夺问题。

长期的睡眠剥夺会影响认知能力，并且可能导致健康问题，这一关联已被充分研究证实。但在广泛的年轻人群体中，这一基本问题并未得到有效重视。现有监测设备虽然有能对睡眠时间、分期等基本参数进行一定级别的监测，但在关键的长期量化及其对认知与健康的影响

响上，并没有有效的评估工具与手段。

技术挑战

现有研究一般使用 EEG、HRV 等进行研究，并取得了一定的成果，但其研究总体受限于下述几个基本问题：

1. 个体样本差异较大，难以在人群层面形成统一的数学模型；
2. 观测时间短，难以确定长效影响，尤其是与认知以及健康的长期关系不够明确且难以量化；
3. 其他疾病（如心脏病，糖尿病等）的影响，尤其是对 HRV 的影响，难以在广泛人群上去除；
4. 疲劳与认知能力本身具有相当大的个体特性，难以统一衡量。

当前并不具备足够有效的数学模型能够对长期睡眠剥夺及其对认知能力和健康的影响进行建模。

当前结果

OVERVIEW OF EXPERIMENTAL DESIGN AND RESULTS IN THE DRIVER SLEEPINESS/FATIGUE HRV LITERATURE

Study	N	Sim/real road	State inducement	Ground truth	Features	Analysis/classifier	Result	Conclusion
[12]	11	Sim	Monotonous driving without sleep deprivation	Video-based observer ratings	LF, HF, LF/HF	Paired <i>t</i> -test	Significant differences between conditions	"The study shows very encouraging results that can be used to prevent drowsiness related accidents".
[15]	10	Road	Monotonous driving without sleep deprivation	Video-based observer ratings	11 features	Paired <i>t</i> -test	Significant differences in 8 of 11 HRV metrics	"Results suggest that a drowsiness alarm based on HRV indexes is feasible but cannot rely on only one index".
[18]	8	Sim	Monotonous driving without sleep deprivation	Subjective self-ratings	LF, HF, LF/HF + PUCK	ANOVA	Significant statistical differences in almost all subjects	"PUCK analysis of heart rate variability may be useful for assessing drowsiness while driving".
[34]	76	Road	Sleep deprivation	Subjective self-ratings	12 personalized features	ANOVA	Significant differences between conditions in all HRV metrics	"HRV analysis shows promise for driver sleepiness detection".
[17]	30	Sim and road	Sleep deprivation or monotonous driving without sleep deprivation	Video-based observer ratings	96 features	Stepwise linear discriminant analysis	Leave one [participant] out: positive predictive value = 0.96, sensitivity = 0.59, specificity = 0.98	"Incorporating drowsiness assessment based on HRV signal may add significant improvements to existing car safety systems".
[36]	27	Sim	Monotonous driving without sleep deprivation	Video-based observer ratings	LF, HF, LF/HF, SDNN, RMSSD, meanNN, NN50, total power	Multivariate statistical process control	Predicted 7 of 8 cases of drowsiness before driving accidents occurred	"The possibility of realizing an HRV-based drowsy driving accident prediction system was demonstrated through the driving simulator experiments".
[45]	34	Sim	Monotonous driving without sleep deprivation	Sleep onset based on EEG	LF, HF, LF/HF, SDNN, RMSSD, meanNN, NN50, total power	Multivariate statistical process control	Predicted 12 of 13 sleep onsets, with a false positive rate of 1.7 times per hour.	"The proposed HRV-based drowsy driving detection algorithm is more promising than other conventional methods with respect to accuracy as well as practical use".
[44]	4	Sim	Alert versus drowsy state; unclear how they were induced	Percentage eye closure	Entropy, variance, kurtosis, multiscale component	SVM	Leave one [observation] out: accuracy = 0.95, sensitivity = 0.95, specificity = 0.95.	"Results indicate that a better real-time driver drowsiness detection system can be developed by using wavelet-based features".
[43]	12	Sim	Monotonous driving with slight sleep deprivation	Video-based observer ratings	Spectral image (30 × 30)	Feed-forward neural network	Hold out accuracy = 0.90.	"This HRV-based fatigue detection technique can be used as a fatigue countermeasure".

