



答辩人：王文军

指导老师：张毅

本科生毕业答辩

利用机器学习进行气体探测器径迹重建的算法研究

本科生毕业答辩



兰州大学

- 1 研究背景
- 2 基于裂变时间投影室的径迹重建
- 3 基于人工神经网络的裂变碎片分类模型
- 4 总结展望

基于裂变时间投影室的新型核裂变测量技术



兰州大学

利用机器学习进行气体探测器径迹重建的算法研究

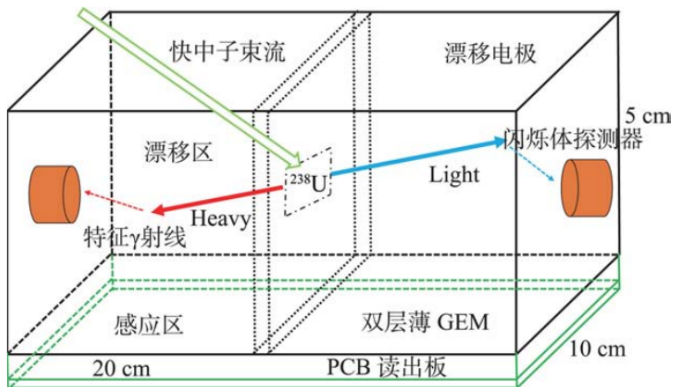


图 1: 裂变时间投影室探测系统 (论文 P6)

时间投影室的应用



兰州大学

- 许多大型高能粒子实验都采用其作为中心径迹探测器, 比较著名的有 LEP 实验的 ALEPH, DELPHI, BNL 的 STAR, LHC 的 ALICE 等等。
- MicroBooNE Collaboration 应用卷积神经网络完成了对时间投影室产生的径迹数据的算法研究。算法包括多粒子径迹图片的分类 (Classification)、多粒子径迹图片中的空间定位 (Localization)。



