

白皮书

腾讯游戏携手 Arm 打造次世代移动渲染引擎技术

摘要

腾讯游戏与 Arm 正致力于研发新一代移动渲染引擎，通过充分释放 Vulkan® API 在 Mali™ 处理器架构上的潜力，赋能未来的高画质游戏，并配合**全面计算 (Total Compute)** 战略推动移动图形渲染进入一个全新境界。

与此同时，即便使用最强大的游戏引擎，在面向移动设备开发时也会遇到某些技术限制，特别是在引入光照后。因此，拥有一套适配于移动设备，并能真正落地为产品的实时光照解决方案，便成了 Arm 与腾讯游戏携手解决的痛点。针对这一挑战，我们力求通过这一全新的渲染引擎，做到“以今天的硬件，满足明日之需求”。

凭借软件实现层面针对 Mali 的持续优化，“实时绘制数百盏动态光源”这个极具挑战的任务，在移动平台上也终于不再受制于现有引擎解决方案。腾讯游戏开发的渲染技术，在 2020 年度的高性能手机上已完全能够做到这一点，同时支持多种着色管线设计并包含面向热功耗管理的特殊优化，因而不必在画质或性能上做出任何妥协。



移动渲染引擎实时光照与高级特效展示

回顾

Mali GPU 是由一系列高效能、高性能的图形渲染解决方案组成的大家族，每一代产品都含有相较于前辈的显著提升，其核心是一个持续演进着的基于图块 (Tile-based) 的图形处理器架构。一直以来，Mali GPU 面对着各种不同内容负载的重重考验，从高拟真的移动游戏大作，到最具压力的性能跑分软件，经历了诸多着色管线技术的反复锤炼，例如正向和正向增强等，如今它将直面该渲染引擎所带来的全新挑战。

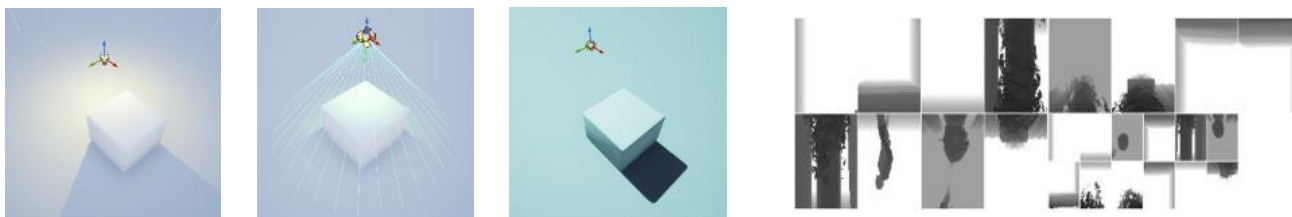
得益于 Mali GPU 的超高速图块 (Tile) 缓存，颇具适应性的流水线设计，以及数以百万计的逻辑门，达成所有这一切并不会在用户心爱的智能手机上消耗过多电能，为此我们要特别感谢腾讯令人尊敬的工程师团队日以继夜的贡献。在该引擎的设计实现中，每一处理步骤都包含大量优化措施，例如有效的几何体处理方式，逐个调优的渲染过程，基于 Vulkan subpasses 的管线设计，以及特别有效的光源剔除算法等。贯穿始终，Arm 提供了大量技术建议、工具、和库以加速项目实施，下面我们就一起来回顾这段历程。

