



中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics Chinese Academy of Sciences



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences



BESIII上基于机器学习的 粒子鉴别方法研究

袁昊

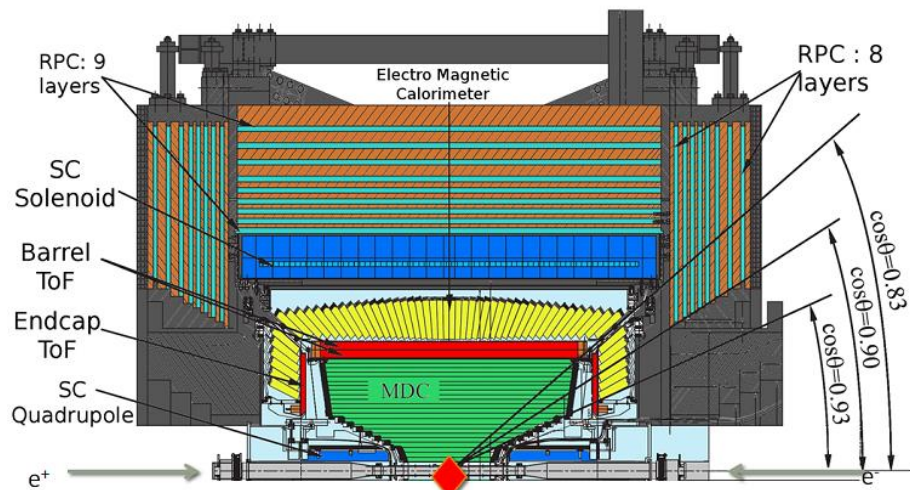
机器学习研讨会

高能所 2024.10.16

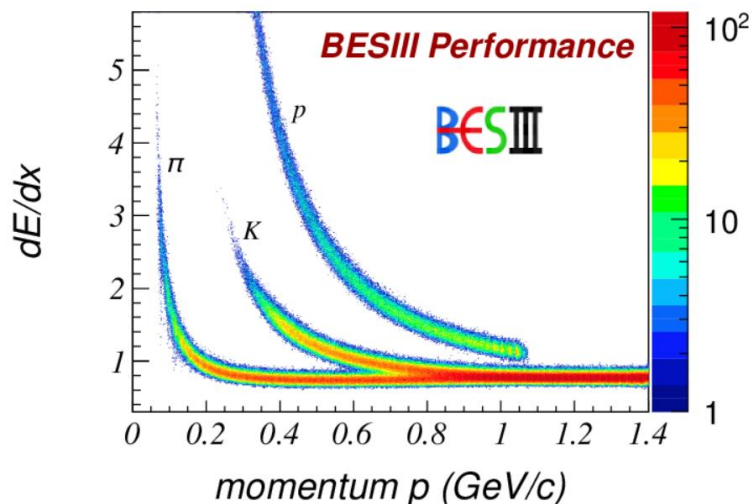
BESIII实验粒子鉴别

- 北京谱仪（BESIII）实验是目前国际上唯一运行在 τ – charm能区的粒子物理实验
- 粒子鉴别在粒子物理实验中非常重要，尤其是 K/π 鉴别
- BESIII实验通过联合 dE/dx 和飞行时间实现粒子鉴别

