



白皮书

NVIDIA[®]（英伟达[™]）GF100

能够实现超强游戏性能、呈现真正几何逼真效果的
全球最快GPU（图形处理器）

专为全球PC游戏玩家量身打造

目录

GF100简介.....	4
出类拔萃的游戏性能.....	4
一流的图像质量.....	4
电影般的几何学逼真度.....	5
专为游戏量身打造的革命性计算架构.....	5
几何学逼真度.....	7
Tessellation（曲面细分）与Displacement Mapping（贴图置换）概述.....	7
Displacement Mapping（贴图置换）与Tessellation（曲面细分）相结合的优势.....	8
GF100 架构深入剖析.....	11
GPC架构.....	12
并行几何学处理.....	13
PolyMorph引擎.....	13
光栅（Raster）引擎.....	14
第三代流式多处理器.....	16
512个高性能CUDA核心.....	16
16个载入/存储单元.....	16
四个特殊功能单元.....	16
双Warp调度器.....	17
纹理单元.....	17
64 KB可配置的共享存储器与1级高速缓存.....	19
2级高速缓存.....	20
提高了抗锯齿能力的新型ROP单元.....	21
面向图形的计算架构.....	23
利用GPU计算的新一代特效.....	24
光线追踪.....	25
平滑粒子流体力学（SPH）.....	26
NVIDIA®（英伟达™）3D立体幻镜™Surround.....	28
边框校正（Bezel Correction）.....	29
结语.....	30

GF100简介

过去几年里，人们对高品质3D图形处理的需求不断增长。这种情形推动了NVIDIA®（英伟达™）在GPU架构方面开发出意义重大的技术创新。1999年，GeForce®（精视™）256实现了硬件转换与投影。2001年，GeForce®（精视™）3引入了可编程着色的概念。随后，GeForce®（精视™）FX在整个GPU中提供了全32位浮点精度。2006年，GeForce®（精视™）8采用了强大、高效统一的标量着色器设计。我们所设计的每一颗GPU（图形处理器）都旨在让图形效果更接近现实、让PC成为最具动感、技术最先进的游戏平台。

NVIDIA®（英伟达™）最新的GPU代号为GF100¹，是首款基于Fermi架构的GPU（图形处理器）。GF100可实现所有DirectX 11硬件特性，其中包括Tessellation（曲面细分）以及DirectCompute等等。GF100提出了一种大幅改进的计算架构，这种架构专为支持下一代游戏特效而设计，例如光线追踪、顺序无关透明度以及流体模拟等等。

游戏性能与图像质量均得到了大幅提升，在游戏人物与物体的渲染上，GF100可实现电影般的几何学逼真度。对GF100架构的图形增强来说，几何学逼真度极为重要。此外，PhysX模拟的速度也更快，凭借GF100，开发者能够在游戏中最有效地利用GPU计算的诸多特性。

在GF100的设计上，我们的目标是实现：

- 出类拔萃的游戏性能
- 一流的图像质量
- 电影般的几何学逼真度
- 一款专为游戏量身打造的革命性计算架构

出类拔萃的游戏性能

首先也是最重要的一点，GF100专为提供顶级游戏性能而设计。GF100基于Fermi的第三代流式多处理器（SM）架构，其CUDA核心数量高达上一代架构的两倍。

几何学流水线得到了大幅改进，几何学着色、流式输出以及剔除的性能均实现了大幅提升。每个ROP（渲染输出）分区的ROP单元的数量翻了一番，填充率也得到了极大的提高，从而能够轻松驱动多台显示器。通过增强型ROP压缩，8倍速多重采样抗锯齿（MSAA）的性能得到了大幅提高。即使是对于不能压缩的场景部分，附加的ROP单元也能够更好地平衡整体GPU吞吐量。

一流的图像质量

GF100可根据八个多重采样以及24个覆盖采样来实现全新的32倍速覆盖采样抗锯齿（CSAA）模式。我们还对CSAA进行了扩展，使其能够在所有样本上支持“透明至覆盖”（Alpha-to-Coverage），从而让叶子与透明纹理的渲染变得更加流畅。无论是多边形边缘还是透明纹理（Alpha Texture），GF100都能够以最小的性能损失为其生成最高质量的抗锯齿效果。硬件加速的DirectX 11四偏置点（Four-offset）Gather4大大提升了阴影贴图性能。

¹“GF”表示该芯片是一款基于Fermi架构的图形解决方案。“100”表示该芯片是“GF”系列GPU产品中的高端产品。

电影般的几何学逼真度

虽然可编程着色让PC游戏能够在每像素特效上与电影相媲美，但是在几何学逼真度上PC游戏还差得很远。当今最先进的PC游戏在每一帧中运用一两百万个多边形。相比之下，计算机生成的电影中每一帧通常会运用数以亿计的多边形。这种巨大的差异在一定程度上可以归咎于硬件，虽然像素着色器的数量已经从一个发展到数以百计，但是三角形配置引擎仍然只是一个单独的单元，相对于每个像素来说，这就极大地影响了当今GPU的几何学处理能力。例如，与GeForce®（精视™）FX相比，GeForce®（精视™）GTX 285的着色性能高达150倍以上，但是几何学处理速度却不足前者的三分之一。结果就是像素的着色有些拘泥，而几何学的细节呈现相对薄弱一些。

在解决几何学逼真度这一问题上，我们把目光投在了电影上以期获得启发。电影中人物的精细画质归功于两种关键技术：**Tessellation**（曲面细分）以及**Displacement Mapping**（贴图置换）。**Tessellation**（曲面细分）能够将大型三角形细化为诸多较小三角形的集合体，而**Displacement Mapping**（贴图置换）则能够改变它们的相对位置。这两种技术相结合，让多变的复杂模型能够通过相对简单的描绘来形成。例如《加勒比海盗》中Davy Jones等一些我们最喜爱的电影人物都是利用这些技术制作出来的。

GF100整个图形流水线旨在为**Tessellation**（曲面细分）与几何学吞吐量提供极高的性能。凭借一款利用多个“**PolyMorph引擎**”所实现的全新分布式几何学处理架构，**GF100**在图形处理流水线的前端取代了传统的几何学处理架构。每一个**PolyMorph引擎**均包含一个**Tessellation**（曲面细分）单元、一个属性设置单元以及其它几何学处理单元。每一个流式多处理器（**SM**）均拥有自己专用的**PolyMorph引擎**（在后面章节中，我们将提供有关**GF100**架构中**Polymorph引擎**的更多详细信息）。新生成的基元被四个并行工作的**Raster引擎**（相比之下，上一代GPU中只有一个**Raster引擎**）转化为像素。片上一级以及二级高速缓存能够实现**SM**与**Tessellation**（曲面细分）单元之间或不同**SM**之间基元属性的高带宽传输。在**GF100**上，**Tessellation**（曲面细分）及其所有支持步骤均能够并行地运行，从而能够在几何学吞吐量上实现巨大突破。

虽然与过去的GPU架构相比，**GF100**包含了诸多增强特性与性能提升，但是最重要的**GF100**架构进步当属几何学处理的并行执行能力。使设置速率能够达到每时钟周期一基元以上、同时保持正确的渲染顺序，这是GPU领域前所未有的巨大技术成就。

专为游戏量身打造的革命性计算架构

光栅化流水线已经有很长的历史了，但是因为游戏渴望实现电影般的画质，所以图形处理正在朝着先进算法的方向发展。先进的算法需要GPU来负责执行通用计算以及可编程着色。**G80**是包含计算特性的首款**NVIDIA®**（英伟达™）GPU。**GF100**吸取了我们在**G80**上所获得的经验，从而能够为游戏大幅提升计算特性。

GF100利用**Fermi**革命性的计算架构来处理游戏应用。在图形处理方面，诸多线程独立地工作，有一个预先裁定的流水线，展示了很好的存储器本地存取特性。另一方面，计算线程通常彼此间相互通信，以没有预先裁定的方式工作，通常读写存储器的不同部分。**GF100**上所改进的重要计算特性在游戏中将非常实用，其中包括图形处理与**PhysX**之间更快的上下文切换、计算内核的同时执行以及有益于光线追踪与**AI**算法等不规则算法的增强型高速缓冲架构。

在本文后面的章节中，我们将讨论有关这些特性的更多细节。

大幅提升的原子运算性能让诸多线程能够通过工作队列来安全地协作，从而能够加快这些新颖的渲染算法。例如，快速的原子运算能够在没有预先排序的情况下对透明物体进行渲染（顺序无关透明度），从而让开发人员能够用复杂的玻璃环境来创建多种级别。

就无缝的图形互操作来说，GF100的GigaThread引擎将上下文切换时间缩短至大约20微秒，从而使其能够执行多种计算以及每一帧的物理效果内核。例如，一款游戏可能会使用DirectX 11来渲染场景、切换至CUDA来应付选择性的光线追踪、调用Direct Compute内核以进行后期处理以及利用PhysX来执行流体模拟。

几何学逼真度

Tessellation（曲面细分）以及Displacement Mapping（贴图置换）概述

虽然Tessellation（曲面细分）以及Displacement Mapping（贴图置换）不是什么新型渲染技术，但是直到目前，电影行业还大都一直在运用这两项技术。随着DirectX 11与NVIDIA®（英伟达™）GF100的推出，开发人员将能够利用这些强大的技术来打造游戏应用程序。本章节中，在游戏开发与高品质实时渲染上，我们将讨论一下Tessellation（曲面细分）以及Displacement Mapping（贴图置换）的一些特性与优势。

物体与人物等游戏内容一般需要用Mudbox、ZBrush、3D Studio Max、Maya或SoftImage等建模软件包来创建。这些软件包能够提供基于Displacement Mapping（贴图置换）表面的工具来辅助艺术家创建细腻的人物与环境。现在，艺术家必须手动创建各种细腻程度的多边形模型，以满足游戏中各种渲染场景所需、达到保持可玩性帧速率的目的。这些模型就是带有相关纹理贴图的三角形网格，而这些纹理贴图则是正确着色所需要的。当游戏中运用到这些模型时，每一帧的模型信息都通过主接口（Host Interface）发送给GPU。由于PCI Express总线的带宽限制，游戏开发商倾向于使用相对简单的几何模型以及目前GPU最保守的几何学吞吐量。