技术诉求

任务：建立一个个人化的睡眠剥夺及其与认知能力和健康关系的数学模型

1.该模型的主要输入为个人基本信息、过去长短天期的睡眠时长、分期、HRV 等基本数据；

2.该模型需要有根据个人的主观问卷输入进行调整与自适应；

3.该模型的主要输出为对睡眠剥夺程度、认知功能影响、长期健康影响的量化分析结果。

参考文献

- [1] Chu, Congying, et al. "Total sleep deprivation increases brain age prediction reversibly in multisite samples of young healthy adults." *Journal of Neuroscience* 43.12 (2023): 2168-2177.
- [2] A. Persson, H. Jonasson, I. Fredriksson, U. Wiklund and C. Ahlström, "Heart Rate Variability for Classification of Alert Versus Sleep Deprived Drivers in Real Road Driving Conditions," in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 22, no. 6, pp. 3316-3325, June 2021, doi: 10.1109/TITS.2020.2981941.
- [3] Jeppe, Katherine, et al. "Accurate detection of acute sleep deprivation using a metabolomic biomarker—A machine learning approach." *Science Advances* 10.10 (2024): eadj6834.
- [4] Massar, Stijn AA, et al. "Sleep deprivation increases the costs of attentional effort: Performance, preference and pupil size." *Neuropsychologia* 123 (2019): 169-177.

4.4 基于计算机视觉的中餐食物能量摄入估计研究

技术背景

肥胖已经成为了当今社会一个严重的公共健康问题。在针对肥胖问题提出的解决方案中，饮食控制是最为基本，也最为有效的方案。然而，饮食控制，或卡路里摄入控制的核心难题在于对食物能量摄入的精确量化。

手工输入计量需要首先人为进行主观能量估计，然而大部分中餐无法进行准确的主观能量估计，这是由中餐所特有的复杂烹饪手段以及主料辅料的配比不确定等因素所导致的。主观估计摄入卡路里实际上非常困难，具有较大的估计误差，因此，发展客观技术手段对摄入能量进行精确估计，对于整个社会肥胖问题的分析与缓解具有重要意义。

技术挑战

近年来，以计算机视觉为基础的食物识别、分析技术不断进步，但在能量估计上仍然具有局限性。其有限成功主要集中于较简单的西餐与快餐，这与我国饮食的实际现状具有很大差别。中餐能量估计的技术挑战主要在于：

1. 中国菜烹饪手段复杂，油、糖等配料对能量有明显影响，但难以简单确认；
2. 中国菜的主辅料往往经过复杂处理，不易辨别，因此判断整体化学成分存在较大挑战；
3. 简单通过图像，难以有效判断食物的总量。

