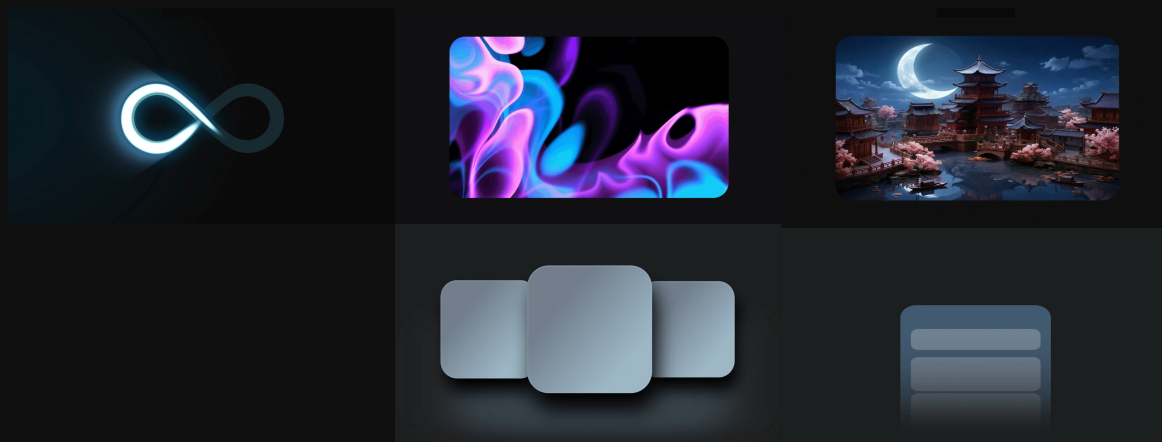


基于数学算法的矢量图形羽化 实时渲染技术

蚂蚁集团 吴茂林

背景

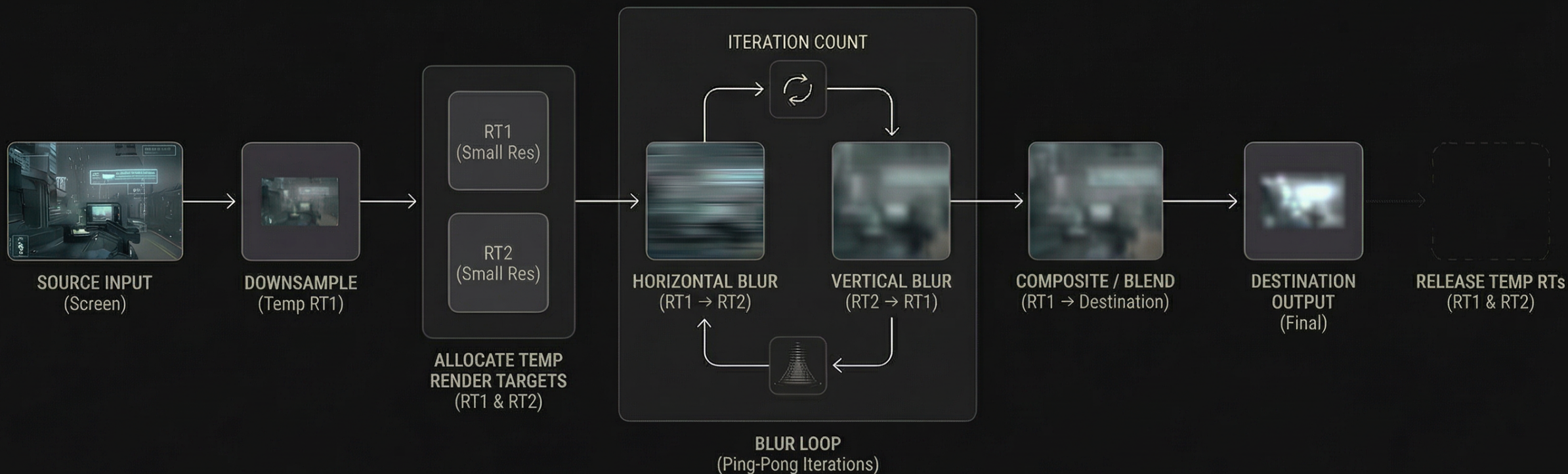
阴影、辉光、遮罩和转场等效果广泛出现在动效场景中。这些效果都依赖柔和、可控的边界过渡。