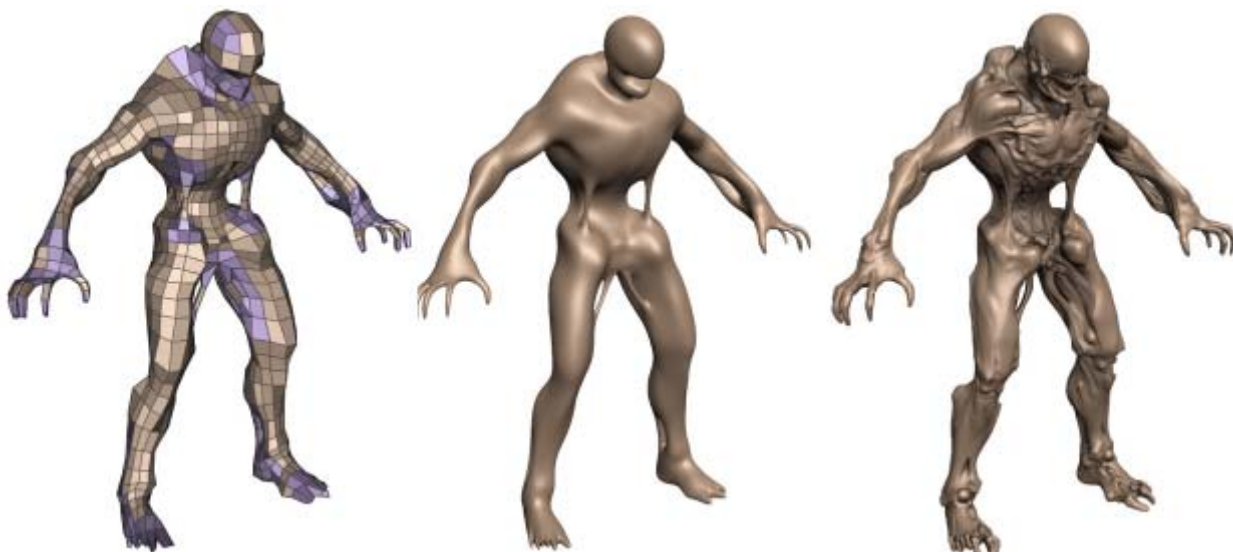
即使在最好的游戏中，也会因为现有图形API以及GPU的限制而存在几何学伪像。在下列《FarCry® 2》游戏截图中即可看到复杂几何图形的折衷表现结果。手枪皮套有太多的刻画面，皮带的分割感太强。瓦楞屋顶本应看起来有波纹感，但是实际上是带有条纹纹理的平面。最后，正如游戏中的大多数人物一样，这个人戴着一顶帽子，细心地避开了渲染头发所涉及的复杂度。



由于现有图形API以及GPU的限制，即使像《FarCry 2®》（上图）这样图形效果很棒的游戏也不得不在几何学细节上大打折扣。© Ubisoft 2008. 版权所有。

利用基于GPU的Tessellation（曲面细分），游戏开发人员能够发送物体或人物的紧凑型几何表现形式，而Tessellator单元则能够为特定场景生成合适的几何学复杂度。现在来看看更加细腻的细节表现，研究一下Tessellation（曲面细分）与Displacement Mapping（贴图置换）结合使用的特点与优势。

让我们来看一看下面的人物。我们能够看到，在左边的图像使用了四边形网格来勾勒人物的大致轮廓。即使与一般的游戏内容相比，这种表现形式占用空间也是非常少的。中间这幅人物图像是对左侧图像进行了精细Tessellation（曲面细分）与描绘的结果。因此它拥有了非常光滑的外观，没有因几何形状的限制而形成多个刻画面。不幸的是，这个人物虽然外表光滑，但是与粗糙的网格相比，细节部分并无改善。右侧的图像是对中间图像附上了一个Displacement Mapping（贴图置换）的效果。这个人物拥有可媲美电影制作中的丰富几何细节。



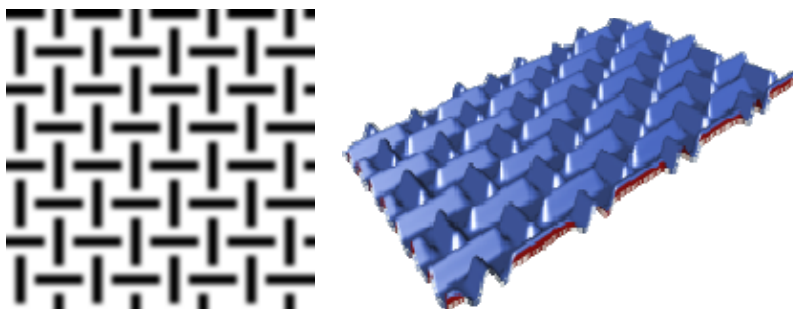
“Imp” © Kenneth Scott, id Software 2008, 版权所有

Displacement Mapping（贴图置换）与Tessellation（曲面细分）相结合的优势

Displacement Mapping（贴图置换）与Tessellation（曲面细分）的结合使用具有许多优势。这种表现形式占用空间少、可扩展，能够实现高效存储与计算。紧凑型绘图形式意味着占用的显存较少、当将构成这些图像的顶点发送给GPU处理时所消耗的带宽较少。因为动画是由紧凑型绘图所组成的，因此就能够表现出计算密集度更高、更复杂、更逼真的动作。当游戏人物出现在特定帧中时，这种按需分配的三角形合成法让其几何复杂度能够与针对特定人物情况所生成的三角形数量相匹配。

这种控制几何细节级别（LOD）的能力非常强大。因为它是按需分配的，数据全部处于片上，所以维持了从前的显存带宽。而且，因为一个模型可能会产生许多个细节级别，所以同一项游戏内容都能够应用在各种平台上，无论在性能最平庸的笔记本还是在强大的四路SLI®（速力™）系统上均可使用。

游戏人物还能够为特定场景而量身缩放，如果尺寸小那么几何图形就相对简单；如果离屏幕较近，那么就以最高的



当一个Displacement Mapping（贴图置换）（左图）附加于一个平面上时，所造成的表面（右图）便呈现出Displacement Mapping（贴图置换）中所编码的高度

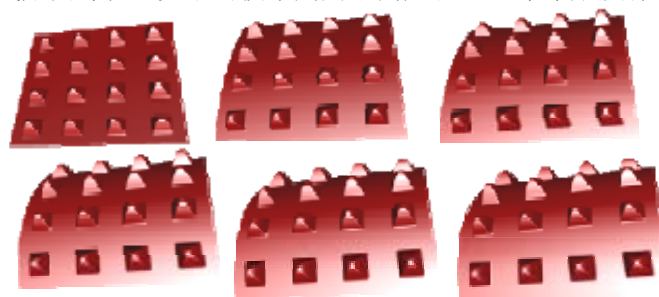
细节级别进行渲染。此外，可扩展的游戏内容意味着，开发人员能够在前后几代游戏中均使用相同的模型。这样，在性能更强的未来GPU上，细节表现将比当初游戏问世时效果更好。复杂度能够实现动态调整，以适应特定的帧速率。最终，利用Displacement Mapping（贴图置换）与Tessellation（曲面细分）相结合的方式所渲染出来的模型与艺术家所用工具中的原生模型很相似，从而让艺术家不必创建不同几何细节级别的模型，无需重复地进行这种一般性劳动。

Displacement Mapping（贴图置换）是一种非常强大的建模与渲染技术。Displacement Mapping（贴图置换）是一种能够表现出高度信息的纹理。当附加到一个模型上时，Displacement Mapping（贴图置换）可以用来改变该模型顶点的相对位置。Displacement Mapping（贴图置换）让复杂的几何图形能够存储在一个紧凑的贴图当中。因此，Displacement Mapping（贴图置换）可以被看作是一种几何信息的压缩形式。

与浮雕贴图、法线贴图以及视差贴图这些仅改变像素外观的贴图不同，Displacement Mapping（贴图置换）能够改变顶点的位置。这样一来，就能够在阴影的边缘实现自遮挡、精确的影子、以及更加生动的运动效果。

Displacement Mapping（贴图置换）对现有的凹凸贴图技术是一种补充。例如，Displacement Mapping（贴图置换）可以用来定义主要的表面特性，而法线贴图等技术则用于刮痕和斑点等等低级别的细节表现。

除了作为一种创建复杂几何信息的简单方式以外，Displacement Mapping（贴图置换）的几何效果还能够在制作动画时表现得很自然。看看右图中的简单实例吧，一钝角钉板在折弯时仍然保持着基本形状。采用Displacement Mapping（贴图置换）方式所制作出来的人物也与之类似。再来看看上一页中的Imp游戏人物。通过操纵粗糙的控制外壳（左图）才可以让它产生动画效果。而Displacement Mapping（贴图置换）的人物（右图）则能够自然地随着下垫面的运动而产生动画效果。