当前对中餐的自动能量估计研究非常有限。

技术诉求

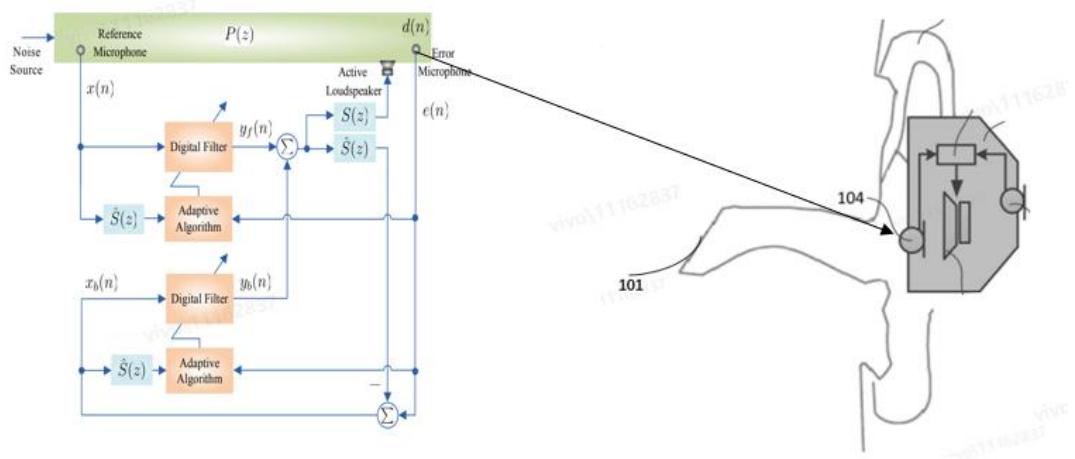
任务：建立一个以多要素信息源为输入的全自动或高自动化中餐能量客观估计方法：

1. 能通过多要素信息源，如图像、视频等，估计中餐的总卡路里；
2. 能有效估计食物总量；
3. 能够适当分析食物中不同基本成分（糖，脂肪，蛋白质）的占比。

4.5 开放式耳机设计中主动抗噪技术的设计与实现

技术背景

目前 ANC (active noise cancel) 技术主要应用在入耳式耳机/半入耳式耳机，而在开放式蓝牙耳机 (OWS) 还没有稳定的商业产品面世；当前入耳式和半入耳的耳机采用混合降噪方式，常见的降噪框架如下图所示，包括前馈降噪和反馈降噪，常见的方案前馈通常使用单通道；开放式耳机相对其他两种耳机，在佩戴过程中，反馈麦克风(104)，离鼓膜参考点(101)，距离太远；并且佩戴后形成的耳腔会存在较大的泄露，对降噪设计带来较大的挑战。



技术挑战

开放式耳机存在的挑战如下：

1. OWS 耳机的反馈麦克风 (FB mic) 远离人耳鼓膜参考点，导致前馈自适应算法只能在误差麦克风（反馈麦克风也称为误差麦克风），但无法在鼓膜处达到收敛到降噪最优值；并且会导致因果性的问题，使得前馈降噪效果变差
2. OWS 不同的佩戴，扬声器到 FB mic 的变化大，前馈自适应难以收敛
3. OWS 由于泄露大，导致扬声器的声音泄露到前馈麦克风 (FF)，导致效果变差

当前结果

韶音科技，在其专利《开放式可穿戴声学设备及主动降噪方法》详细描述了开放式耳机降噪的设计方法和影响因素；Bose 公司在其专利《开放式耳机中的主动降噪 (ANR)》中提供了一种前馈自适应算法，尝试解决不同人群的佩戴差异问题等

技术诉求

任务：开放式耳机在单个人耳上多次佩戴能获得明显的降噪效果（前馈&反馈方案）

1. 从理论上研究声学方案和算法方案的可行性，包括声学系统设计方案、固定降噪滤波器或自适应降噪滤波器方案等
2. 基于 vivo 提供的数据采集(采集方案可双方协商确定)，算法仿真在多人(≥ 10 人)不同次的正常佩戴下，在 50 到 2.5kHz 能达到一定的降噪量，具体如下：

主动降噪效果：(100~300Hz) >25 dB、(300~1000Hz) >20 dB、(1000Hz-2000Hz) >15 dB、

其他降噪频段大于 5dB、非降噪频带（2500-18000Hz）单频点不大于 5DB 的噪声放大。

3. 在 OWS 耳机上验证仿真效果与实测效果对齐：

实测环境：在 75dB SPL 左右的多点声源（均匀分布在佩戴者周围）的宽带噪声场下，实际测试效果达到不差于②中仿真降噪要求的效果。

五、 新材料

5.1 手机散热技术创新

技术背景

手机散热是影响用户热体验以及手机性能发挥的重要因素。随着手机性能的不不断提升，对手机的散热能力需求也越来越高，然而经过产品的不断迭代演进，散热技术也已经到达了瓶颈期，手机常用的散热材料（下图 1）性能提升已经非常缓慢，需要做更多的散热技术创新，来进一步提升手机的散热能力。

