# 神经网络在织物渲染应用中的实习总结报告

本次实习围绕 “神经网络在织物渲染中的应用” 展开核心研究，通过与传统渲染方法、其他表面模型的横向对比，系统剖析了神经网络材质在织物渲染场景下的优势、现存缺陷及优化方向，为后续技术迭代提供实践参考。

## 一、织物渲染简介

传统织物渲染通常将织物解构为多层级结构，按尺度从细到粗依次为 Fiber（纤维）、Ply（纱线股）、Yarn（纱线）、Cloth（面料）。其中，Fiber 作为最小结构单元，通过与其他 Fiber 相互缠绕形成 Ply；Ply 进一步与其他 Ply 缠绕构成 Yarn；最终 Yarn 以多种交织方式编织形成完整 Cloth。需特别注意的是，Fiber 的基础材质属性（如反射率、透明度）与各层级的几何形态（如缠绕密度、交织角度），共同决定了织物的最终视觉呈现效果。

当前织物渲染的核心挑战集中于两点：一是对织物多层级几何结构的精准还原，二是光线在织物内部及表面的多重散射计算。主流研究方法可分为两类：

1. **基于曲线的模型**：显式表达 Fiber、Ply、Yarn 等微观元素，能实现高精度渲染，但渲染过程需消耗大量时间与内存资源，效率较低；
2. **基于表面的模型**：采用数据驱动思路，直接将织物视为二维表面进行计算，可实现更高效的渲染，但对织物微观细节（如 Fiber 分布不均、Yarn 边缘凹凸）的还原能力仍有待提升。

## 二、应用神经网络的织物渲染

以论文《Neural Appearance Model for Cloth Rendering》为核心研究对象，该研究创新性地将神经网络（MLP）与传统渲染结合，构建基于表面的织物渲染模型，将渲染过程拆解为 “直接反射”“直接透射”“多重散射” 三部分，具体实现逻辑如下：

### （1）三部分渲染逻辑与技术方案

* **直接反射**：指光线与织物仅发生一次相交（含反射、折射），视觉上表现为织物的高光区域。该部分沿用传统解析方法，从 Fiber 层级出发，将 BSDF（双向散射分布函数）拆分为反射与折射两个子模块，并通过 “解耦轴向与横向角度分布” 的方式降低计算复杂度。
* **直接透射**：指光线不与织物相交而直接穿透，视觉上表现为织物的透明区域。传统渲染中，“判断光线与 Fiber 是否相交” 的步骤需占用大量计算资源，因此该论文采用 MLP 近似替代 —— 通过输入入射光线方向，由神经网络输出 “光线是否穿透织物” 的判断结果，大幅提升效率。
* **多重散射**：指光线在织物表面及内部发生多次弹射，视觉上表现为织物的细节纹理（如肌理感）。该部分同样采用 MLP 实现，以入射光线方向与出射光线方向为输入，直接输出对应的 BSDF 参数。

### （2）MLP 训练与实验结果

MLP 的训练数据来源于 “基准多角度渲染结果”：将立体角均匀划分后，对单根 Yarn 在每个立体角分区内采用传统渲染方法生成数据，以此作为训练样本。实验结果表明，该神经网络方法在保证渲染质量的前提下，可显著降低时间与内存消耗。

### （3）神经网络方法的现存缺陷

尽管效率优势明显，但该方法仍存在三方面核心问题：

1. **微观层级失真**：在 Cloth 层级渲染效果良好，但聚焦至单根 Yarn 时失真明显 —— 现实中 Yarn 表面的 Fiber 分布不均、存在空隙且边缘凹凸，而该模型因训练输入仅包含 “入射 / 出射光线方向”（与入射点位置无关），默认 Fiber 在 Yarn 上均匀分布，最终呈现平滑表面，无法还原微观几何细节；
2. **参数灵活性不足**：神经网络结构与 Fiber 的具体参数（密度、缠绕方式、反射率）强绑定，若需微调织物参数，需重新训练网络，而网络训练本身耗时较长；
3. **LOD 适配性弱**：与传统方法相比，神经网络在 LOD（细节层次）调整上灵活性不足，尤其当 Yarn 在画面中仅占据 1 个像素时，细节丢失问题更为突出。

## 三、其他基于表面的模型

为进一步对比 “神经网络方案” 与传统表面模型的差异，本次实习还研究了两篇代表性论文，梳理其技术思路与可借鉴方向：

### （1）《A Realistic Surface-based Cloth Rendering Model》

该论文未采用神经网络，而是通过 “统计分析 + 预计算” 的方式实现表面模型渲染，核心特点如下：

* **渲染精度**：在 Cloth 层级实现了准确渲染，但未针对 Yarn 层级开展测试验证；
* **对比方式**：直接与真实布料进行视觉对比，通过测量获取多类特征图，包括 ID map（标记表面是否存在织物区域）、Ply normal/tangent map（纱线股法向量 / 切向量图）、position map（纱线股相对基准面的偏移图）—— 特征图的引入有效避免了微观几何细节缺失的问题；
* **局限与借鉴**：该论文未开源代码，无法参考具体实现逻辑，但为前文神经网络模型提供优化思路：可通过传统渲染生成特征图数据样本（类似渲染图片，仅修改 Fiber 反射率即可），再将特征图融入模型训练，具体优化方向包括：
  + 直接反射部分：额外过滤 ID map 中值为 0 的渲染点，并结合 normal/position map 修正法线与位移参数；
  + 直接透射与多重散射部分：将特征图编码后作为 MLP 的输入，在控制 MLP 参数数量增幅不大的前提下，提升模型对空间变化的适配能力。

受实习周期限制，上述优化方案的具体实现仍处于探索阶段，实际渲染效果需后续测试验证。

### （2）《A Realistic Multi-scale Surface-based Cloth Appearance Model》

该论文以《A Realistic Surface-based Cloth Rendering Model》为基础，新增两项关键功能：一是实现视差效果，二是还原织物边缘的绒毛细节；同时采用 “低耦合设计”，新增模块与原有渲染逻辑的关联性较弱，可独立调整。若将该模型作为基准参考（reference），能进一步提升织物渲染结果的真实度与准确性。

## 四、总结

本次实习围绕 “神经网络在织物渲染中的应用”，通过文献研究与技术对比，完成核心工作如下：

### （1）核心研究成果

1. 剖析《Neural Appearance Model for Cloth Rendering》技术逻辑，明确神经网络渲染的优势（降本提效）与缺陷（微观失真、参数僵化、LOD 适配弱）；
2. 对比两类传统表面模型，提炼 “特征图辅助渲染” 思路，为解决神经网络细节缺失问题提供路径；
3. 提出优化方案：将特征图编码融入 MLP 输入，调整直接反射参数过滤逻辑，实现 “效率与细节兼顾” 的理论构想。

### （2）现存不足与后续方向

受实习时间与资源限制，仍存在未完成事项：一是 “特征图 + MLP” 方案未落地验证；二是未复现特征图生成逻辑；三是 Yarn 层级 LOD 优化未深入。后续将推进模型开发测试、自主生成特征图样本，并探索神经网络与传统 LOD 的融合方案。

### （3）实习收获

本次实习不仅掌握了织物渲染的核心技术框架（曲线模型、表面模型、神经网络方案），还提升了 “文献拆解 - 问题分析 - 方案设计” 的实践能力。特别感谢实习期间各位前辈的悉心指导，在技术难点拆解、研究方向把控上给予的关键支持，帮助我高效推进研究并解决多个实际问题，为后续从事计算机图形学相关研究奠定了坚实基础。

（注：文档部分内容可能由 AI 生成）