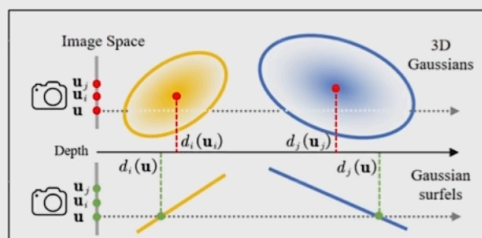


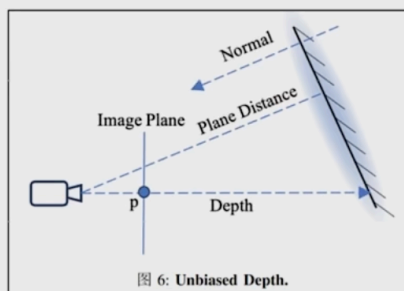
PGSR

PGSR:

一、核心见解与创新点：



中心点渲染深度带来的偏差



使用法向量校正偏差

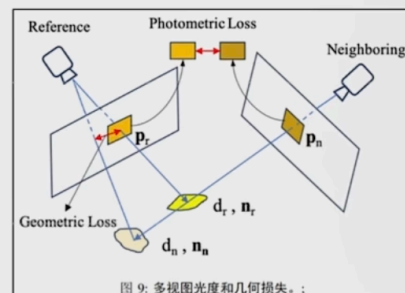


图 9: 多视图光度和几何损失。

创新点：

- 无偏深度估计：使用渲染的法向量校正光心到交点距离
- 多视角几何一致性：重投影误差+NCC相关性
- 曝光校正：对数拉伸

PGSR

PGSR: Planar-based Gaussian Splatting for Efficient and High-Fidelity Surface Reconstruction arxiv6月10日 浙大CAD&CG

二、无偏深度渲染Unbiased Depth:

(1) 薄片状高斯如何求交点：

- -> GaussianSurfel使用仿射变换近似高斯中心点到交点的距离

$$d_i(\mathbf{u}) = d_i(\mathbf{u}_i) + (\mathbf{W}_k \mathbf{R}_i) [2, :] \mathbf{J}_{pr}^{-1} (\mathbf{u} - \mathbf{u}_i),$$

交点和中心点
像素距离

透射变换
交点和中心点相机坐标系
空间距离

利用法向量投影到射线
方向 (仿射变换是z轴)

- -> 2DGS 三平面法求交点

$$\mathbf{h}_x = (-1, 0, 0, x), \quad \mathbf{h}_y = (0, -1, 0, y), \quad \mathbf{h}_u = (\mathbf{W}\mathbf{H})^\top \mathbf{h}_x, \quad \mathbf{h}_v = (\mathbf{W}\mathbf{H})^\top \mathbf{h}_y$$

$$u(\mathbf{x}) = \frac{\mathbf{h}_u^2 \mathbf{h}_v^4 - \mathbf{h}_u^4 \mathbf{h}_v^2}{\mathbf{h}_u^1 \mathbf{h}_v^2 - \mathbf{h}_u^2 \mathbf{h}_v^1}, \quad v(\mathbf{x}) = \frac{\mathbf{h}_u^4 \mathbf{h}_v^1 - \mathbf{h}_u^1 \mathbf{h}_v^4}{\mathbf{h}_u^1 \mathbf{h}_v^2 - \mathbf{h}_u^2 \mathbf{h}_v^1}$$

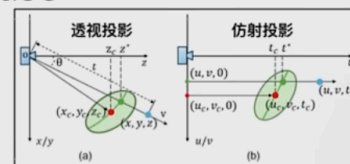
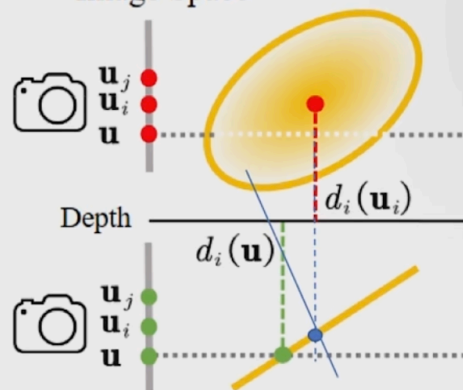


Image Space



二、无偏深度渲染Unbiased Depth:

(2) PGSR如何求交点:

① 渲染射线方向上的法向量N

$$N = \sum_{i \in N} R_c^T n_i \alpha_i \prod_{j=1}^{i-1} (1 - \alpha_j),$$

② 计算光心到中心点距离, 投影到点到平面距离OA, 渲染

$$d_i = (R_c^T (\mu_i - T_c)) R_c^T n_i^T \quad \mathcal{D} = \sum_{i \in N} d_i \alpha_i \prod_{j=1}^{i-1} (1 - \alpha_j),$$

