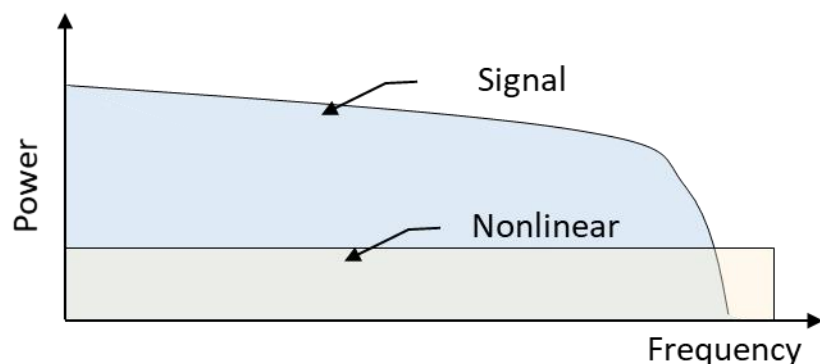


难题1：超宽带器件、链路非线性建模和校准算法

出题组织：星光工程部天仪产品部 接口专家：黄叶村 kevin.huangyecun@huawei.com

技术背景

- 面对几十GHz甚至100GHz的宽带信号接收机中，模拟前端器件、链路，如放大器、开关电路的非线性特征严重恶化了带宽内信号质量，此外超宽带的模拟器件存在记忆非线性，使得非线性模型更加复杂。现考虑在数字域用算法补偿射频前端全带宽的非线性，消除非线性对信号完整性的影响，以提升接收机整机的动态范围指标。

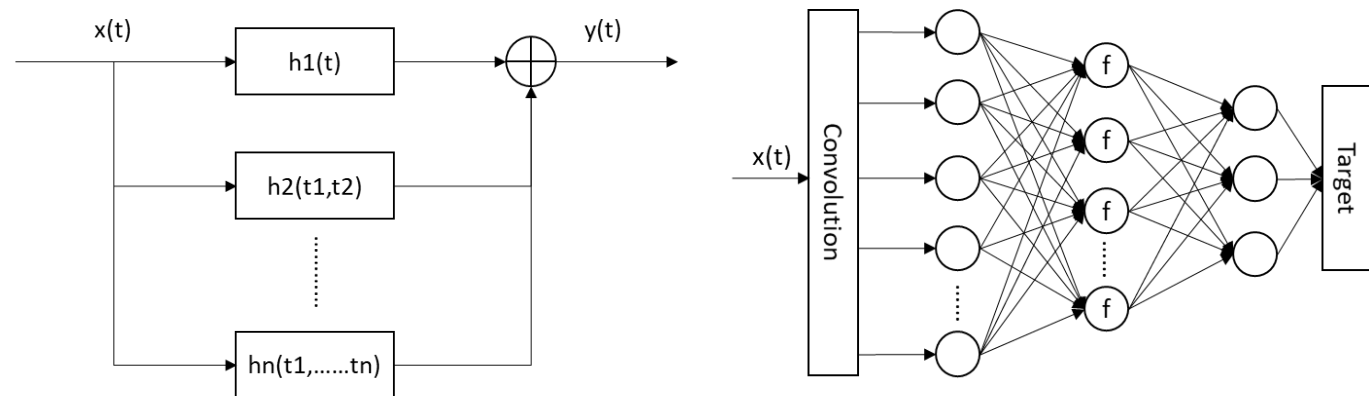


技术挑战

- 须覆盖DC~几十GHz超宽带范围，能进行全带宽非线性校准，而非单频点或窄带，非线性来源复杂，包含放大器、开关电路等超宽带模拟器件；
- 接收机输入的信号为未知不确定性，校准效果要有广泛适用性；
- 接收机实现实时通信，非线性补偿须实现在线处理信号流；
- 超宽带非线性校准同时考虑记忆与非记忆非线性，静态与动态非线性；
- 接收机校准带宽与信号带宽相等，接收机无法实现更大带宽采样。