置换的表面能够产生自然的动画效果。

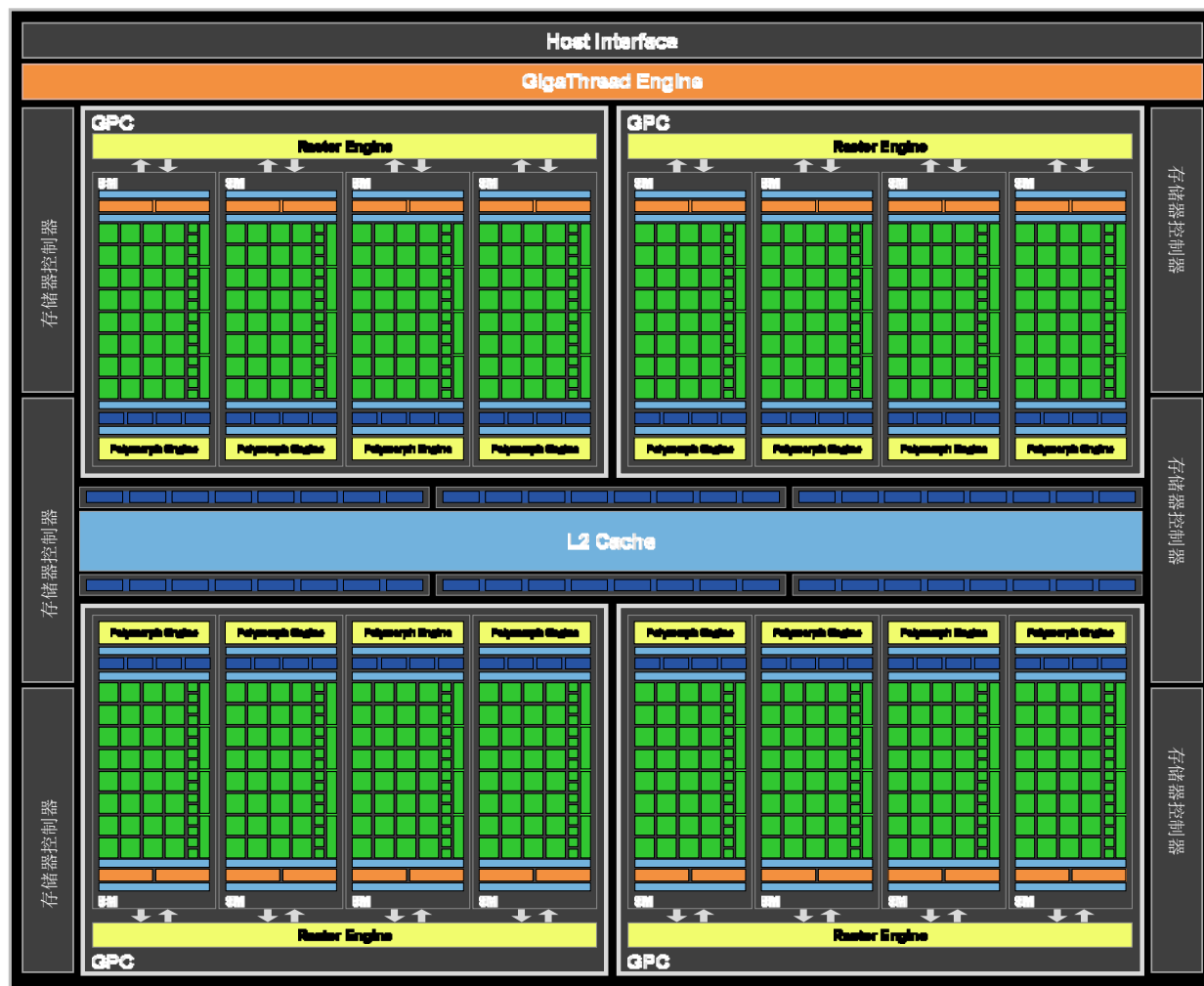
最后，Displacement Mapping（贴图置换）最有趣的一点就是能够在游戏期间轻松修改它们。在当今的诸多游戏中，用枪对金属门扫射的动作只会留下弹孔的痕迹，但门的形状不会改变。凭借Displacement Mapping（贴图置换），可以用相同的弹孔纹理来更改Displacement Mapping（贴图置换），从而让玩家不仅能够将游戏中的物体的外观打得变形而且还能够将其底层结构打得变形。



当今游戏用弹孔来描绘变化的表面。凭借Displacement Mapping（贴图置换），弹痕能够用于改变游戏中物体的底层几何结构。

GF100架构深入剖析

GF100 GPU（图形处理器）基于大量可扩展的图形处理集群（GPC）、流式多处理器（SM）以及存储器控制器。完整的GF100拥有4个GPC、16个SM以及6个存储器控制器。我们希望能够推出在GPC、SM以及存储器控制器等方面具有不同配置的GF100产品，以满足不同价位的市场需求。出于本白皮书的目的，我们将探讨整个GF100 GPU（图形处理器）架构。



GF100方框图显示了主接口（Host Interface）、GigaThread引擎、4个GPC、6个存储器控制器、6个ROP分区以及一个768 KB 2级高速缓存。每一个GPC包含了4个PolyMorph引擎。ROP分区紧邻2级高速缓存。

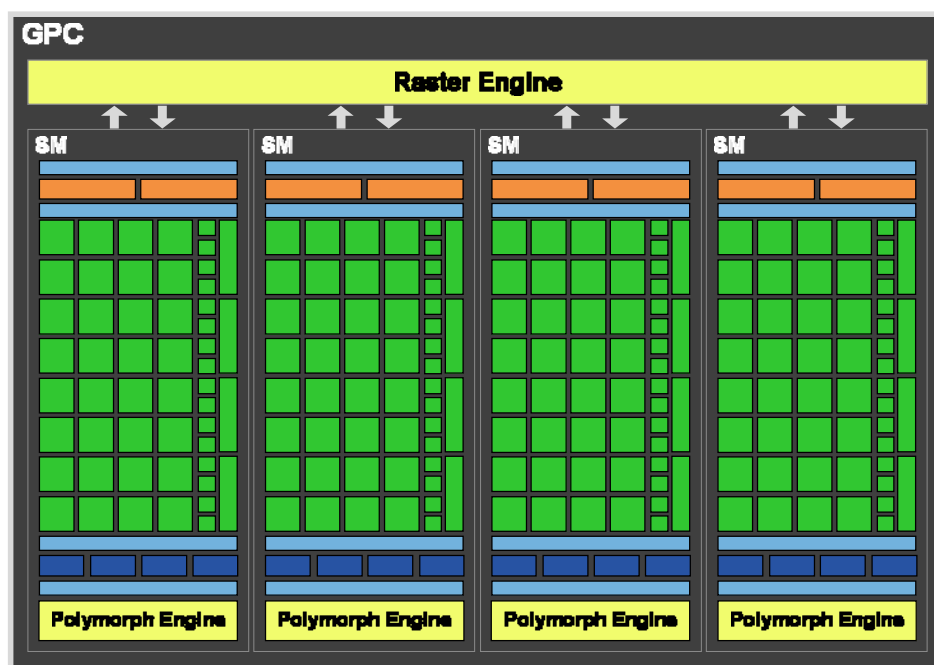
GPU能够通过主接口来读取CPU指令。GigaThread引擎能够从系统内存中获取指定的数据并将其拷贝到显存中。GF100采用了6个64位GDDR5存储器控制器（总共384位），便于显存高带宽存取。GigaThread引擎然后会为各个SM创建和分派线程块。单个SM反过来会将多个Warp（32个线程的群组）调度至多个CUDA核心以及其它执行单元。当图形流水线中出现工作膨胀现象时，例如在Tessellation（曲面细分）以及光栅化阶段之后，GigaThread引擎还能够将工作重新分配至SM。

GF100拥有512个CUDA核心，每32个核心构成一个SM，共有16个SM。每个SM都是一个高度并行的多处理器，它们在任何时候都能够支持多达48个Warp。每个CUDA核心都是统一的处理器核心，能够执行顶点、像素、几何学以及计算内核。统一的2级高速缓存架构能够提供载入、存储以及纹理操作等服务。

GF100拥有48个ROP单元，它们可用于像素混合（Pixel Blending）、抗锯齿以及原子存储器操作。ROP单元每8个一组，共有6组。每一组均由一个64位存储器控制器来进行控制。存储器控制器、2级高速缓存、以及ROP群组全都密切相关，扩展一个单元就会自动地扩展其它部件。

GPC架构

GF100的图形架构由大量叫做“图形处理集群”（GPC）的硬件模块构成。一个GPC包含一个Raster引擎以及最多四个SM。



图形处理集群（GPC）

GPC是GF100的主要高级硬件模块。它拥有两项重要的创新：一个用于三角形设置、光栅化以及Z坐标压缩（Z-cull）的可扩展Raster引擎，一个用于顶点属性提取与Tessellation（曲面细分）的可扩展PolyMorph引擎。Raster引擎驻留在GPC当中，而PolyMorph引擎则驻留在SM中。

如其名称所示，GPC囊括了所有主要的图形处理单元。它代表了顶点、几何、光栅、纹理以及像素处理资源的均衡集合。除了ROP功能以外，GPC可以被看作是一个自给自足的GPU，而一颗GF100拥有四个GPC！

在以前的NVIDIA®（英伟达™）GPU中，SM与纹理单元在一种叫做“纹理处理集群”（TPC）的硬件模块中聚集在一起。在GF100中，每一个SM都拥有四个专用的纹理单元，这样就不再需要TPC了。为了简单起见，下面我们将仅讨论SM。

并行几何处理

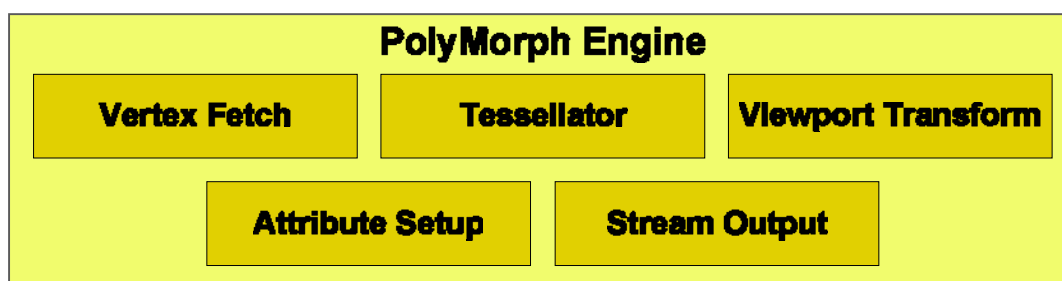
之前的GPU设计一直采用一个单片电路前端来获取、汇集、以及对三角形实现光栅化。无论有多少个并行执行核心，这种固定的流水线所实现的性能都是固定的。因为应用程序的工作负荷是不尽相同的，所以这种流水线通常会导致瓶颈或未充分利用的情况。实现光栅化并行处理同时还要保持API的顺序是非常困难的，这种难度阻碍了这一领域的重大创新。虽然单个前端的设计在过去的GPU中曾有过辉煌的历史，但是随着对几何复杂度的需求不断增长，它现在已经变成了一个主要障碍。