管线技术亮点



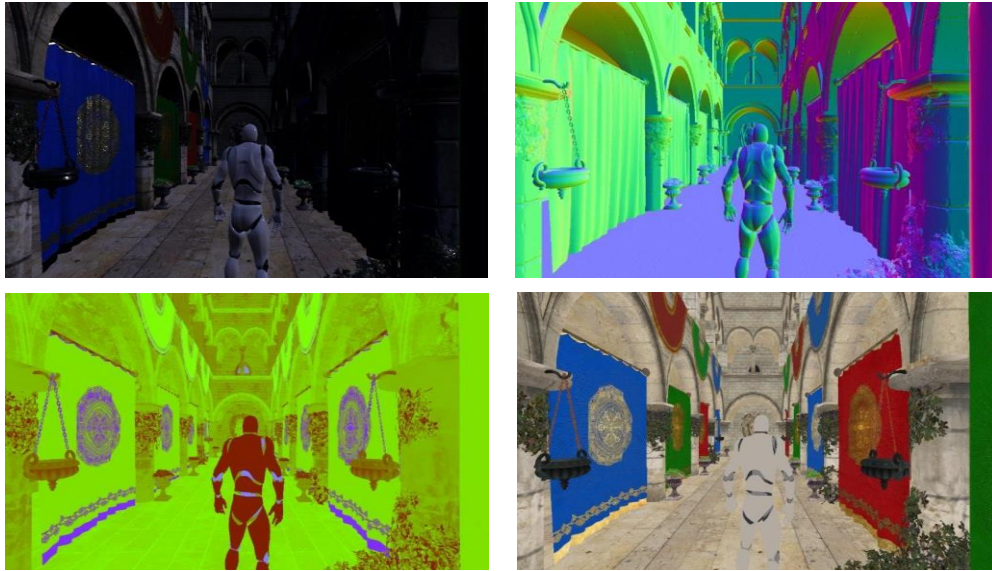
着色管线总览

暗自明出，光随影动。在数字世界里，光照的本质，无外乎一场关于不同表面间能量传递得失的运算，瞬息间交织着数以百万计的迭代。而在荧幕上最终完成的画卷里，每颗像素都蕴含贡献自各个光源的光与影。将繁复的大问题分成多个相对简单的小目标，然后逐一加以攻克，是化解难题的有效手段。腾讯游戏引擎技术团队，在面对诸如移动渲染效果的实现、性能与功耗的优化等等挑战时，正是如此把长期愿景变为一系列相对易达的里程碑，并探寻对应的最佳解决途径。如在阴影处理上，针对方向光适配相应的 Cascaded Shadowmap；再为聚光灯和点光源，分别绘制阴影到如图所示的 Shadowmap Atlas 中去：



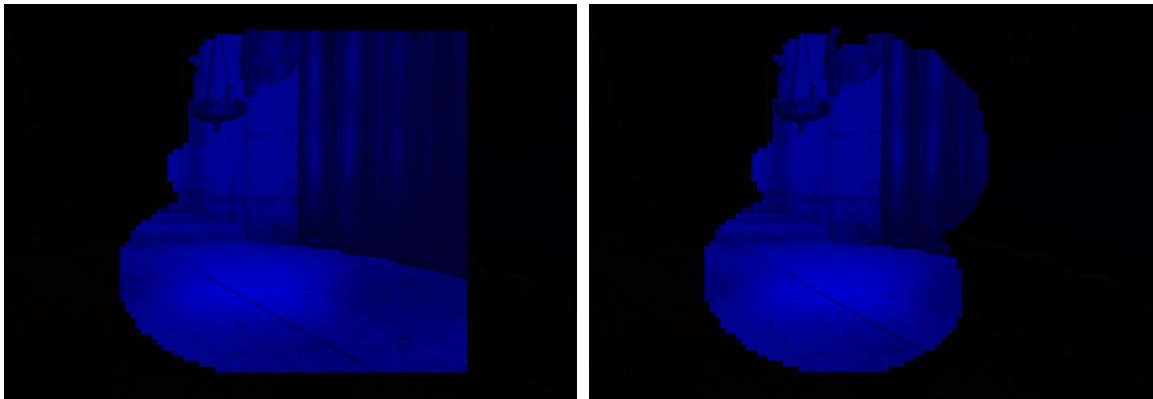
不同光源的阴影贴图

剪裁的艺术



着色管线主要阶段

削减过度渲染（依托更少的体素，像素，或色彩附件）是所有这些目标得以实现的幕后秘诀，当然也不能忽视多种遮蔽措施所做出的突出贡献。例如，几何着色阶段生成的模板遮蔽在后期的贴纸通道里亦被用于加速渲染，同时在随后的照明通道运算里辅助生成全屏方向光效果；最后还有针对半透明和后处理效果的特别实现，为未来双方的深入探索，留下了许多更为有趣的主题。