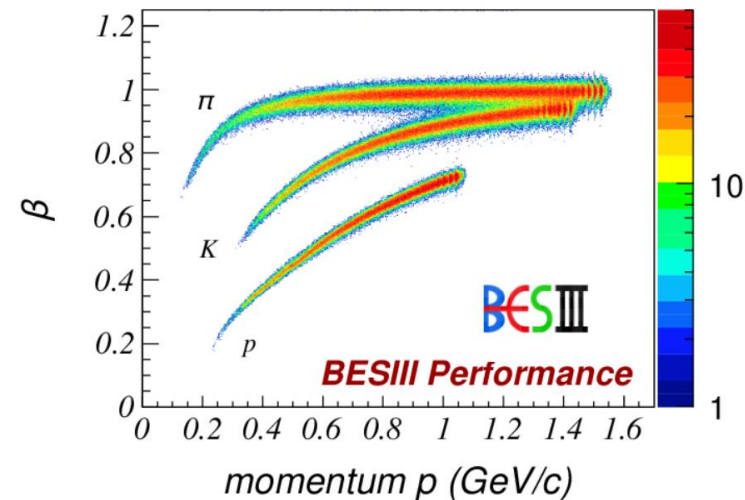
BESIII实验探测器示意图



dE/dX 粒子鉴别能力



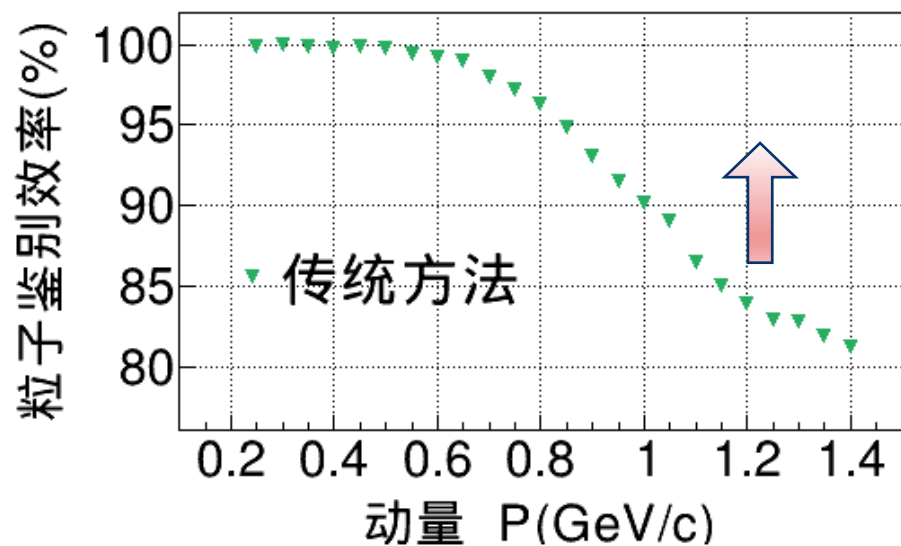
飞行时间粒子鉴别能力



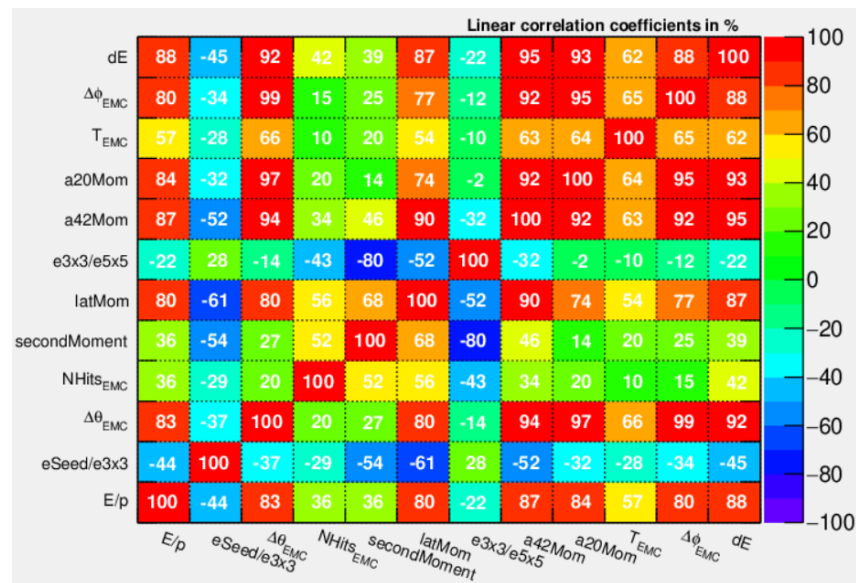
动机

- BESIII实验高动量区域粒子鉴别效率不能充分满足物理需求
- 如何最大程度获取粒子鉴别能力是一个关键科学问题
- 各个子探测器都具有不同程度的粒子鉴别能力，机器学习方法适用于解决复杂多变量的关联问题
- 开展利用机器学习方法进行BESIII实验的快速精准的粒子鉴别方法的研究，发挥探测器最大性能