Tessellation（曲面细分）的使用从根本上改变了GPU图形负荷的平衡。凭借**Tessellation**（曲面细分），特定帧中的三角形密度能够增加数十倍，给设置于光栅化单元等串行工作的资源带来了巨大压力。为了保持较高的**Tessellation**（曲面细分）性能，有必要重新平衡图形流水线。

为了便于实现较高的三角形速率，我们设计了一种叫做“**PolyMorph引擎**”的可扩展几何引擎。每**16**个**PolyMorph引擎**均拥有自己专用的顶点获取单元以及**Tessellator**，从而极大地提升了几何性能。与之搭配，我们还设计了四个并行**Raster引擎**，它们在每个时钟周期内可设置最多四个三角形。同时，它们还能够对三角形获取、**Tessellation**（曲面细分）、以及光栅化等方面实现巨大性能突破。

PolyMorph引擎

PolyMorph引擎拥有五个阶段：顶点获取、**Tessellation**（曲面细分）、观察口转换、属性设置以及流式输出。每个阶段中所运算得出的结果均被发送至一个SM。该SM能够执行游戏的着色程序、将结果返回至**PolyMorph引擎**中的下一个阶段。在所有阶段都完毕之后，结果会被传递给**Raster引擎**。



第一个阶段是从一个全局顶点缓冲区中获取顶点。所获取的顶点于是被发送至SM，以进行顶点着色以及外壳着色。在这两个阶段中，顶点从一个物体空间转变成了世界空间，而且还算出了**Tessellation**（曲面细分）所需的参数（例如**Tessellation**（曲面细分）系数）。**Tessellation**（曲面细分）系数（或LOD）被发送至**Tessellator**。

在第二个阶段中，**PolyMorph引擎**读取**Tessellation**（曲面细分）系数。**Tessellator**将修补面（控制点网格所定义的光滑表面）分成小方块并输出许多顶点。修补（**u**、**v**）值定义了网格以及形成网格的连接方式。

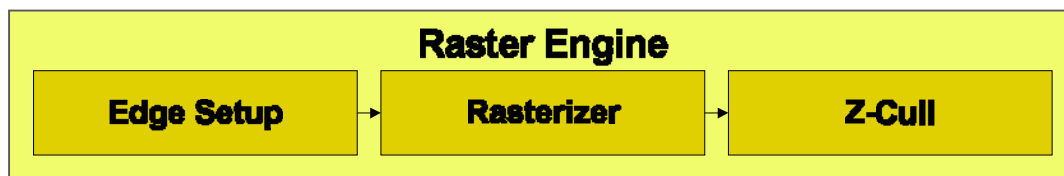
全新的顶点被发送至SM，域着色器与几何着色器均在这里执行。域着色器能够根据外壳着色器与**Tessellator**的输入来运算每个顶点的最终位置。在本阶段中，通常会附上一个**Displacement Mapping**（贴图置换）以提升修补面的细节表现。几何着色器能够执行任何后期处理、按需增加或删除顶点以及基元。结果最终将被发回至**Tessellation**（曲面细分）引擎。

在第三个阶段，PolyMorph引擎会执行观察口转换以及视角校正。接下来就是属性设置，把后期观察口顶点属性转变成了平面方程，以进行高效的着色器评估。最后，可以选择将顶点“流出”至存储器，使其能够用于更多处理。

在之前的架构上，固定功能的操作由单个流水线来执行。在GF100上，固定功能与可编程操作全部都实现了并行化，从而极大地提升了性能。

光栅（Raster）引擎

在PolyMorph引擎处理完基元之后，它们就被被发送至光栅（Raster）引擎。为了实现较高的三角形吞吐量，GF100采用四个Raster引擎并行工作的方式。



Raster引擎由三个流水线阶段组成。在边缘设置阶段中，可提取顶点位置、计算三角形边缘方程。没有朝向屏幕方向的三角形都通过背面剔除而删掉了。每一个边缘设置单元在一个时钟周期中最多都能够处理一个点、线或三角形。

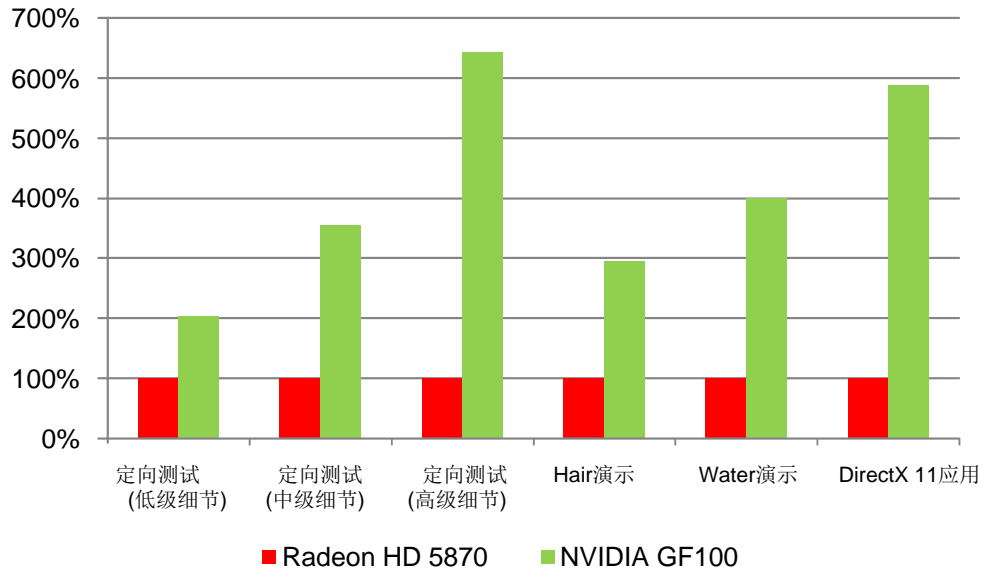
光栅器（Rasterizer）为每一个基元而运行边缘方程并计算像素的覆盖。如果开启了抗锯齿功能，那么就会为每一个多采样以及覆盖采样执行覆盖操作。每一个光栅器在每个时钟周期内均可输出8个像素，整个芯片每个时钟周期内总共可输出32个光栅化的像素。

光栅器所生成的像素将被发送至Z坐标压缩（Z-cull）单元。Z坐标压缩单元获取像素图块（Pixel Tile）并将图块中像素的深度与显存中的现有像素进行比较。完全处于显存像素后面的像素图块将从流水线中剔除，从而就不再需要进一步的像素着色工作了。

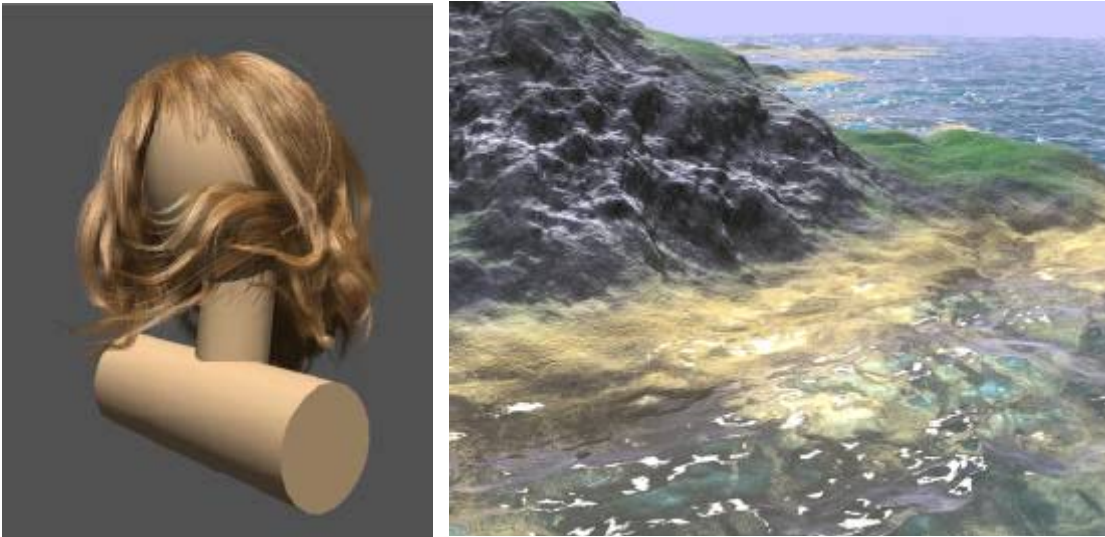
GPC架构的简要重述

GPC架构在集合流水线方面实现了巨大突破。Tessellation（曲面细分）需要全新级别的三角形与光栅化性能。PolyMorph引擎为三角形、Tessellation（曲面细分）以及流出（Stream Out）等方面实现了大幅性能提升。四个并行Raster引擎在三角形设置与光栅化方面能够提供持久的高吞吐量。通过为每一个SM配备一个专用的Tessellator、为每一个GPC配备一个Raster引擎，GF100所能够实现的几何性能可达GT200的8倍。

Tessellation（曲面细分）性能



直方图中左侧三组柱显示了三种定向测试的Tessellation（曲面细分）几何性能，这三种测试仅用于分析Tessellation（曲面细分）性能。随着几何复杂度的增加，GF100超越对手的性能优势也就越大。Hair以及Water演示中除了几何处理以外还包含了着色与计算操作。最右边的一组柱显示了DirectX 11应用程序中Tessellation（曲面细分）状态存储桶（一帧中的一组绘画调用）的性能。



Hair演示（左图）采用了Tessellation（曲面细分）、几何着色器以及物理效果模拟。Water演示（右图）在大型环境下采用了Tessellation（曲面细分）。

