



# 基於二元輻射場的混合編碼

## Hybrid Encoding for Binary Radiance Fields

指導教授：江瑞秋 教授

學生：陳宥丞、楊典軒

### 摘要

本專題針對Binary Radiance Fields (BiRF) 編碼架構進行深入探討與研究，研究出基於二元輻射場的混合編碼 Hybrid Encoding for Binary Radiance Fields (Hyb-BiRF)，這是一個更加儲存高效的輻射場表示法，我們通過實驗證實 Hyb-BiRF 架構於場景重建品質與各方性能皆可優於BiRF，並且隨著特徵維度的上升優化幅度也逐漸提升，於特徵維度8時Hyb-BiRF編碼參數儲存量平均僅為BiRF的71%，訓練時間平均僅為BiRF的77%，渲染速度平均可為BiRF的114%。展示了Hyb-BiRF可用更加高效的編碼架構對場景特徵進行編碼。

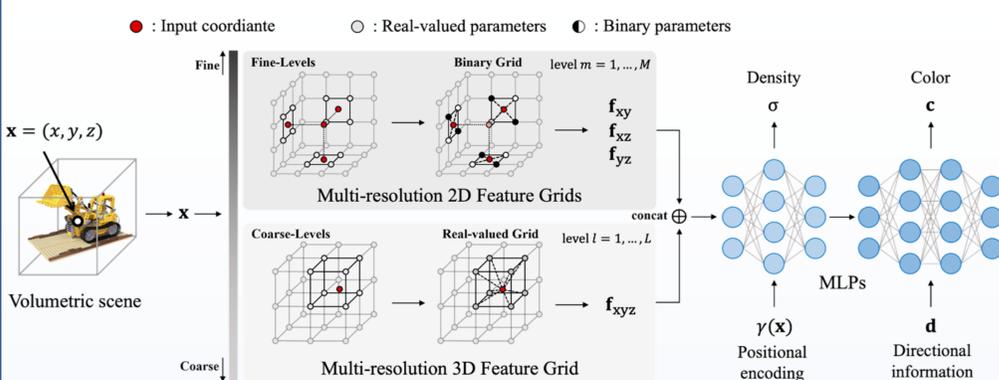
### 研究方法

Hyb-BiRF核心技術為Neural Radiance Fields (NeRF)，NeRF為一種新興的三維重建技術，其技術概念如圖一所示，NeRF技術能夠基於有限的二維視圖資料，重建精確且細緻的三維場景，並通過體積渲染三維場景達到生成新視圖的效果。



圖一、NeRF技術概念圖

Hyb-BiRF模型架構如圖二所示，使用顯式資料結構輔助編碼場景特徵，並結合小型神經網路來表示輻射場，通過此類輻射場表示法能於射線渲染時可只計算整體場景中少量局部特徵與小型神經網路，可極大降低每次渲染優化的計算量，以大幅提升訓練效率。



圖二、整體模型架構圖

Hyb-BiRF顯式編碼架構使用Instant-NGP提出的多解析度哈希編碼技術編碼場景特徵，受到Hyb-NeRF的啟發，我們將主體架構特徵編碼依網格解析度拆分成細層次與粗層次兩個部分，於較高解析度之細層次特徵編碼中使用二維多解析度特徵網格結合BiRF提出的二元編碼技術編碼場景細節特徵，而於較低解析度之粗層次特徵編碼則使用三維多解析度特徵網格搭配實值參數進行編碼，以提升場景基礎架構編碼準確性，基於此架構設計可以更高效率的編碼場景特徵並將其作為MLP的輸入，以預測密度與顏色資訊，從而通過體積渲染來表示輻射場。

具體流程細節為先給定一個3D座標並投影至各級解析度特徵網格，再使用線性內插求得各級解析度網格之特徵向量，接著將各級解析度之特徵向量串接成一個最終特徵向量 $f$ 作為密度MLP的輸入，以獲得空間密度值 $\sigma$ 和嵌入特徵 $e$ ，最後將嵌入特徵與視角資訊 $d$ 進一步作為顏色MLP輸入以獲得顏色值 $c$ ，MLP架構如下式表示：

$$f = \{f_{xyz}, f_{xy}, f_{xz}, f_{yz}\}$$

$$(\sigma, e) = MLP_{density}(\gamma(x), f) \quad c = MLP_{color}(e, d)$$

### 研究成果

我們分別於各性能方面將Hyb-BiRF與原始BiRF模型進行分析比較，如表一、表二所示，由實驗可證實Hyb-BiRF於各方面性能皆優於原始BiRF模型，包括輸出質量、儲存空間使用量、渲染速度與訓練時間，展現了Hyb-BiRF編碼架構的高效性。

表一、定量分析比較表

Method	Synthetic-NeRF			Synthetic-NSVF			Tanks and Temples		
	PSNR $\uparrow$	SSIM $\uparrow$	Size	PSNR $\uparrow$	SSIM $\uparrow$	Size	PSNR $\uparrow$	SSIM $\uparrow$	Size
BiRF-2	32.37	0.956	1.46	35.01	0.976	1.55	28.28	0.913	1.65
BiRF-4	33.02	0.960	2.93	35.87	0.980	3.08	28.41	0.918	3.23
BiRF-8	33.45	0.963	6.05	36.38	0.982	6.17	28.59	0.922	6.40
Our-2	32.70	0.957	1.15	35.53	0.976	1.17	28.45	0.912	1.18
Our-4	33.35	0.962	2.23	36.21	0.980	2.27	28.62	0.917	2.28
Our-8	33.71	0.964	4.42	36.62	0.982	4.46	28.74	0.920	4.47

表二、各方性能比較表

Method	Synthetic-NeRF	Synthetic-NSVF	Tanks and Temples
<b>Encoding Size (MB)</b>			
BiRF-2	1.38	1.45	1.53
BiRF-4	2.83	2.96	3.10
BiRF-8	5.92	6.03	6.24
Our-2	1.07	1.08	1.08
Our-4	2.13	2.16	2.16
Our-8	4.30	4.33	4.33
<b>Rendering Speed (fps)</b>			
BiRF-2	2.76	3.54	0.57
BiRF-4	2.62	3.36	0.47
BiRF-8	2.24	2.97	0.38
Our-2	3.15	3.92	0.67
Our-4	3.00	3.68	0.63
Our-8	2.62	3.19	0.58
<b>Training Time (s)</b>			
BiRF-2	314.72	322.13	293.31
BiRF-4	436.48	459.48	437.04
BiRF-8	704.10	716.81	712.73
Our-2	288.72	286.57	268.02
Our-4	381.02	378.23	357.15
Our-8	550.99	559.41	533.87

### 研究結論

在本專題中，我們基於BiRF模型，對特徵編碼網格進行了修改，研究出更加高效的編碼架構Hyb-BiRF，並通過實驗證實，此架構不僅能降低編碼架構的複雜度，還可有效降低存儲容量的需求，並於各方性能優於BiRF模型，包括輸出質量、儲存空間使用量、渲染速度與訓練時間等等，最終我們希望通過此研究，能進一步推動NeRF技術在儲存資源有限的情境下得到更廣泛的應用。