技术现状

- 基于经典Volterra级数模型方案：优点是模型能反映记忆非线性，能准确描述非线性，难点在于模型匹配越好，阶数越高，拓扑越复杂，计算量越大，所需乘法器达到上万个；
- 基于Volterra级数的神经网络均衡器方案：优点是自适应非线性模型特征提取，模型准确度高，但难点是资源消耗大、机器学习需要的样本数量大，工程应用困难。



技术诉求

寻求高效模型，满足以下条件：

- 模型的表达能力强（对DC~几十GHz超宽带范围器件，如放大器、开关电路等非理想特性具有强拟合能力，模型适用于接收机校准带宽与信号带宽相等的场景；
- 模型可实现在线校准（模型复杂度可接受，逻辑实现乘法器个数<2000）；
- 非线性校准后全带宽的THD提升10 dB。

难题2：实时鲁棒预测控制（RMPC）求解

出题组织：星光工程部星光硬件部 接口专家：赵安 zhaoan1@huawei.com

技术背景

面向 MIMO 系统快速跟踪的控制问题，我们选择模型预测控制（MPC），以解决系统时滞、控制量约束、多变量一致性等问题，并要求 MPC 在较短控制周期（10ms级）内完成求解。在实际应用 MPC 时，需要考虑在系统建模不确定性和外部噪声下的鲁棒性。鲁棒预测控制（RMPC）通过引入有界的系统参数变化和外部扰动，使用min-max方法对不确定性组合的多目标函数进行优化求解，

$$\begin{aligned} \min_{\{u_{k+j}\}} \max_{\{w_{k+j}\}} : & \sum_{j=0}^{N-1} x_{k+j}^T Q x_{k+j} + \\ & u_{k+j}^T R u_{k+j} + J_N(x_{k+N}) \\ \text{s.t.} & \\ x_{k+1} = & Ax_k + Bu_k + Gw_k \\ x_{k+j} \in & X, \forall w_{k+j} \in W, j \in \mathbf{N}_{[0, N-1]} \\ u_{k+j} \in & U, \forall w_{k+j} \in W, j \in \mathbf{N}_{[0, N-1]} \\ x_{k+N} \in & X_N \end{aligned}$$

即在给定噪声 w_k 的范围内找到最优的控制量 u_k 。当前系统为 7*7 的线性系统，时延固定。

技术挑战

- **MPC 控制鲁棒性**：在 7*7 系统模型参数变化和外部噪声影响下，MPC 控制跟随目标曲线的精度、动态指标、多变量一致性仍满足业务要求
- **快速求解**：叠加鲁棒性要求后，MPC 控制量的求解仍满足 10ms 级控制周期。

当前结果

- 没有使用 RMPC，通过增加预测时窗长度，基于 MPC 本身鲁棒性进行控制，计算时间在 5ms 左右
- 考虑N个不确定量集合 $W_N = \{w_1, w_2, \dots, w_N\}$ ，每个不确定量有 n_v 种组合，在各种组合下求解对应控制量 u_k ，整体计算量规模将增长 n_v^N 倍