另一方面，行业内折叠机逐渐趋于轻薄化，直板机也对整机外观、重量有着较高的要求，如何利用更小的结构空间实现散热能力的提升也是一大挑战。

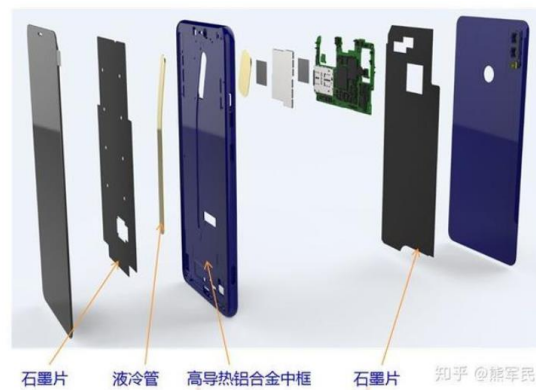


图 1 手机散热材料组成示意图（液冷管已升级为 VC）

技术挑战

随着超大 VC 的应用，手机均温能力近几年得到了显著提升。但受限于手机外观尺寸、重量限制，目前手机散热能力已接近工程极限，各手机厂商在散热能力表现上也无法拉开较大差距，因此如何在保证不牺牲手机外观设计的情况下继续提升散热成为行业一大挑战。

当前结果

目前主流手机厂商高端旗舰机的散热方案均为铝合金中框搭配 VC 和石墨，各家的散热技术宣传也都集中在 VC 和石墨上，包括一加宣传的天工散热系统，运用超大面积的 VC，以及将多个 VC 叠加，以实现更好的均温，石墨的导热系数宣称可由传统的 $1200 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 导热系数提升至 $2000 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ；小米宣传的环路热管另辟蹊径，宣称 VC 内部蒸汽与液体分离可实现更高的 VC 传热性能。除此之外，为了实现更极致的游戏性能发挥，突破当前自然散热瓶颈，红魔手机甚至采用了微型风扇来辅助手机散热。但微型风扇会引入可靠性、噪声等问

题，行业内一直未普及。

另外，在用户体验设计上，各手机厂商也在做更精细化的手机散热结构设计，如 vivo 最早应用的低温感金属边框技术，主要目的是为了降低用户手触区域的温度，保证用户不会因为局部高温造成热体验下降，因此局部隔热技术也至关重要。

除了手机本身的散热设计，近几年在手机配件上，也有一些散热新技术发布，如 OPPO 曾发布过冰肤散热保护壳(内部增加水凝胶延缓升温速度)，华为发布了微泵液冷保护套等。但上述配件其实对升温改善效果仍不是很显著，且代价过高(成本、厚度等)，目前手机行业应用最多的配件仍是散热背夹，通过 TEC+散热器+风扇的组合方式可实现 10℃+ 的降温效果，但散热背夹普遍体积过大、重量过重并且需外接电源，在用户端的普及上始终有很大阻力。

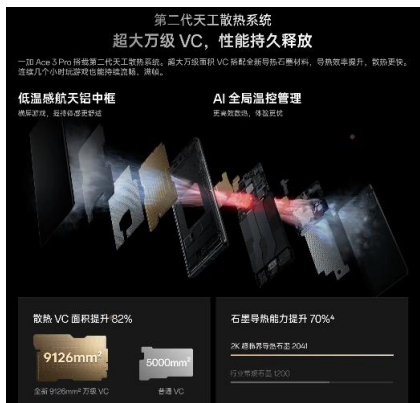


图 2 一加 ACE3 Pro 天工散热系统



图 3 小米环形冷泵



图 4 红魔手机内部加风扇提升散热



图 5 OPPO 联合武汉大学发布冰肤散热保护壳

技术诉求

1、提升现有常规散热材料的性能：主要包含石墨、均温板（Vapor Chamber，简称 VC），其中室温应用环境下石墨热导率不低于 2000 Wm⁻¹K⁻¹，VC（厚度≤0.4mm）的等效导热系数不低于 8000 Wm⁻¹K⁻¹。