传统方法 π 介子粒子鉴别效率



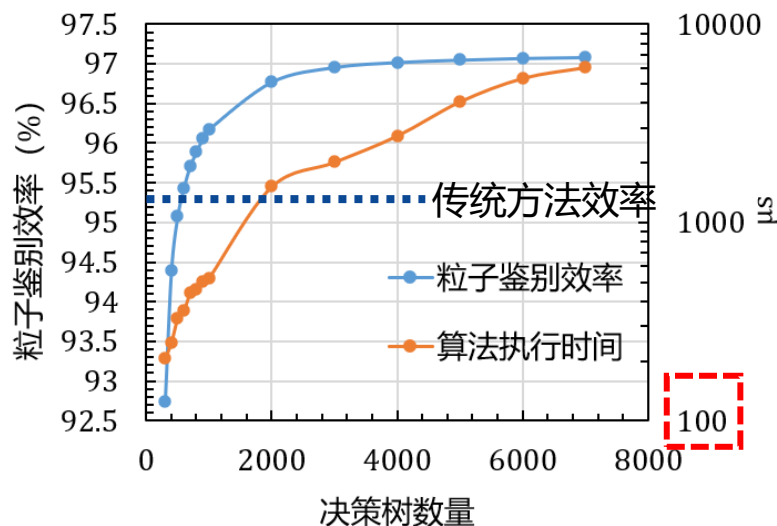
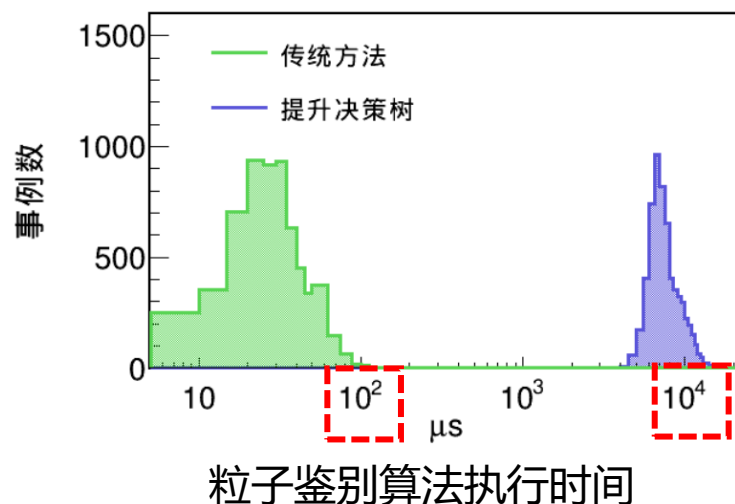
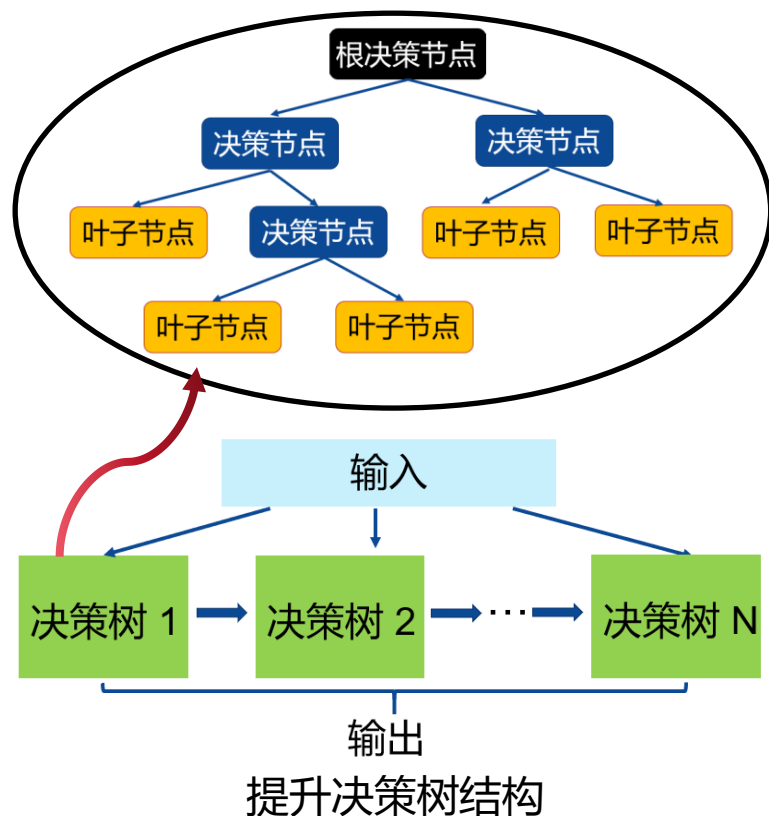
多变量关联矩阵