时间投影室的目前的局限

- 对于裂变碎片的鉴别尚处于空白。
- 对于裂变碎片的径迹重建仍然基于经典的离子能损理论。
- 如果将径迹简单地拟合为直线无法准确处理这种非线性效应。

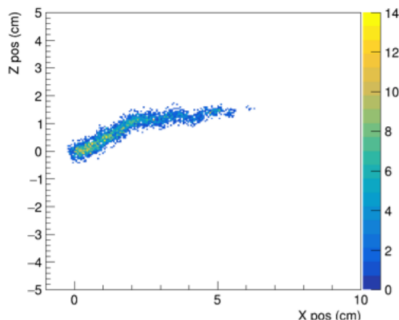


图 2: 模拟的裂变碎片径迹在读出板上的信号

深度学习人工神经网络的优点



兰州大学

利用机器学习进行气体探测器径迹重建的算法研究

深度学习人工神经网络的优点：

- 能够近似模拟任何数学函数。
- 人工神经网络对非线性数据具有最好的甄别效果。
- 易于实现。

本科生毕业答辩



兰州大学

- 1 研究背景
- 2 基于裂变时间投影室的径迹重建
- 3 基于人工神经网络的裂变碎片分类模型
- 4 总结展望

径迹重建流程



兰州大学

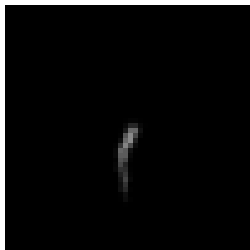


图 3: 径迹重建流程

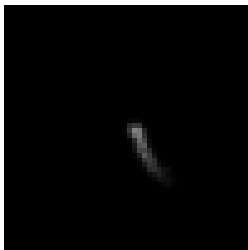
二维径迹图像



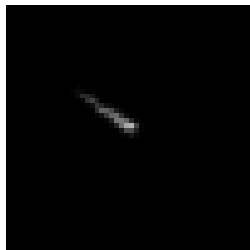
兰州大学



(a) 37N95



(b) 37N95



(c) 37N95

图 4: 二维径迹图

本科生毕业答辩



兰州大学

- 1 研究背景
- 2 基于裂变时间投影室的径迹重建
- 3 基于人工神经网络的裂变碎片分类模型
- 4 总结展望

使用 fastai 搭建人工神经网络



兰州大学

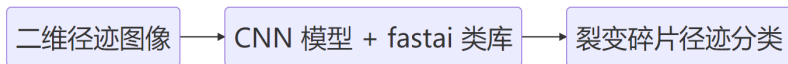


图 5: 神经网络模型建立流程

CNN (Convolutional Neural Network, 卷积神经网络) 模型:
ResNet, XResNet, DenseNet, VGG, SqueezeNet, ShuffleNet



训练结果

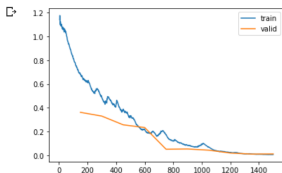
目前最好可以同时对 6 种核素 (39N100, 53N136, 37N95, 55N141, 40N102, 52N134) 以不低于 99.5% 的正确率完成分类。

```
[ ] 1 learn6_vgg19_bn = cnn_learner(dls6, vgg19_bn,  
2 learn6_vgg19_bn.fine_tune(1e)
```

epoch	train_loss	valid_loss	accuracy	time
0	1.497502	0.906123	0.605000	00:36
epoch	train_loss	valid_loss	accuracy	time
0	0.685060	0.361158	0.867500	00:36
1	0.490822	0.329222	0.868333	00:37
2	0.384824	0.255760	0.903333	00:36
3	0.218997	0.233030	0.903750	00:36
4	0.172692	0.050227	0.983750	00:36
5	0.083499	0.052615	0.983333	00:36
6	0.068423	0.042156	0.984583	00:36
7	0.023428	0.018516	0.992917	00:37
8	0.010493	0.009565	0.997917	00:36
9	0.005508	0.010792	0.996250	00:36

(a) Accuracy

```
1 learn6_vgg19_bn.recorder.plot_loss()
```



(b) Loss

图 6: 6 种核素训练结果 (VGG19_bn)

网络测试



兰州大学

37N97 1.0	39N102 0.0	
37N93 1.0	39N103 0.0	40N100 0.8333
37N92 0.1646	39N101 1.0	40N99 0.0
37N96 0.236	39N97 1.0	40N103 0.4894
37N94 1.0	39N98 0.9359	40N104 0.1647
	39N99 1.0	40N101 0.6374
(a) 37	(b) 39	(c) 40

	53N137 1.0	
	53N141 1.0	
	53N138 1.0	
52N136 0.8958	53N135 0.9545	55N143 0.9634
52N135 0.1978	53N133 1.0	55N139 0.0
52N137 0.0759	53N140 0.8636	55N142 1.0
52N132 0.3412	53N134 1.0	55N140 0.0
52N133 0.0213	53N139 0.0482	55N144 1.0
(d) 52	(e) 53	(f) 55

图 7: 测试结果

本科生毕业答辩



兰州大学

- 1 研究背景
- 2 基于裂变时间投影室的径迹重建
- 3 基于人工神经网络的裂变碎片分类模型
- 4 总结展望

总结



兰州大学

本论文从模拟计算产生的 ^{235}U 裂变碎片事件数据出发，使用 SRIM 生成每一个核素的重离子能损表，然后使用 Garfield++ 调用 SRIM 的重离子能损表估算每一个裂变碎片在时间投影室内的径迹信息，完成裂变碎片的在时间投影室内的二维重建和三维径迹重建。

之后使用 fastai，以二维径迹图像为输入数据，完成了裂变碎片径迹图像的鉴别分类。建立的网络模型最好可以同时同时对 6 种核素以不低于 99.5% 的准确率完成核素分类，除此之还，还可以对 12 种核素以不低于 80% 的正确率完成分类。

展望



兰州大学

- 增大数据量（单个核素径迹数、总核素数目）
- 提高径迹数据精度
- 将粒子的能损（ dE/dx ）信息加入输入层