2、研发高导热界面材料：（1）使用厚度在 0.1mm 以内，导热系数≥8 Wm⁻¹K⁻¹，绝缘；（2）使用厚度在 0.05mm 以内，导热系数≥4 Wm⁻¹K⁻¹，绝缘。以上如果是导热凝胶类，需

具有良好的流动性，使用 30cc EFD 针管，不带针头，压力 90psi，每分钟凝胶流出量 > 50g/min（行业已有导热系数 $\geq 8 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 的高导热凝胶，但流动性差，无法使用点胶机，影响生产效率）；

3、探索超薄隔热材料或技术：如气凝胶、真空隔热板等，需求使用厚度 $\leq 0.2\text{mm}$ ，导热系数 $\leq 0.03 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ，导热系数越低越好，厚度越薄越好（厚度 $\leq 0.1\text{mm}$ 产品适用性会更强）；或者能够在手机结构件上进行局部抽真空处理，如玻璃电池盖、主板屏蔽盖、不锈钢主板支架等，形成较好的隔热效果；

4、高热辐射系数及高太阳光反射率材料：用于手机电池盖、屏幕保护膜以及保护套，涂层或镀膜均可，提升手机中远红外波段热辐射能力（热辐射系数 ≥ 0.9 ），以及减小对太阳光的吸收（相比常规无处理的玻璃或皮革），具体如下：（1）屏幕保护膜方面，还需要保证足够的透光性（可见光波段透过率 $> 92\%$ ，近红外光反射率 $> 50\%$ ）；（2）如用于电池盖或保护套方面，还需要具有不同的配色（黑色太阳光反射率 $> 25\%$ ，红色太阳光反射率 $> 40\%$ ，蓝色太阳光反射率 $> 45\%$ ），另外在材质的可靠性和外观效果上，还要具有抗脏污、耐划痕等能力。

5、均热材料的极致轻薄化：（1）减重：如 VC 的盖板采用相比铜合金、不锈钢、钛合金更轻的材质，同时 VC 导热系数不受影响（当前 VC 盖板材质主要有铜合金、不锈钢、钛合金），其中钛合金成本过高，如可达到与钛合金重量相当，但成本降低较多，同样具有较大开发价值；（2）减薄：VC 厚度做到 0.23mm 以内，且 VC 等效导热系数 $\geq 8000 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 。

6、高导热、高强度、轻量化结构材料：作为结构拆件，替代当前折叠机如 X Fold3 使用的高模铝拆件、小米 Fold4 使用的碳纤维拆件，参照如下：（1）导热性能与铝合金 6061 相当，导热系数 $\geq 170 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ，但强度高于铝合金 6061，厚度 $\leq 0.15\text{mm}$ ，重量优于铝合金；

（2）强度、重量与碳纤维接近，但导热性能优于碳纤维，导热系数 $\geq 100 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ，厚度 $\leq 0.15\text{mm}$ 。



左侧电池仓位置引入碳纤维支撑板

图 6 小米 MIX Fold4 碳纤维拆件图示（螺钉锁在铝合金中框上）

7. 探索柔性均热材料：导热系数 $\geq 1400 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ，厚度 $\leq 0.2\text{mm}$ ，耐弯折性好（用于折叠机），可实现 30W 次弯折（0-180° 弯折，最小弯折半径 0.8mm）不损坏。

8. 研发上述以外的其他新型散热材料或技术：包括被动散热和主动散热，如微型空气泵、液冷泵、高性能热电材料（TEC、TEG）等，具有应用于手机、平板、XR 或手机配件（如散热背夹、保护套等）的可行性。

备注：

（1）以上关于改进型材料/技术，需提供技术创新说明及理论支撑，以区别于现有常规技术方案：

（2）以上技术需求，为期望水平，如有未达到上述指标的技术研究，但较目前行业水平仍有一定创新性的提升，也可通过后续交流确认具体技术价值，共同协商开发目标。