- 可交互性
- Web 移动端友好

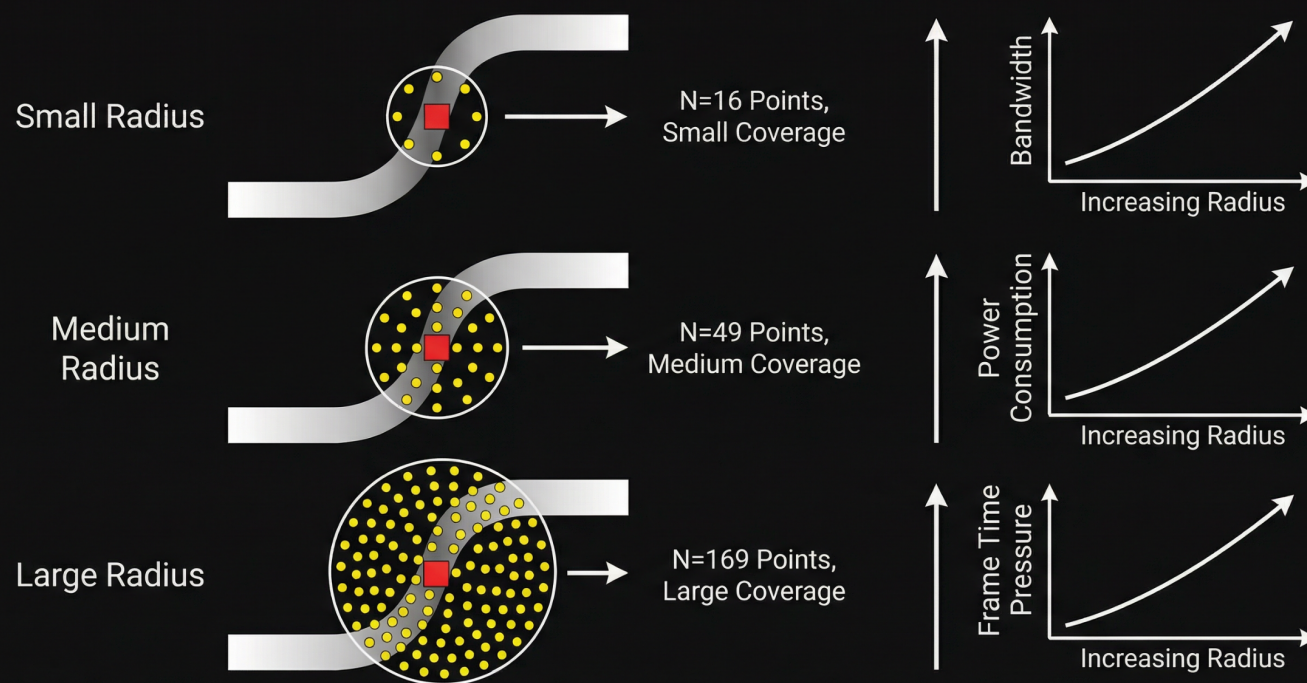
基于高斯模糊的羽化

先将画面渲染到离屏纹理，再通过多次横向和纵向模糊 Pass 软化边缘，最后将结果合成回主画面



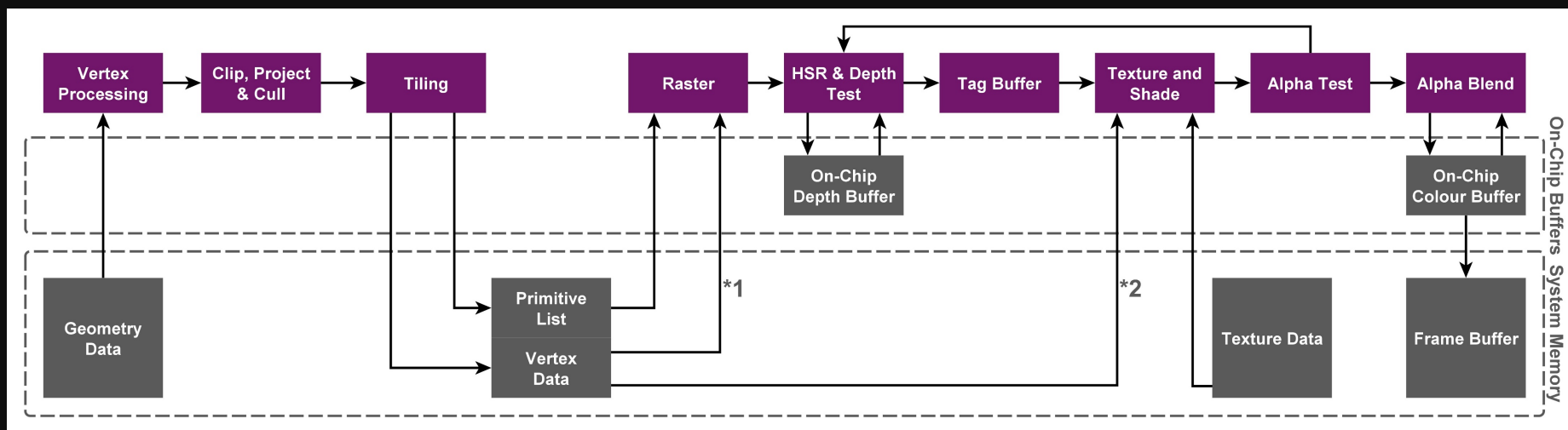
高斯模糊在移动端的性能问题

- 半径越大，单像素采样越多，性能下降越明显
- 最终会放大带宽、功耗和帧时间压力



高斯模糊在移动端的性能问题

- 移动端 GPU 依赖 TBR / TBDR，需要尽量减少主存访问
- 高斯羽化需要离屏和多 Pass，难以留在 Tile 内完成



PowerVR TBDRs

<https://blog.imaginationtech.com/a-look-at-the-powervr-graphics-architecture-tile-based-rendering/>