提升决策树 → 深度神经网络

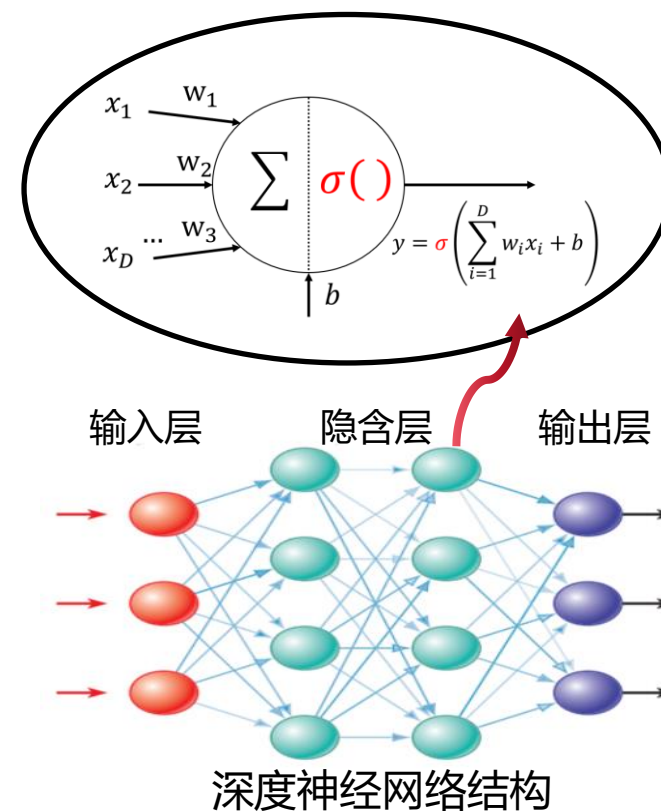
提升决策树 (BDTG) :

- ① 粒子鉴别效率得到提升
- ② 算法执行时间变长两个数量级



深度神经网络 (DNN) :

- ① 缩短算法的执行时间
- ② 提升粒子鉴别效率



DNN for PID 流程

①数据获取与预处理:

- 强子样本获取
- 数据预处理

②深度神经网络模型训练:

- 特征挑选
- 超参数扫描

③模型性能检查:

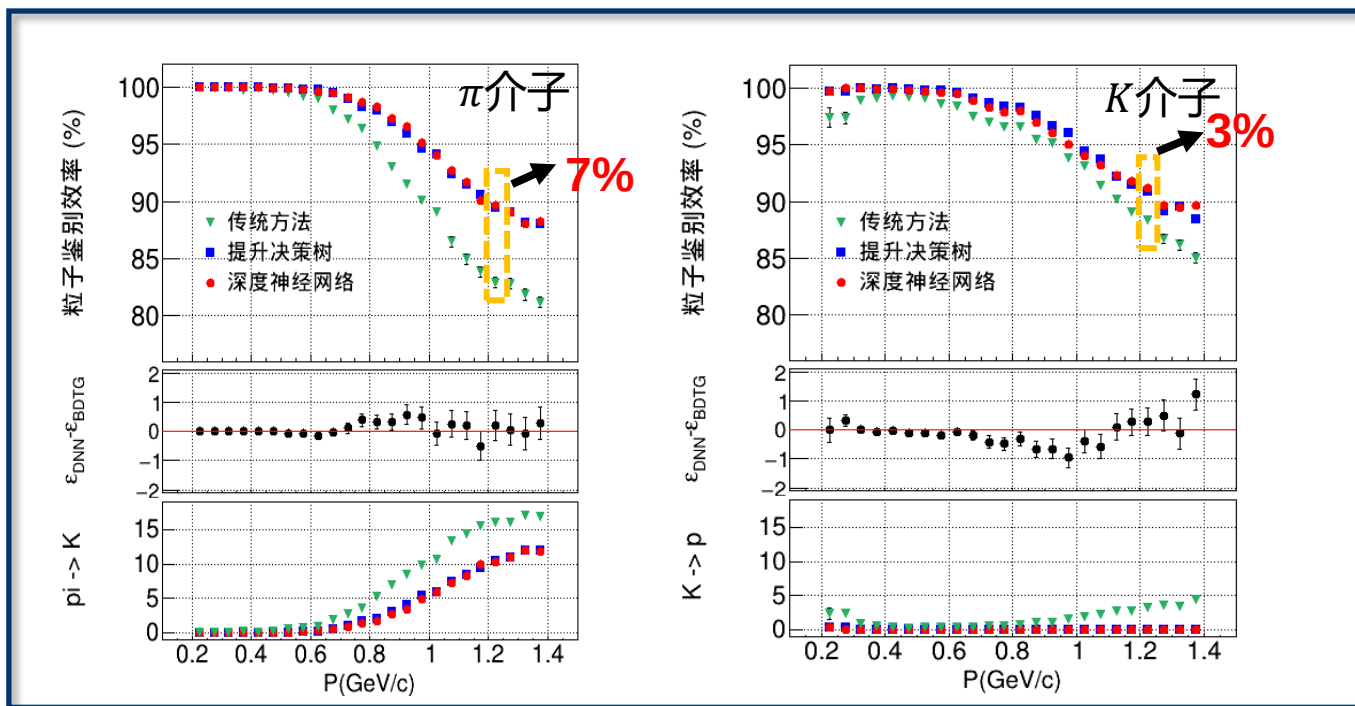
- 损失函数与ROC曲线
- 粒子鉴别效率
- 粒子鉴别算法的执行时间
- 系统误差