R_c 是从相机到全局世界的旋转。

③ 计算光心到交点的距离OB

$$D(p) = \frac{\mathcal{D}}{N(p)K^{-1}\bar{p}}. \quad (4)$$

$p = [u, v]^T$ 表示图像平面上的二维位置。 \bar{p} 表示 p 的齐次坐标, K 是相机的内参。

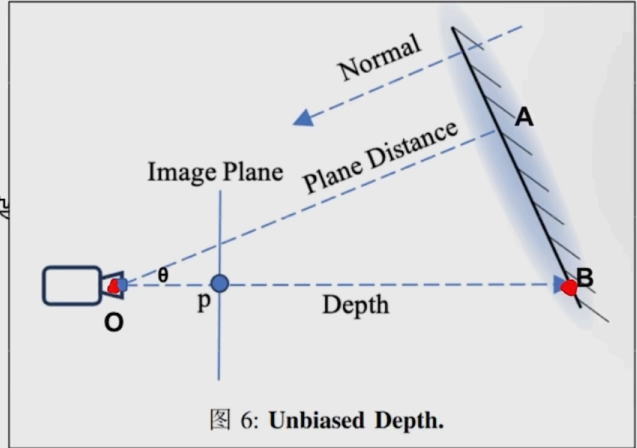


图 6: Unbiased Depth.

推导: 1、OP是单位1; 2、n·OP是投影, 即cosθ; 3、OB=OA/cosθ

三、多视角一致性:

① 多视角几何一致性: 重投影误差

$$L_{mvgeom} = \frac{1}{V} \sum_{p_r \in V} \phi(p_r) \quad \phi(p_r) = \| p_r - H_{nr} H_{rn} p_r \|$$

② 多视角光度一致性: NCC相关性

$$L_{mvrgb} = \frac{1}{V} \sum_{p_r \in V} (1 - NCC(I_r(p_r), I_n(H_{rn} p_r))),$$

③ 单视角邻域一致性: 梯度加权的邻域深度图-法线一致损失

$$N_d(p) = \frac{(P_1 - P_0) \times (P_3 - P_2)}{|(P_1 - P_0) \times (P_3 - P_2)|}, \quad L_{svgeo} = \frac{1}{W} \sum_{p \in W} |\nabla I|^5 \| N_d(p) - N(p) \|_1$$

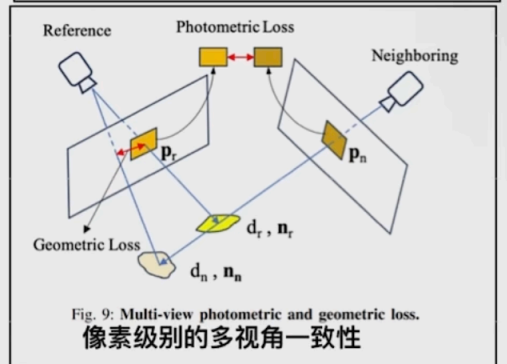
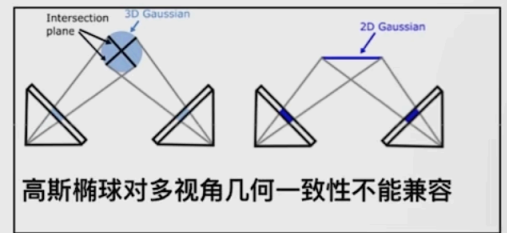


Fig. 9: Multi-view photometric and geometric loss.
像素级别的多视角一致性

四、曝光校正：

对数拉伸：

$$\mathbf{I}_i^a = \exp(a_i) \mathbf{I}_i^r + b_i,$$

$$\mathbf{L}_{rgb} = (1 - \lambda) \mathbf{L}_1(\tilde{\mathbf{I}} - \mathbf{I}_i) + \lambda \mathbf{L}_{SSIM}(\mathbf{I}_i^r - \mathbf{I}_i). \quad 0.2$$

$$\tilde{\mathbf{I}} = \begin{cases} \mathbf{I}_i^a, & \text{if } \mathbf{L}_{SSIM}(\mathbf{I}_i^r - \mathbf{I}_i) < 0.5 \\ \mathbf{I}_i^r, & \text{if } \mathbf{L}_{SSIM}(\mathbf{I}_i^r - \mathbf{I}_i) \geq 0.5 \end{cases}$$

损失函数：

$$\mathbf{L} = \mathbf{L}_{rgb} + \lambda_1 \mathbf{L}_s + \mathbf{L}_{geo}. \quad \mathbf{L}_{geo} = \lambda_2 \mathbf{L}_{svgeo} + \lambda_3 \mathbf{L}_{mvrgb} + \lambda_4 \mathbf{L}_{mvgeom}.$$

100 0.01 0.2 0.05

五、结果和总结：

| Model setting | F1-Score↑ | PSNR↑ |
|------------------------|-----------|-------|
| w/o Single-view | 0.26 | 27.46 |
| w/o Multi-view | 0.15 | 28.14 |
| w/o Our unbiased depth | 0.20 | 26.80 |
| Full model | 0.29 | 27.30 |