技术诉求

目标：考虑 7*7 系统的参数变化和外部噪声，开发基于 C/Python 的高性能 RMPC 算法：

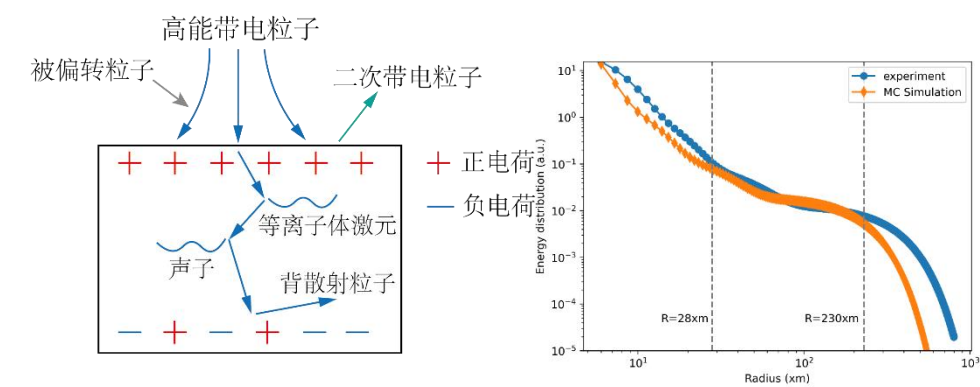
- 在给定噪声场景下仍满足业务指标（控制曲线 peak 精度、peak宽度、多变量一致性）
- ~10ms 内完成控制量优化求解（RMPC在线/离线求解策略优化、算子优化）

难题3：低能带电粒子与有机高分子多层膜相互作用的蒙特卡洛模拟

出题组织：星光工程部研究部 接口专家：宋泽毅 songzeyi@huawei.com

技术背景

- 高能聚焦带电粒子因波长短分辨率高具有广泛的应用，主要应用之一是利用高能粒子在材料中散射转移的能量来实现材料改性。该技术的应用存在两个主要的困难即荷电效应和热效应。对于荷电效应，高能带电粒子进入材料后导致内部和表面沉积电荷形成表面电势分布造成入射带电粒子发生偏转，影响带电粒子能量转移位置的精确控制。对于热效应而言，高能带电粒子的能量最终转化为热量，影响带电粒子能量转移数量的准确控制。
- 行业内利用蒙特卡洛模拟高能带电粒子与有机高分子的相互作用，期望能刻画相关散射过程获得转移能量的沉积分布、电荷的沉积分布和温度的分布，根据模拟结果提出荷电效应和热效应的理论解决方案。



技术挑战

- 业界常用低阶微分散射截面 $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ 描述带电粒子与有机高分子的相互作用，该方法不能描述多粒子态效应，也不能描述低能二次带电粒子、等离子体激元和声子等在材料中的散射过程，然而这些效应和散射过程对能量沉积的计算十分关键；
- 利用介电函数 $\epsilon(k, \omega)$ 在一定能量范围内可以描述带电粒子与有机高分子相互作用所涉及散射的微分散射截面，但是有机高分子材料多层膜介电函数的获取具有挑战，一方面理论计算不了大范围能量的介电函数，另一方面实验上测量不了空间分辨的介电函数；

当前结果

- 利用低阶微分散射截面 $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ 模拟带电粒子在有机高分子中的散射过程，获得了转移能量的沉积分布，因为没有考虑二次带电粒子、等离子体激元和声子等激发在材料中的散射，理论模拟和实验结果在小半径范围 (<30nm) 和大半径范围 (>230nm) 内存在显著差异；
- 当前无法模拟荷电效应和热效应；

技术诉求

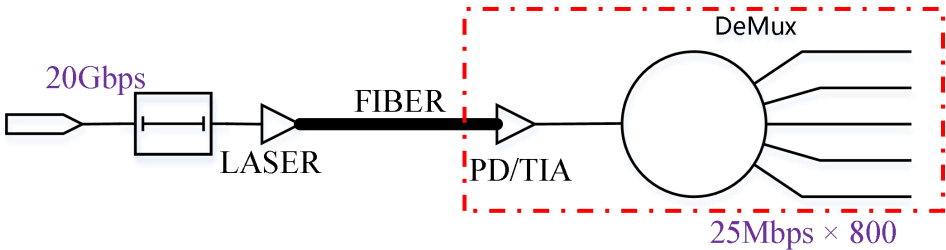
构建低能带电粒子与有机高分子多层膜相互作用所涉及微分散射截面的建模方法，模拟低能带电粒子、二次带电粒子、等离子体激元和声子等在材料中的散射过程：