④模型部署:

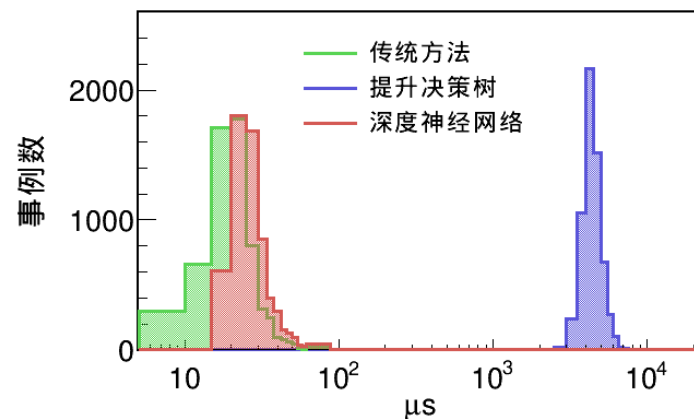
- 实现模型在BESIII离线软件系统 (BOSS) 粒子鉴别算法中的使用

DNN模型粒子鉴别性能

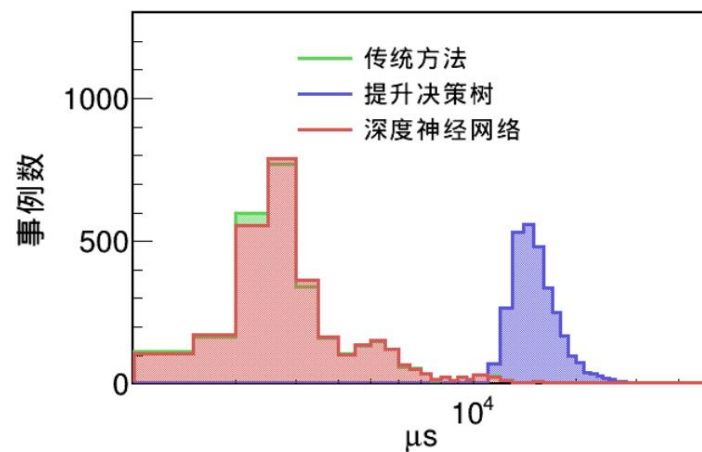
与传统方法相比	粒子鉴别效率	粒子鉴别时间	事例挑选总时间
提升决策树	显著提升	~两个数量级	~5倍
深度神经网络	显著提升	~1.3倍	相同



粒子鉴别时间



事例挑选 (好带点径迹, 好光子, 粒子鉴别, 运动学拟合) 总时间



AI显著提升实验能力

- 利用**深度神经网络**方法高效联合BESIII实验四个子探测器的强子鉴别信息，开发了新的**快速精确的粒子鉴别**算法，将有效提升信号显著性，改善物理精度
- 基于**深度神经网络**的粒子鉴别算法与传统方法相比：
 - **粒子鉴别效率**：显著提高
 - π 介子提升~**7%**@1.2GeV/c
 - K 介子提升~**3%**@1.2GeV/c
 - **算法执行时间**：非常接近
 - 粒子鉴别算法时间~**1.3**
 - 事例挑选总时间**基本一致**
- AI在高能物理领域具有广泛的应用前景，能够深入挖掘实验的性能极限！

谢谢大家！