- 首个多视角一致性损失
- 结合MVS
- 重建sota 渲染没掉很多
- 先渲染法向量避免数值不稳定

- 多视角一致性降低渲染能力
- 相邻视角不一定合适
- 深度无偏吗???
- 边缘渲染会更差

| | 24 | 37 | 40 | 55 | 63 | 65 | 69 | 83 | 97 | 105 | 106 | 110 | 114 | 118 | 122 | Mean | Time |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| VolSDF [60] | 1.14 | 1.26 | 0.81 | 0.49 | 1.25 | 0.70 | 0.72 | 1.29 | 1.18 | 0.70 | 0.66 | 1.08 | 0.42 | 0.61 | 0.55 | 0.86 | > 12h |
| NeuS [56] | 1.00 | 1.37 | 0.93 | 0.43 | 1.10 | 0.65 | 0.57 | 1.48 | 1.09 | 0.83 | 0.52 | 1.20 | 0.35 | 0.49 | 0.54 | 0.84 | > 12h |
| Neuralangelo [33] | 0.37 | 0.72 | 0.35 | 0.35 | 0.87 | 0.54 | 0.53 | 1.29 | 0.97 | 0.73 | 0.47 | 0.74 | 0.32 | 0.41 | 0.43 | 0.61 | > 128h |
| SuGaR [19] | 1.47 | 1.33 | 1.13 | 0.61 | 2.25 | 1.71 | 1.15 | 1.63 | 1.62 | 1.07 | 0.79 | 2.45 | 0.98 | 0.88 | 0.79 | 1.33 | 1h |
| 2DGS [21] | 0.48 | 0.91 | 0.39 | 0.39 | 1.01 | 0.83 | 0.81 | 1.36 | 1.27 | 0.76 | 0.70 | 1.40 | 0.40 | 0.76 | 0.52 | 0.80 | 0.32h |
| GOF [69] | 0.50 | 0.82 | 0.37 | 0.37 | 1.12 | 0.74 | 0.73 | 1.18 | 1.29 | 0.68 | 0.77 | 0.90 | 0.42 | 0.66 | 0.49 | 0.74 | 2h |
| PGSR(DS) | 0.34 | 0.58 | 0.29 | 0.29 | 0.78 | 0.58 | 0.54 | 1.01 | 0.73 | 0.51 | 0.49 | 0.69 | 0.31 | 0.37 | 0.38 | 0.53 | 0.6h |
| PGSR | 0.31 | 0.52 | 0.27 | 0.27 | 0.76 | 0.54 | 0.49 | 0.98 | 0.69 | 0.49 | 0.46 | 0.56 | 0.28 | 0.35 | 0.36 | 0.49 | 1.0h |

| | | Indoor scenes | | | Outdoor scenes | | | Average on all scenes | | |
|------------|--------------------|---------------|-------|--------|----------------|-------|--------|-----------------------|-------|--------|
| | | PSNR↑ | SSIM↑ | LPIPS↓ | PSNR↑ | SSIM↑ | LPIPS↓ | PSNR↑ | SSIM↑ | LPIPS↓ |
| NeRF-based | NeRF [41] | 26.84 | 0.790 | 0.370 | 21.46 | 0.458 | 0.515 | 24.15 | 0.624 | 0.443 |
| | Deep Blending [20] | 26.40 | 0.844 | 0.261 | 21.54 | 0.524 | 0.364 | 23.97 | 0.684 | 0.313 |
| | INGP [44] | 29.15 | 0.880 | 0.216 | 22.90 | 0.566 | 0.371 | 26.03 | 0.723 | 0.294 |
| | M-NeRF360 [2] | 31.72 | 0.917 | 0.180 | 24.47 | 0.691 | 0.283 | 28.10 | 0.804 | 0.232 |
| | Neus [56] | 25.10 | 0.789 | 0.319 | 21.93 | 0.629 | 0.600 | 23.74 | 0.720 | 0.439 |
| GS-based | 3DGS [27] | 30.99 | 0.926 | 0.199 | 24.24 | 0.705 | 0.283 | 27.24 | 0.803 | 0.246 |
| | SuGaR [19] | 29.44 | 0.911 | 0.216 | 22.76 | 0.631 | 0.349 | 26.10 | 0.771 | 0.283 |
| | 2DGS [21] | 30.39 | 0.923 | 0.183 | 24.33 | 0.709 | 0.284 | 27.03 | 0.804 | 0.239 |
| | GOF [69] | 30.80 | 0.928 | 0.167 | 24.76 | 0.742 | 0.225 | 27.78 | 0.835 | 0.196 |
| | PGSR | 30.41 | 0.930 | 0.161 | 24.45 | 0.730 | 0.224 | 27.43 | 0.830 | 0.193 |