- 生成符合实验结果的能量沉积分布，构建低能带电粒子在有机高分子多层膜中的能量沉积模型；
- 生成符合实验结果的电荷沉积分布，提出荷电效应的理论解决方案；
- 生成符合实验结果的温度分布，提出降低热效应的理论方案；

难题4：单光纤多路控制信号单向高密低功耗短距传输系统

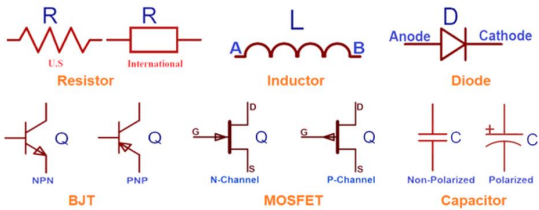
出题组织：星光工程部研究部 接口专家：郭楠 guonan4@huawei.com

技术背景



$$[a1, a2, a3...an] \times \begin{bmatrix} s11 & \cdots & s1n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ sm1 & \cdots & smn \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Data1 \\ Data2 \\ \vdots \\ Datam \end{bmatrix}$$

$m=n=800$



- **收端低功耗设计：**收端总功耗≤75mW 传输效率 3nW/1bit
- **收端高密设计：**收端光纤连接接口及直流供电占用板上面积需小于 200um×200um。

技术挑战

RX低功耗优先的全链路系统级方案设计：在满足系统指标下开展全链路创新方案设计，包括链路信噪比预算，光信号探测方案，传输信号波形及编解码方案，Demux方案，供电方案等。

当前结果

TX采用商用器件，RX采用ASIC，在面积26mm*2mm上实现了xxx光纤的高密馈入\PD\信号恢复及信号Demux，功耗100W，单路数据速率7Mbps；

技术诉求

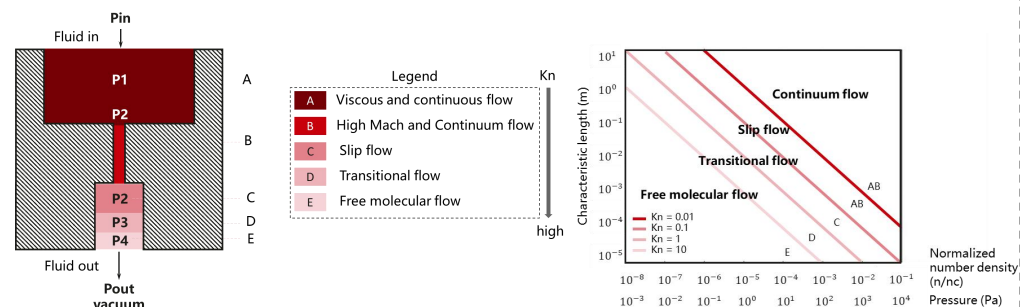
- **系统方案说明：**提供满足系统指标要求的系统级设计方案，包括TX端Mux及编码方案、发射端光源选择方案、高密光纤阵列方案、光信号探测阵列方案，光纤阵列与PD阵列耦合方案，RX电路设计方案（通道间方案，解码方案），PD阵列和供电封装方案等。
- **方案仿真分析与验证：**开展系统仿真分析，验证相关指标达成情况。如需要可开发实际ASIC电路用于实测验证电路方案和系统方案。
- **其它说明：**可考虑外部馈入时钟，以及引入loopback回路进行通道间时延校正，但要求收端接口面积增加不超过1%，即200路可增加两个200um×200um接口面积。需要分析时钟分配网络和loopback电路多路间共用方案设计所需增加的电路复杂度及功耗。如需了解更多详细约束可进一步交流。