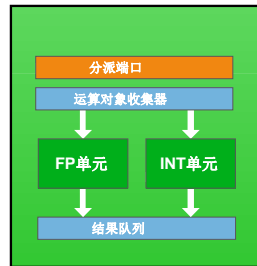
第三代流式多处理器

第三代SM在架构上引入了多项革新，使其不仅成为迄今为止最强大的SM，而且还是可编程性最强、效率最高的SM。

512个高性能CUDA核心

每个SM都有32个CUDA处理器，达到了之前SM中处理器数量的四倍。

GF100的CUDA核心专为在着色器的任何负荷下均实现最高性能以及最高效率而设计。通过采用标量架构，无论输入向量尺寸如何，都能够实现全部性能。Z缓冲区（1D）或纹理存取（2D）方面的操作均可充分利用GPU（图形处理器）。



每一个CUDA处理器都拥有一个完全流水线化的整数算术逻辑单元（ALU）以及浮点单元（FPU）。GF100采用了全新的IEEE 754-2008浮点标准，能够为单精度以及双精度算术提供融合的乘法加法（FMA）指令。FMA在一个最终的四舍五入步骤中即可完成乘法与加法运算，改进了乘法加法（MAD）指令，在加法中不会损失精度。FMA在处理紧密重叠的三角形时能够最大限度地减少渲染错误。

在GF100中，全新设计的整数ALU支持所有指令全32位精度，符合标准编程语言的要求。整数ALU还经过了优化，可有效支持64位以及更高精度的运算。它支持各种指令，其中包括Boolean、移位、移动、比较、转换、位字段提取、位反向插入（Bit-reverse Insert）以及种群统计。

16个载入/存储单元

每一个SM都拥有16个载入/存储单元，从而在每个时钟周期内均可为16个线程运算源地址与目标地址。支持的单元能够将每个地址的数据载入和存储到高速缓存或DRAM中。

四个特殊功能单元

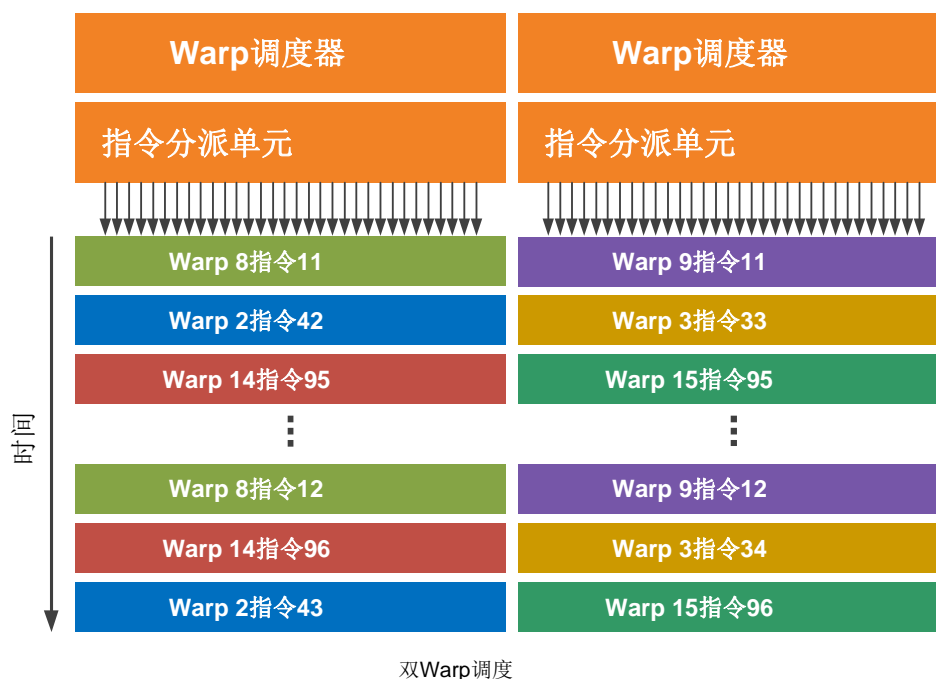
特殊功能单元（SFU）可执行抽象的指令，例如正弦（sin）、余弦（cosine）、倒数和平方根。图形插值指令也在SFU上执行。每个SFU在一个时钟周期内针对每个线程均可执行一条指令，一个Warp（32个线程）的执行时间可超过八个时钟周期。SFU流水线从分派单元中分离出来，让分派单元能够在SFU处于占用状态时分发给其他执行单元。复杂的程序着色器在特殊功能专用硬件上的运行优势尤为明显。



流式多处理器（SM）

双Warp调度器

SM可对32个为一组的并行线程（又叫做Warp）进行调度。每个SM拥有两个Warp调度器以及两个指令分派单元，这样，就能够同时发出和执行两个Warp。GF100的双Warp调度器可选出两个Warp，从每个Warp发出一条指令到16个核心、16个载入/存储单元或4个特殊功能单元。因为Warp是独立执行的，所以GF100的调度器无需检查指令流内部的依存关系。通过利用这种优秀的双指令执行（Dual-issue）模式，GF100能够实现接近峰值的硬件性能。



大多数指令都能够实现双路执行，两条整数指令、两条浮点指令或者整数、浮点、载入、存储的混合指令以及SFU指令均可同时执行。双精度指令不支持与其它指令同时分派。

纹理单元

每个SM都拥有四个纹理单元。每个纹理单元在一个时钟周期内能够计算一个纹理地址并获取四个纹理采样。返回的结果可以是经过过滤的也可以是未过滤的。支持的模式包括双线性、三线性以及各向异性过滤模式。

GF100的目标是通过提升效率来提升纹理性能。通过将纹理单元搬到SM当中，我们实现了这一目标，提升了纹理高速缓存的效率、实现了更高的时钟频率。

在以往的GT200架构中，最多三个SM共享一个纹理引擎，该引擎含有八个纹理过滤单元。在GF100架构中，每个SM都拥有自己专用的纹理单元以及一个专用纹理高速缓存。而且，纹理单元的内部架构还得到了大幅增强。在阴影贴图、屏幕空间环境光遮挡等实际使用情况中，净效应就是所实现的纹理性能得到了大幅提升。

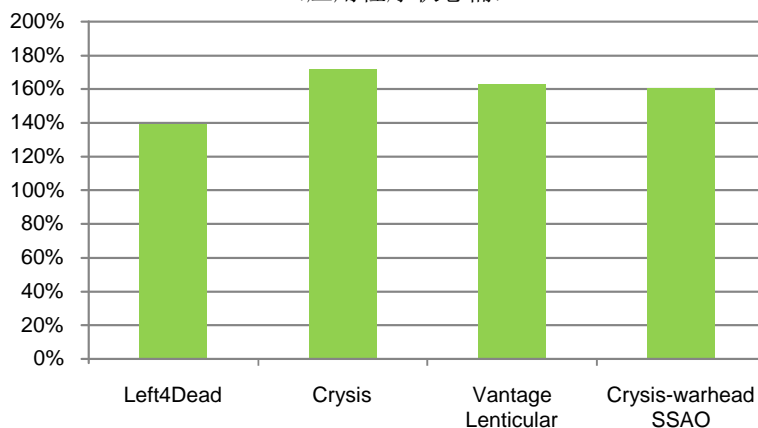
GF100专用的1级纹理高速缓存经过重新设计，可实现更高的效率。而且，通过配备统一的2级高速缓存，纹理可用的最大高速缓存容量达到了GT200的三倍，为纹理密集的着色器提升了命中率。

之前架构上的纹理单元能够以GPU的核心频率工作。在GF100上，纹理单元的运行频率更高，从而在单元数量相同时提升了纹理性能。

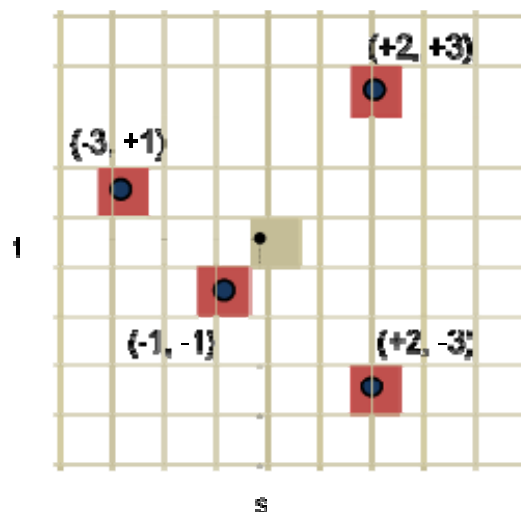
GF100的纹理单元还新增了对DirectX 11中BC6H与BC7纹理压缩格式的支持，从而减少了HDR纹理与渲染器目标的存储器占用。

纹理单元通过DirectX 11的四偏置点（Four-offset）Gather4特性，还支持抖动采样。这样一来，单一纹理指令就能够从一个128x128的像素网格中获取四个纹理像素。GF100在硬件上采用了DirectX 11四偏置点Gather4，大大加快了阴影贴图、环境光遮挡以及后期处理算法的速度。凭借抖动采样，游戏就能够高效地执行更加平滑的软阴影或定制纹理过滤器。

相对于GT200的纹理性能
(应用程序状态桶)



虽然GT200比GF100的纹理单元数量多，但是GF100能够实现更高的实际性能，这要归功于效率的提升。



3DMark 2006 (左图) 中的软阴影是通过纹理贴图 (右图) 中的抖动采样来实现的。GF100在硬件上采用了抖动采样技术，最高性能可达GT200的2倍。© Futuremark公司版权所有 2006