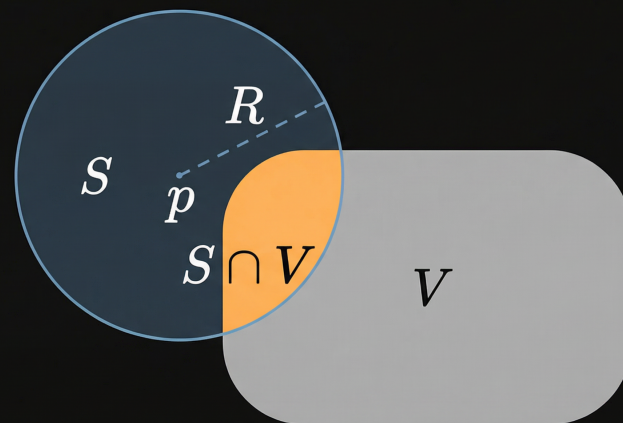
解析的矢量羽化

羽化的另一种思路：

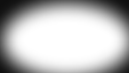
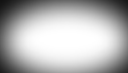
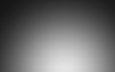
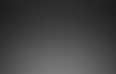
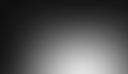
对每个像素点 p ，统计其周围半径 R 内图形区域的加权覆盖率

$$o(p) = \iint_{S \cap V} F(p - q) dA$$

- p ：当前要计算羽化结果的像素位置
- q ：在图形区域里被积分扫过的任意一点
- V ：图形本身覆盖的区域
- S ：以 p 为圆心、半径为羽化半径的影响范围
- $F(p - q)$ ：点 q 对点 p 的贡献权重