难题5：多尺度流动统一解算算法开发

出题组织：星光部件产品部 接口专家：方庆银 fangqingyin@huawei.com；杨海娥 yanghaie@huawei.com

技术背景

- 微尺度缩扩流动中，当流动出口为真空状态（出口压力 $\diamond\diamond\diamond\diamond < 10^{-4}$ torr）时，如图所示，为可压缩流（马赫数 $Ma > 1$ ）全流域多尺度流动问题，即全流域的流动尺度跨越连续流（ $Kn < 0.01$ ）、滑移流（ $0.01 < Kn < 0.1$ ）、过渡流（ $0.1 < Kn < 10$ ）和自由分子流（ $Kn > 10$ ）。
- 对于强可压缩流动（ $Ma > 1$ ），在流动尺度单一的情况下，可用现有方法构建仿真。但是，不同单流域分别解算时，无法给定对标真实工况的边界条件，因此，为得到最精确的流场，需进行全流域求解。然而，对于前述工况下的多尺度流动问题，由于每一尺度（连续流、过渡流、分子流）上的物理现象差异显著，本质物理规律的控制方程不同，无法采用现有方法求解全流域。在接口处对物理场中的变量（高马赫数流动中的流速分布 V 、过渡流和分子流中的数密度 n ）直接双向强耦合，在域边界强制交换接口信息，通常极易造成不收敛，即使可得到收敛解，也将极大消耗计算资源。
- 构建开发适用强可压缩全流域多尺度流动的统一解算算法，可极大减少计算资源消耗，缩短计算时间，提高计算收敛性，促进真空环境下，多尺度流动问题的工程化求解。



技术挑战

- 当前方法无法快速准确计算真空工况：**直接在接口处进行变量耦合，在域边界交换流速分布 V 和数密度分布 n 的信息，对计算资源需求很大，几乎无法得到收敛解，通常不可行。针对前述工程问题，目前无法在强可压缩流动、后级真空的条件下，在工程允许时间内计算得到前述跨尺度流动解。
- DSMC方法无法工程应用：**直接数值模拟蒙特卡洛法（DSMC）物理模型准确，但计算消耗量大，无法在工程上应用。
- DUGKS方法开发难度大：**基于自适应多尺度的离散统一气体动理学格式（DUGKS）开发算法求解器有望实现统一算法工程应用，解决当前问题，但开发难度大。

当前结果

当前可通过迭代边界方法进行参数逼近求解，可在近平衡态连续流域内（ $Kn < 0.01$ ， $Ma < 3$ ）求解微尺度缩扩流动流场得到收敛解，解算时间可控制小于12小时，计算资源可控制小于128G。即后级设定为连续流动允许的最低压力（ $\diamond\diamond < 10$ torr）的情况下，可解算得到微尺度缩扩流道内强可压缩连续流动的详细流动信息。

技术诉求

- 求解器开发需求：**选用适合工程应用的多尺度方法，开发强可压缩（ $1 < Ma < 5$ ）、后级高真空（ $\diamond\diamond\diamond\diamond = 10^{-4}$ torr）的全流域多尺度流动求解算法。
- 算法跨尺度适应性要求：**在稀薄流域内，算法的自由度和计算消耗与动理学方程一致；在连续流域内，算法的自由度和计算消耗降低到与流体力学方程一致。
- 算法保持性要求：**在不解析动理学时空尺度（分子平均自由程 λ 和碰撞时间 τ ）的情况下，准确捕捉气体的宏观动力学行为，数值格式具有良好的渐进保持（Asymptotic Preserving）或统一保持（Unified Preserving）性质。
- 求解精度指标：**与工程结果或DSMC仿真结果对比，误差不超过15%。
- 求解效率指标：**具有并行能力，支持GPU加速，支持并行仿真。在工程可实施的计算资源下实现收敛。

参考文献：

- [1] Guo Z, Xu K. Progress of discrete unified gas-kinetic scheme for multiscale flows[J]. Advances in Aerodynamics, 2021, 3(1): 1-42.
- [2] Liu S, Xu K, Zhong C. Progress of the unified wave-particle methods for non-equilibrium flows from continuum to rarefied regimes[J]. Acta Mechanica Sinica, 2022, 38(6): 1-25.