基于相交测试的快速光源剔除

这一全新的渲染器在光照明着色计算中，可以充分发挥 **Mali GPU 架构** 的潜能，通过将几何与着色信息保留于硬件的图块 (Tile) 缓存中，省去无谓的外存读入或者写出操作。随即通过引入相应的参照几何体，以及高效的光源剔除算法，极大地从性能和功耗两个角度，改进了光照计算的整体效率。所有这些复杂的运算都是通过一组**光栅化着色语言程序**来完成的，能完美地运行于各种 Mali 平台之上，而无兼容性之忧。



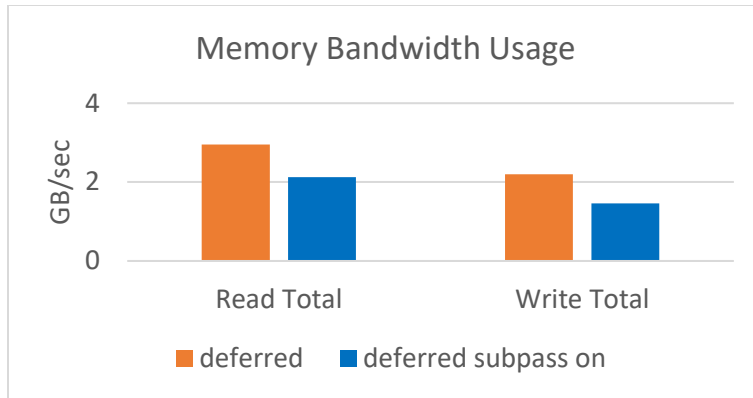
光照通道的中间渲染结果

Vulkan 图形编程接口：Barrier, Layout, 以及 Subpass

Mali GPU 在硬件层面对外提供两个处理槽，分别实现渲染管线不同阶段的部分功能子集，并被设计成能彼此并行运转。因此，同一硬件处理槽内，以及两个槽之间的协同，对任何关注性能的应用来说都显得尤为重要。Arm 可以充满信心的宣称：腾讯游戏渲染引擎在这一领域的技术实现，通过了我们专家团队的细心审阅，完全符合 Mali 开发者指南中有关渲染状态协同优化的专项**指导原则**。

针对管线的 **Image Layouts** 设计，双方进行了深入的探讨和分析，尽可能选取最优化的布局（例如采用了 [VK_IMAGE_LAYOUT_DEPTH_STENCIL_READ_ONLY_OPTIMAL](#) 来替换 [VK_IMAGE_LAYOUT_GENERAL](#)）。腾讯游戏设计的渲染管线状态依赖关系，从实现细节来看，与 Arm 的 **Vulkan 最佳实践** 在诸多理念上不谋而合，各种情况下均可充分发挥 **Vulkan Subpass Merge** 的相应潜力，显著提升绘制效率并节省带宽。通过双方工程师的长期合作，逐步理清了 **subpasses** 之间错综复杂的输入输出关系，在 Mali 平台上取得了理想效果。

腾讯游戏引擎团队在此反复斟酌，确保管线配置实现达到最优，通过规避无效的深度（以及模板）信息上下文切换，仔细考量色彩附件的格式相容性等措施，引擎得以充分利用 **Vulkan subpass**。精心的调试匹配工作，保障了 Mali 的软硬件在运行时都可以高效地批量处理数据，而不必受制于无谓的读入或写出操作，进而有效降低能耗。这部分技术实践，对整个渲染管线的能效优化贡献卓著，最终实际测试场景证实，读写带宽方面的节省幅度可达到 **30%**。



Mali G7x GPU 上的读写带宽实测数据

得益于 Mali 编译器工程团队的协助，腾讯游戏深入检视了引擎所使用的主要着色语言程序，评估了其与其 Mali 硬件寄存器以及渲染核心设计的匹配度，并根据来自 Arm 的性能分析报告与相关建议，对关乎效能瓶颈的着色语言程序集进行了充分的优化，从而达成最佳效果和最高性能兼顾的终极目标。