效果演示

羽化半径	0	0.5	1	1.5	3	5
贝塞尔形状						
矩形						
椭圆						
多边形						
星形						

效果演示

多矢量形状羽化混合



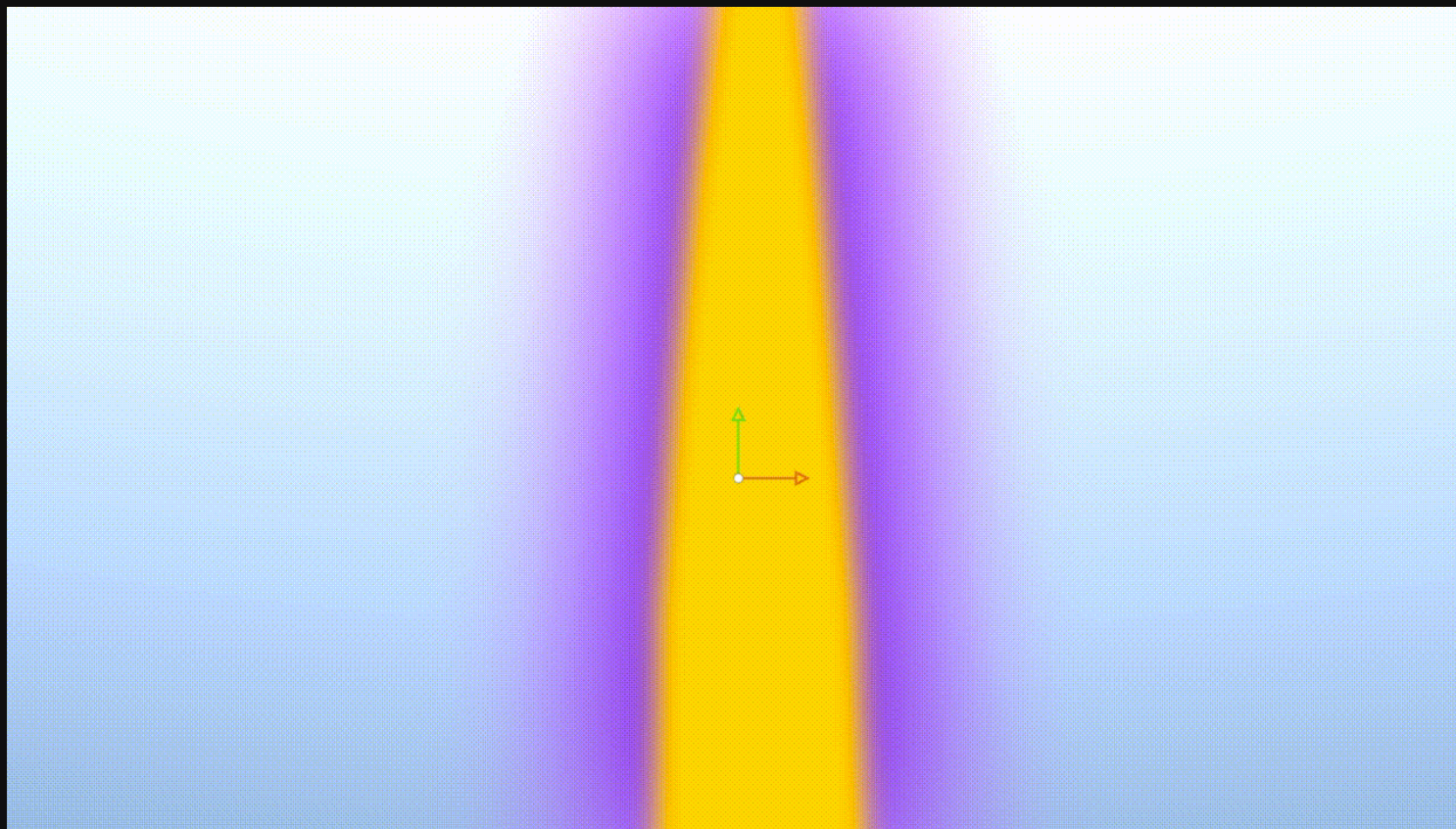
羽化 关



羽化 开

效果演示

矢量动态 K 帧羽化



性能对比

我们的方法和标准分离高斯羽化每帧的 GPU 时间成本（毫秒）。（ $n\times$ -down）表示该项测试方法是在 n 倍下采样缓冲区上渲染羽化，然后使用上采样将其放大到画布分辨率。为了方便抓取 GPU 时间，本测试在桌面环境执行

Method	R = 10		R = 50		R = 100		R = 200		R = 400	
	FIGR	OpenMoji	FIGR	OpenMoji	FIGR	OpenMoji	FIGR	OpenMoji	FIGR	OpenMoji
Sep. Gaussian	0.2108	0.5373	0.8945	1.6184	2.1920	4.0135	5.9842	12.5407	20.2158	45.1140
Ours	0.1045	0.2116	0.1602	0.3059	0.3135	0.5626	0.8659	1.5017	2.5920	4.3564
Sep. Gaussian (2×-down)	0.1349	0.2727	0.2316	0.4566	0.4135	0.7989	0.9511	2.0901	2.8128	6.3765
Ours (2×-down)	0.0642	0.1259	0.0836	0.1610	0.1288	0.2443	0.2817	0.5170	0.7503	1.3138
Sep. Gaussian (4×-down)	0.0883	0.1772	0.1129	0.2290	0.1542	0.3134	0.2469	0.5429	0.5666	1.2960
Ours (4×-down)	0.0540	0.1064	0.0642	0.1267	0.0815	0.1602	0.1295	0.2610	0.2669	0.5186
Sep. Gaussian(8×-down)	0.0838	0.1630	0.0948	0.1924	0.1117	0.2311	0.1455	0.3252	0.2174	0.5034
Ours (8×-down)	0.0539	0.1045	0.0612	0.1210	0.0728	0.1454	0.0959	0.2002	0.1541	0.3266

性能对比

移动端帧率测试

测试机型：iPhone 15 Pro

测试场景：40 个羽化形状元素同屏渲染

Method	radius = 12	radius = 8	radius = 5
Sep. Gaussian	21	34	42
Ours	60	60	60

谢谢聆听