64 KB可配置共享存储器与1级高速缓存

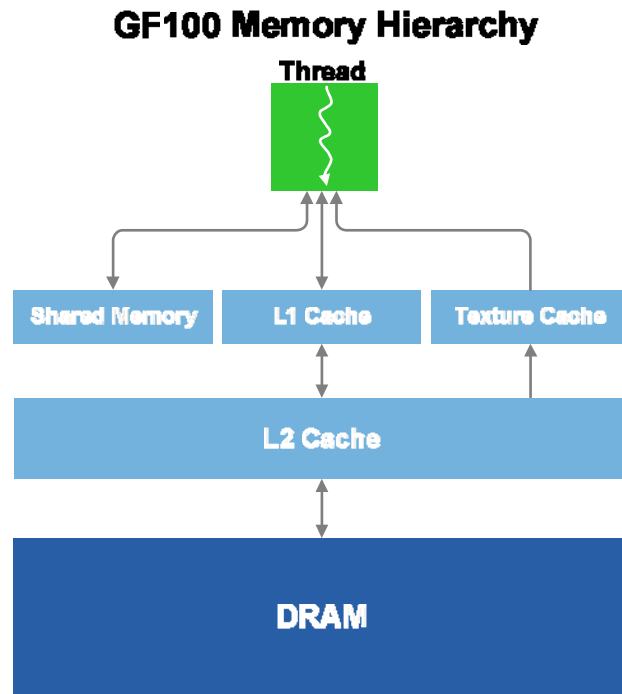
作为一种高速、可编程的片上存储器，共享存储器是第一代CUDA架构中的一项重要架构创新。通过促进线程间的通信，共享存储器让各种各样的应用程序均能够在GPU上高效地运行。从此共享存储器便被所有主要的GPU计算标准与同类架构所采用。

由于意识到了共享存储器至关重要的作用以及保持数据本地性的重要性，我们再一次扩展了GPU存储器模型。GF100中，每个SM均包含了一个专用的1级高速缓存。

1级高速缓存能够起到与共享存储器互补的作用，共享存储器能够为明确界定存储器存取的算法提升存储器存取速度，而1级高速缓存则能够为这些不规则的算法提升存储器存取速度。在这些不规则算法中，事先并不知道数据地址。

在GF100 GPU（图形处理器）上，每个SM均拥有64 KB片上存储器，这部分存储器可配置为16 KB的1级高速缓存外加48 KB共享存储器，或配置为16 KB共享存储器外加48 KB的1级高速缓存。

对于图形程序，GF100能够利用16 KB 1级高速缓存配置。1级高速缓存的作用是充当用于寄存器溢出的缓冲区，让寄存器的使用能够实现不俗的性能提升。针对计算程序，1级高速缓存以及共享存储器让同一个线程块中的线程能够互相协作，从而促进了片上数据广泛的重复利用并减少了片外的通信量。共享存储器是使许多高性能CUDA应用程序成为可能的重要促成因素。



2级高速缓存

GF100拥有一个768 KB的统一2级高速缓存，该缓存可以为所有载入、存储以及纹理请求提供服务。2级高速缓存可在整个GPU中提供高效、高速的数据共享。物理效果解算器、光线追踪以及稀疏数据结构等事先不知道数据地址的算法在硬件高速缓存上的运行优势尤为明显。后期处理过滤器需要多个SM才能读取相同的数据，该过滤器与存储器之间的距离更短，从而提升了带宽效率。

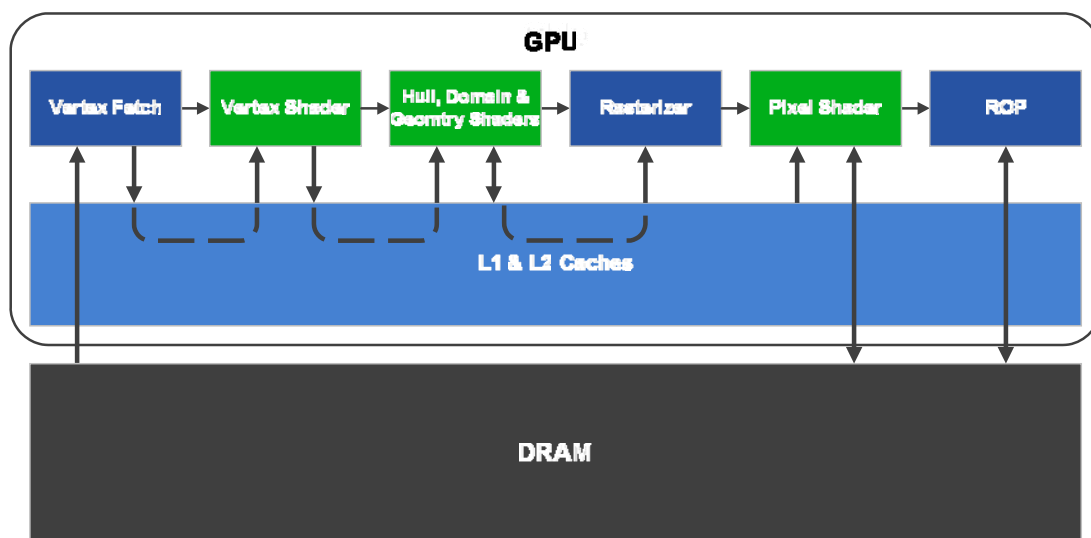
统一的高速缓存比单独的高速缓存效率更高。在不统一的高速缓存设计中，即使一个高速缓存被程序过多地预订，它也无法使用其它高速缓存中未贴图的部分。高速缓存的利用率将时钟低于理论峰值。GF100的统一2级高速缓存可在不同请求之间动态地平衡负载，从而充分地利用高速缓存。2级高速缓存取代了之前GPU中的2级纹理高速缓存、ROP高速缓存以及片上FIFO。

统一的高速缓存还能够确保持续器按照程序的顺序执行存取指令。当读、写路径分离（例如一个只读纹理路径以及一个只写ROP路径）时，可能会出现先写后读的危险。一个统一的读/写路径能够确保程序的正确运行，同时也是让NVIDIA®（英伟达™）GPU能够支持通用C/C++程序的重要因素。

	GT200	GF100	优势
1级纹理高速缓存 (每四个)	12 KB	12 KB	高速纹理过滤
专用的1级 LD/ST高速缓存	无	16或48KB	高效物理效果 以及 光线追踪
共享存储器总量	16 KB	16或48KB	在诸多线程中，能 够重复利用更多数据
2级高速缓存	256 KB (纹理 只读)	768 KB (所有客户端 读/写)	纹理覆盖范围更大 计算性能更强

GT200与GF100高速缓存架构的对比

与只读的GT200 2级高速缓存相比，GF100的2级高速缓存既能读又能写，而且是完全一致的。我们采用了一种优先算法来清除2级高速缓存中的数据，这种算法包含了各种检查，可帮助确保所需的数据能够驻留在高速缓存当中。



GF100的高速缓存架构让各流水线阶段之间可以高效地通信，减少了片外存储器的通信量。

提高了抗锯齿能力的新型ROP单元

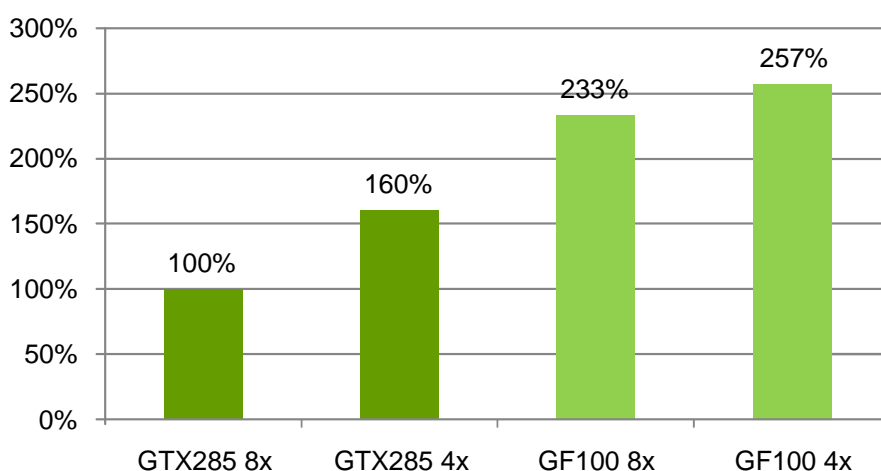
GF100的ROP子系统经过重新设计，可提升吞吐量与效率。一个GF100 ROP分区包含8个ROP单元，数量比上一代架构翻了一倍。每个ROP单元在一个时钟周期内均能够输出一个32位整数像素，一个FP16像素需要两个以上的时钟周期，一个FP32像素需要四个以上的时钟周期。原子指令性能也得到了大幅提升，相同地址的原子操作执行速度最高可达GT200的20倍，邻近存储区的操作执行速度最高可达7.5倍。

在GF100上，由于压缩效率的提升以及更多ROP单元能够更有效地渲染这些无法被压缩的较小基元，因此8倍速多重采样抗锯齿（MSAA）的性能得到了大幅提升。当压缩不起作用时，场景中几何逼真度的提升更加需要ROP单元良好地运行。

在上一代架构中，8倍速多重采样抗锯齿（MSAA）模式所导致的性能下降在不同游戏上的表现差异很大，Tom Clancy的《鹰击长空》

（HAWX）就是这种游戏的一个例子。这款游戏在8倍速多重采样抗锯齿模式下表现出了非常低下的效率。在GF100上，8倍速多重采样抗锯齿的性能有了很大的提升。在4倍速抗锯齿模式下，GF100比GT200快1.6倍。在8倍速抗锯齿模式下，GF100比GT200快2.3倍，仅比自己在4倍速模式下慢了9%。

抗锯齿性能 - 《鹰击长空》（Hawx）



抗锯齿性能，尤其8倍速多重采样抗锯齿在GF100上实现了大幅提升。

GF100还新增了一种新型32倍速覆盖采样抗锯齿（CSAA）模式，该模式能够提供最高图像质量并利用“透明至覆盖”（Alpha-to-Coverage）来为当今游戏提升感官上的几何逼真度。