技术演示：面向 64 位与 Vulkan 生态

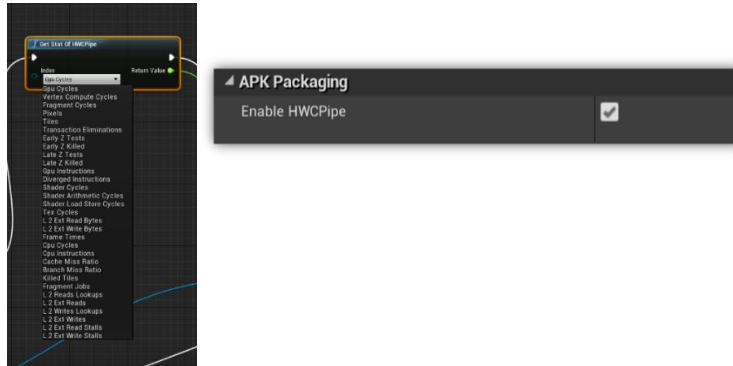
项目伊始，Arm 和腾讯游戏就注意到全球的合作伙伴们正快速向着一个纯 64 位软件应用生态迁移，因而一致同意提升 64 位和 Vulkan API 编译项的优先级。腾讯游戏依此为原则，组织安排相关测试工作，直至后期面向存量设备，才扩大了关注范围。回顾项目进程中的关键里程碑，彼时我们急需一个足够复杂的演示程序来验证该客制化引擎的功能完备性，也迫不及待想一睹移动端和 PC 上渲染结果间的直观对比，Arm 因而决定将一款名为 CircuitVR 的演示程序调整后为项目所用，满足合作伙伴腾讯游戏的全新需求。



Arm 工具链

对于开发者而言，充分发挥工具的妙用，往往意味着事半功倍。Arm 有幸为此提供了多种选择，例如 **HWCPipe** 硬件计数器接口，供人们免费下载并使用。来自 Arm 的工具与程序库，在整个项目进程中发挥了显著作用，从始至终为该渲染引擎的顺利开发保驾护航。

更为可喜的是，在 2020 年 4 月，腾讯游戏成功地将 HWCPipe 整合进引擎，现在开发者可以通过在可视化语言编辑器中的几次简单点击，来实时访问 Mali GPU 的性能计数器，而实现这一切仅需要在 Android 项目配置表中如下图所示进行勾选（该特性需要特定版本的引擎支持）。



展望未来

今天，腾讯游戏已准备好迈出更为坚实的一步：自 2020 年起，本文所及的前沿技术，将被投入到众多商业游戏的开发与制作中去。而与此同时，无数由 Arm 技术赋能的移动设备，也必然以最佳的性能表现，在**全面计算 (Total Compute)** 战略引领下，将玩家们梦寐以求数十载的身临其境的数字化体验变为现实。



All brand names or product names are the property of their respective holders. Neither the whole nor any part of the information contained in, or the product described in, this document may be adapted or reproduced in any material form except with the prior written permission of the copyright holder. The product described in this document is subject to continuous developments and improvements. All particulars of the product and its use contained in this document are given in good faith. All warranties implied or expressed, including but not limited to implied warranties of satisfactory quality or fitness for purpose are excluded. This document is intended only to provide information to the reader about the product. To the extent permitted by local laws Arm shall not be liable for any loss or damage arising from the use of any information in this document or any error or omission in such information.

补充资源

进一步了解 Arm 技术，请访问以下链接：

[Arm 全面计算战略 / Arm Total Compute Strategy](#)

[Arm 开发技术荟萃 / Arm Technologies Overview](#)

[64 位安卓应用开发 / 64-bit Android Development](#)



All brand names or product names are the property of their respective holders. Neither the whole nor any part of the information contained in, or the product described in, this document may be adapted or reproduced in any material form except with the prior written permission of the copyright holder. The product described in this document is subject to continuous developments and improvements. All particulars of the product and its use contained in this document are given in good faith. All warranties implied or expressed, including but not limited to implied warranties of satisfactory quality or fitness for purpose are excluded. This document is intended only to provide information to the reader about the product. To the extent permitted by local laws Arm shall not be liable for any loss or damage arising from the use of any information in this document or any error or omission in such information.