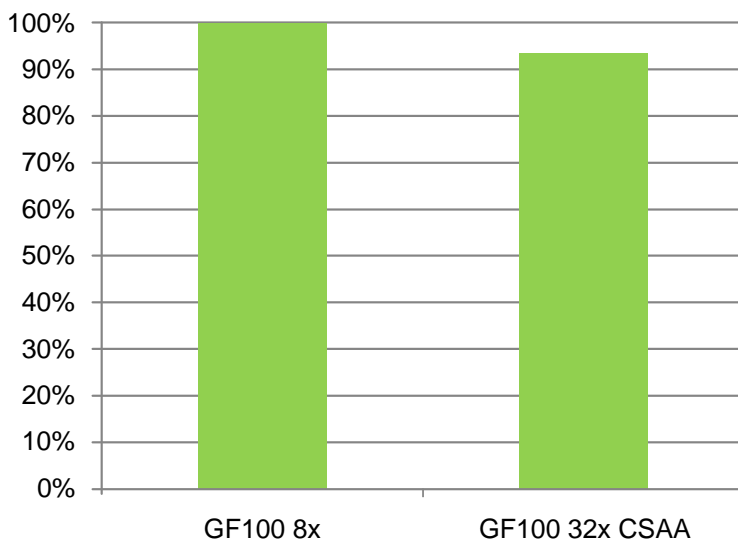
由于受到API与GPU计算能力的限制，当今的游戏能够渲染的几何图形数量还很有限。叶子的渲染是一个尤其突出的难题。针对叶子的一种常用技术就是创建一个包含许多树叶的透明纹理公告板，利用“透明至覆盖”来除去树叶之间的缝隙。覆盖采样的数量决定了边缘的画质。如果只有四个覆盖或八个采样，那么将会出现非常糟糕的锯齿以及镶边现象，尤其是在纹理靠近屏幕的时候。采用32倍速覆盖采样抗锯齿（CSAA），GPU共有32个覆盖采样，从而最大限度减少了镶边效果。

透明多重采样（TMAA）也能够从CSAA中获益匪浅。由于“透明至覆盖”不在DirectX 9 API当中，所以DirectX 9游戏无法直接使用“透明至覆盖”。而TMAA恰恰对这样的游戏有所帮助。取而代之的是，它们采用了一种叫做“透明测试”的技术，该技术能够为透明纹理产生硬边缘。TMAA能够转换DirectX 9应用程序中旧的着色器代码，使其能够使用“透明至覆盖”。而“透明至覆盖”与CSAA相结合，能够生成大幅提升的图像质量。



左侧图像显示了在过去GPU上利用16xQ抗锯齿（8倍速多重采样、8倍速覆盖采样）所实现的TAA效果。右图显示了在GF100上利用32倍速抗锯齿（8倍速多重采样、24倍速覆盖采样）所实现的TAA效果。因为覆盖采样被用作GF100中TAA计值的一部分，所以生成了平滑得多的渐变效果。

抗锯齿性能 8XAA和32xCSAA



因为覆盖采样对存储器的要求很低，所以32倍速覆盖采样抗锯齿（CSAA）的性能在很大程度上可与8倍速多重采样抗锯齿（MSAA）比肩。各种游戏中的平均成绩显示，32倍速CSAA的性能仅比8倍速MSAA低7%。

面向图形的计算架构

近年来，可编程着色器让每像素逼真度的大幅提升成为了可能。今后，可编程性将继续作为发展的第一要务，以便让开发人员能够创造出新一代视觉特效。

计算机图形是一系列具有无数种途径的多样化问题。光栅化、光线追踪以及Reyes都是为人们所广泛认可的通用渲染算法。在每一种渲染风格中，都存在着针对各种子问题的不同解决方案。迄今为止，GPU已经专为光栅化而进行了设计。随着开发人员不断探索全新的方式来改进其图形引擎，GPU将需要在各种不断发展的图形算法上实现出色的性能。因为这些算法是通过通用计算API来执行的，所以一个强大的计算架构对GPU的图形功能来说是至关重要的。实质上，你可以将计算视作新型可编程着色器。

G80是NVIDIA[®]（英伟达™）公司的首款计算架构。其设计反映了人们对扩展GPU功能以解决HPC类难题的愿望。例如，G80的一大创新就是共享存储器，共享存储器有助于加快矩阵乘法的运算速度，而矩阵乘法则是诸多数学与物理效果算法的基础。

GF100的计算架构旨在满足各种各样的算法需求以及促进GPU在解决并行难题方面的应用普及。由于程序存储器的本地性仅在运行时（Runtime）上有效，因此例如光线追踪、物理效果以及人工智能等诸多算法无法利用共享存储器。GF100的高速缓存架构在设计过程中考虑到了这些问题。凭借每个SM所配备的最多48 KB的1级高速缓存以及一个全局2级高速缓存，在运行时存取存储器同一位置的线程将自动加速运行，无论这些线程选用了那种算法都会实现加速。

GF100计算架构针对游戏的另一个改进方面是调度。G80与GT200均能够利用相对较慢的上下文切换来在同一时间执行大型内核。由于HPC应用程序采用了大型数据集，对延迟的感觉不敏感，因此这一模型运行得相对较好。在游戏应用程序中，并不会执行单个占主导地位的内核，而是执行各种较小的内核（例如布料、流体、刚性体）。在GF100上，这些内核能够并行地执行，从而最大限度地利用了诸多CUDA核心。

在利用计算的游戏当中，每一帧都会出现上下文切换，这一点使其性能很难达到灵敏帧速率的要求。GF100将上下文切换的时间缩短至约20微妙，使其能够在每帧多个内核之间执行精细的上下文切换。例如，一款游戏可以使用DirectX 11来渲染场景、切换至CUDA以实现选择性光线追踪、调用一个Direct Compute内核来执行后期处理以及利用PhysX执行流体模拟。

随着开发人员越来越多地将GPU应用于通用用途，在编程语言以及调试方面提供更好的支持就变得愈加重要。GF100是首款完全支持C++的GPU（图形处理器），C++是游戏开发人员所选用的一种编程语言。为了使向GPU编程的过渡过程变得轻而易举，我们还开发了Nexus，Nexus是一种面向GPU的微软Visual Studio编程环境。加上这些能够提供更好调试支持的全新硬件特性，开发人员将能够在GPU上轻松开展开发工作，正如他们在CPU上开发应用程序一样。

利用GPU计算的新一代特效

因为计算算法在性质上是通用的，所以它们可用于解决各种各样的视觉计算以及模拟算法问题。诸多游戏开发商在其即将问世的游戏中所研究的算法有很多，例如：

- 新颖的渲染算法
 - 可获得精确反射与折射效果的光线追踪
 - 用于精细Displacement Mapping（贴图置换）与高品质抗锯齿的Reyes
 - 用于立体数据模拟的立体像素渲染
- 图像处理算法
 - 具有精确焦外聚光点（焦外成像）的定制景深内核
 - 用于高级HDR渲染的直方图
 - 用于高级模糊以及锐化效果的定制过滤器
- 物理效果模拟
 - 用于高级流体模拟的平滑粒子流体力学
 - 用于精细烟雾与流体特效的湍流
 - 物理学物体广泛应用的GPU刚性体
- 用于大量游戏人物的人工智能（AI）探索算法

下列章节中，我们将深入探讨两个实例：光线追踪以及平滑粒子流体力学。

光线追踪

无论是光线追踪本身还是它与光栅化的结合都被许多人视作是图形处理的未来发展趋势。随着GF100的问世，交互式光线追踪首次在标准PC上成为了可能。

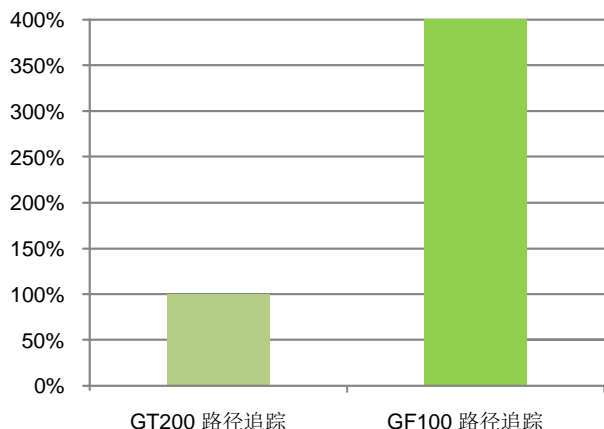
过去在GPU难以高效运行的难题当中，光线追踪一直是很有代表性的一个。光线追踪反复循环地工作，而GPU也大多反复地工作。光线方向具有不可预测性，需要大量随机存储器的存取。为高效起见，GPU一般以线性块的方式存取存储器。

GF100的计算架构在设计期间就专门将光线追踪考虑在内了。GF100是首款在硬件上支持循环的GPU（图形处理器），它能够执行高效的光线追踪以及大量其它图形算法。

通过提升精细存储器存取性能，GF100的1级以及2级高速缓存大幅提升了光线追踪效率。1级高速缓存为邻近的光线增强了存储器的本地性，而2级高速缓存则增大了至显存的带宽。

GF100不仅在标准光线追踪中表现出色，而且在路径追踪等高级全局照明算法中也有不凡的表现。路径追踪采用大量光线来收集场景中的环境光照信息。路径追踪的早期评价显示，GF100的性能最高可达GT200的四倍。

GF100 路径追踪性能



为了维持性能，游戏可以有选择地运用光线追踪。例如，光栅化可以用来执行场景的第一个通道。被确定为反射光的像素可以通过光线追踪来接受进一步的处理。这种混合型渲染模式能够实现更高性能以及更佳的图像质量。



借助NVIDIA®（英伟达™）OptiX技术的路径追踪所渲染的布加迪威龙。OptiX能够轻松整合到诸多游戏引擎中，让赛车类游戏能够利用光线追踪来在画廊模式下实现近乎照片般逼真的迷人镜头。

平滑粒子流体力学（SPH）

逼真的流体模拟长期以来一直被运用于电影中，以创造出新颖奇特的人物以及戏剧性的效果。《终结者2：审判日》中的T-1000便是由计算机生成的“液态金属”所打造。大量水的模拟对完成《2012》中的气候镜头来说至关重要。虽然游戏设计师渴望能够制作出类似的效果，但是流体模拟的计算复杂度阻碍了它们在实时应用程序中的应用。

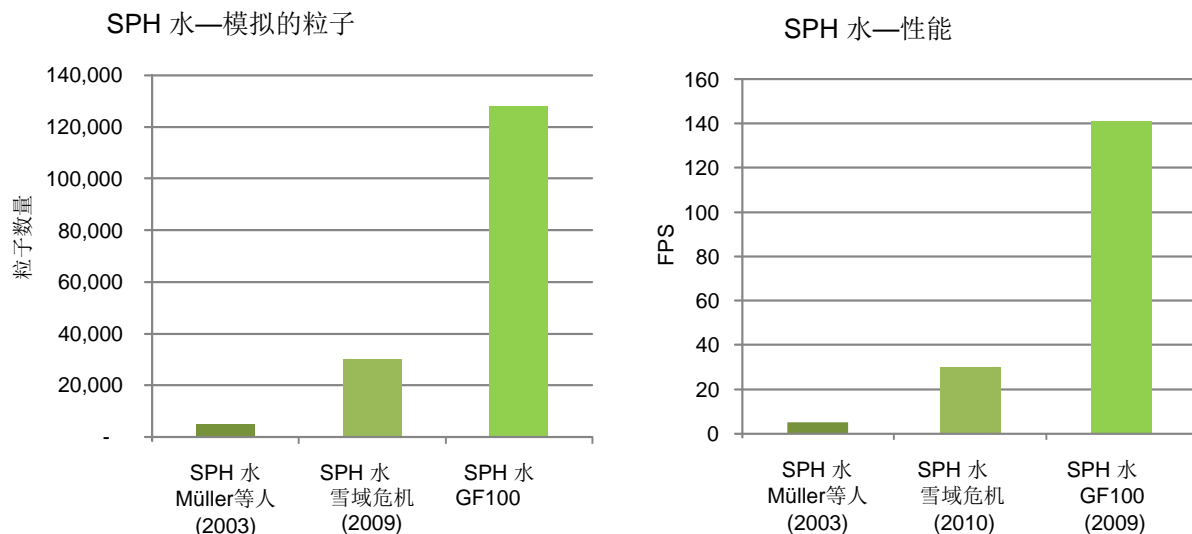
2003年，Müller等人²在交互式流体模拟中采用了平滑粒子流体力学（SPH）算法，这是一种天体物理学算法。他们最初的作品展示了5,000个SPH粒子，足以模拟每秒5帧的水杯倾泻效果。从此以后，Muller的SPH算法便被集成到了PhysX API当中。首款利用PhysX SPH的游戏《雪域危机》能够在极短的时间内模拟30,000个水粒子，这不能不说是一个突破。



基于SPH的流体模拟

《雪域危机》中的水粒子的数量不足，无法表现出足以乱真的流体效果，而图形互操作极高的成本也限制了实际性能。

GF100是首款能够实现高保真流体模拟所需性能的GPU（图形处理器）。GF100搭配一款改进型SPH解算器就能够让游戏设计师在整个游戏环境中加入高品质SPH流体效果。GF100能够模拟每帧128,000个以上的SPH粒子，足以支持大量的水以及各种基于流体的特效。例如，SPH可用于为雨水建模，制作出自然形成的水花四溅、水漩涡以及溢流效果。



GF100在模拟大量SPH粒子时表现出色，性能优异。

² M. Müller、D. Charypar以及M. Gross面向互动应用程序、基于粒子的流体模拟，2003年ACM SIGGRAPH 计算机动画专题讨论会（SCA）报告，pp 154-159

借助不同的参数，SPH可用于模拟血液。血液具有更高的粘度以及不同的滴滴特性。无论是模拟雨水还是血液，流体的行为都基于物理模型，确保了一致性与逼真度。

SPH算法一般不利用共享存储器，共享存储器在上二代架构上限制了性能。GF100强大的高速缓存架构大幅减少了片外存储器的通信量，从而能够在不耗尽存储器带宽的情况下模拟大量粒子。高速上下文切换进一步减少了模拟工作的总开销。多亏了这些改进，GF100才能以超过每秒140帧的速度执行SPH模拟以及图形渲染。

NVIDIA®（英伟达™）3D立体幻镜™ Surround

NVIDIA®（英伟达™）3D立体幻镜™集高科技无线眼镜与先进的软件于一身，可自动将游戏（400多款）转化为完全立体的3D形式。

即将问世的NVIDIA®（英伟达™）3D立体幻镜™ Surround技术由NVIDIA SLI®（速力™）配置的GF100 GPU提供动力支持。该项技术通过在三台显示器上以全立体3D形式呈现完全身临其境、可媲美IMAX 3D的游戏效果，从而将3D游戏推向了全新高度。



NVIDIA®（英伟达™）Surround能够将多台显示器结合成一台更大的显示器，从而为全屏游戏或用户桌面呈现出全景效果。《詹姆斯·卡梅隆之阿凡达：游戏》© Ubisoft版权所有 2009

NVIDIA®（英伟达™）3D立体幻镜™ Surround的渲染能力最高可达每秒7.46亿个像素，是上一代顶级游戏配置的3倍。开启Tessellation（曲面细分）、计算着色器以及PhysX之后，游戏对GPU的要求是非常高的。GF100专为在NVIDIA®（英伟达™）3D立体幻镜™ Surround上实现最高性能而打造。GF100全新的ROP子系统在每个分区中都拥有双倍数量ROP单元，从而能够同时向多台显示器输出数据。其并行Tessellation（曲面细分）与光栅引擎能够在Tessellation（曲面细分）任务繁重的场景中保持高性能。而且其搭载了高速上下文切换技术的强大计算架构令计算运算变得轻而易举。



昔日的顶级游戏需要 $2560 \times 1600 \times 60 = 2.45$ 亿像素/秒的渲染动力。



下一代3D立体幻镜™ Surround游戏需要 $1920 \times 1080 \times 120 \times 3 = 7.46$ 亿像素/秒

当使用两块或更多显卡组成SLI®（速力™）配置时，GF100就能够实现3D立体幻镜™ Surround。三台最高分辨率为1920x1080的同型号3D立体幻镜™液晶显示器与投影仪即可呈现出3D立体幻镜™ Surround视觉效果。对于这些还没有准备好投身立体游戏的玩家，非立体3D显示器也能够实现NVIDIA Surround效果，玩家可以使用多台分辨率相同、最高分辨率为2560 x 1600的显示器来体验NVIDIA Surround。

边框校正（Bezel Correction）

NVIDIA®（英伟达™）3D立体幻镜™ Surround包含了控制部分，控制部分让用户能够调整显示器，以补偿显示器的边框间隙，从而呈现出更加逼真的全屏游戏视觉效果。凭借边框校正功能，游戏视图的一部分可以隐藏到显示器边框后面，这样一来，边框似乎就成为游戏的一部分了。这样能够在多个显示器上呈现出更加连贯的图像，为玩家提供更加逼真的体验。就好像乘客观看座舱窗外的风景一样，窗框挡住了玩家的一部分视线。

结语

十六年以来，PC游戏一直是NVIDIA®（英伟达™）公司倾注了满腔热情的核心目标领域。凭借GF100，我们将继续为3D图形与PC游戏的进步而贡献力量。

GF100拥有多达16个Tessellation（曲面细分）引擎以及4个光栅引擎，将几何逼真度提升到了全新的高度。Tessellation（曲面细分）以及Displacement Mapping（贴图置换）这两种电影中所采用的技术首次应用到了PC游戏当中。栩栩如生、包含了丰富细节的人物以及空前复杂的游戏环境，这些正是GF100为玩家提供的承诺。

在计算显卡的追求上，我们同样一直是志向远大。GF100是全球首款也是唯一一款能够支持C/C++、循环、以及高速缓冲读写的GPU（图形处理器）。这些特性结合在一起，让游戏开发人员能够解决最棘手的图形难题，例如光线追踪、顺序无关透明度以及物理效果模拟。一旦游戏玩家体验了计算显卡所带来的保真度与一致性的话，那么过去的代表性特效将像固定功能的显卡一样过时。

我们坚信，PC游戏是独一无二的。当今的游戏在设计上呈现出多平台的面貌，但是只有在PC上，游戏才能够得以大展拳脚。凭借GF100，我们希望能够继续突破PC游戏的极限，使其成为世界上最强大、最有活力的游戏平台。

凭借GF100的图形处理与计算能力，我们已经将NVIDIA®（英伟达™）3D立体幻镜™扩展到了三台显示器上，使最令人身临其境的游戏体验成为了可能。

凭借其惊人的性能、开创性的几何引擎以及世界级的计算显卡架构，GF100为3D显卡与PC游戏树立一个全新的里程碑。

注

本白皮书中提及的所有信息，包括评论、意见、NVIDIA®（英伟达™）设计规格、公版显卡、文件、图纸、诊断、列表和其它文件（无论统称还是单论都可称为“材料”）均“按本白皮书编撰时的实际情况”表述。NVIDIA®（英伟达™）不对这些材料做出任何明确、暗示、法定或其它方式的担保，并明确拒绝承担任何暗示的侵权、适销性和特定用途适用性担保责任。

我们认为，本文中所提供信息均准确可靠。然而，对于因使用此类信息导致的后果，或因使用信息导致侵犯专利权或任何第三方权利的情形，NVIDIA®（英伟达™）公司不承担任何责任。本文没有暗示或以任何其它形式提供NVIDIA®（英伟达™）公司专利或专利权的许可。本文提及的规格随时可能更改，恕不另行通知。本文将取代之前所提供的所有内容。未经NVIDIA®（英伟达™）公司明确书面批准，NVIDIA®（英伟达™）公司产品不得被用作救生设备或系统的关键组件。

商标

NVIDIA®（英伟达™）、NVIDIA®（英伟达™）徽标、CUDA、FERMI以及GeForce®（精视™）均为NVIDIA®（英伟达™）公司在美国和其它国家的商标或注册商标。其它公司和产品名称可能为其相应公司的商标。

© 2010年 NVIDIA®（英伟达™）公司版权所有。

保留所有权利。