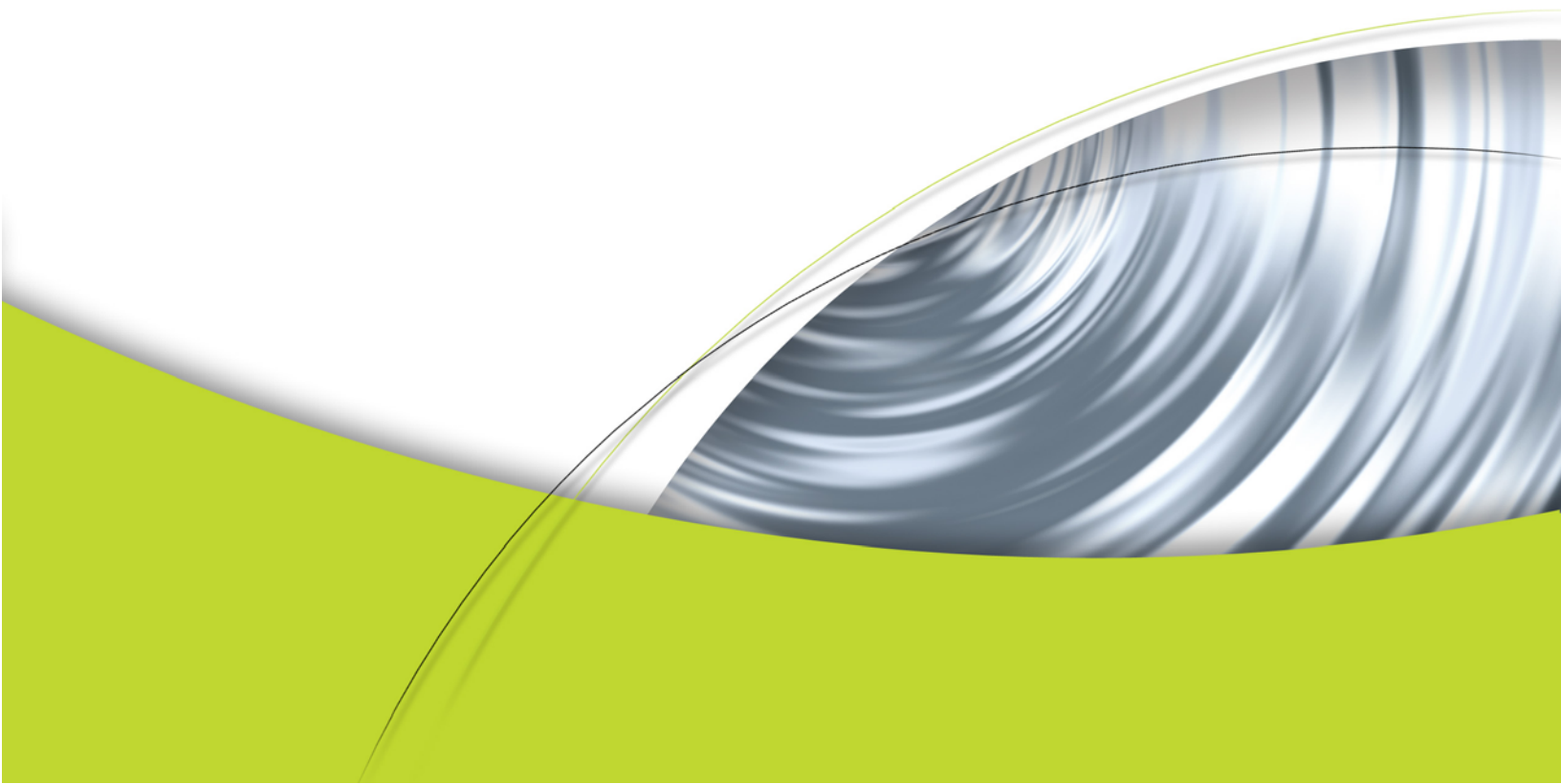




Technische Übersicht

NVIDIA GeForce FX-GPUs und Microsofts DirectX 9.0 API

Die Kunst und Wissenschaft visueller
Effekte



NVIDIA GeForce FX-GPUs und Microsoft DirectX 9.0 API

Die Grafikprozessoren (GPUs) GeForce™ FX von NVIDIA® erschüttern die Welt der Grafik in ihren Grundfesten. Im Gespann mit neuen Anwendungsprogrammierschnittstellen wie dem API DirectX™ 9.0 (DX9) von Microsoft® ebnen die mit größter Spannung erwarteten GeForce FX-GPUs den Weg für eine neue Generation interaktiver Inhalte und bringen Echtzeit-Shading von Kinoqualität auf den Desktop.

Das Microsoft-API DirectX 8.0 (DX8) ist die Version von DirectX, die programmierbare Vertex-Shading-Hardware bei einer gleichzeitigen deutlichen Verbesserung der Flexibilität fortschrittlicher Pixel-Shading-Hardware erst möglich machte. DX8 und die DX8-Hardware setzten Anwendungsentwicklern aber weiterhin zahlreiche Grenzen. Microsoft DX9 hebt diese Grenzen auf. Als vollständigste Hardware-Implementierung von DX9 bieten die GeForce FX-GPUs die Leistung und Stärke, die zur Überwindung der drei größten DX8-Einschränkungen erforderlich waren:

- ❑ **Programmierbarkeit von Pixel-Shadern:** Die DX8-Spezifikationen für Pixel-Shader ließen sich eher als „konfigurierbar“, denn als programmierbar bezeichnen, da sie für eine allgemeine Programmierbarkeit einen vollständigen Befehlssatz und eine flexible Programmierstruktur voraussetzten. Die GeForce FX-GPUs und DX9 lassen wesentlich längere Shader-Programme zu und stellen Entwicklern einen stark erweiterten Pixel-Shading-Befehlssatz zur Verfügung.
- ❑ **Programmierbarkeit von Vertex-Shadern:** Die DX8-Spezifikation für Vertex-Shader räumte Entwicklern eine nur äußerst geringe Kontrolle über den Programmablauf ein. DX8-Vertex-Shader-Programme werden linear ausgeführt, ohne eine frühzeitige Terminierung, die zur Optimierung der Leistung beitragen könnte. Dagegen unterstützen DX9 und die GeForce FX-GPUs bedingte Programmverzweigungen, die deutlich mehr Flusskontrolle zulassen.
- ❑ **Vereinheitlichte Spezifikationen für Pixel-Shading:** Durch die Aufnahme von Pixel Shader 1.4 in die DX8-Spezifikation entstand eine neue Pixel-Shader- und Programmierstruktur, die einen vollkommen andersartigen Implementierungsansatz verfolgte. Viele Entwickler sahen sich gezwungen, ihre Shader-Programme für unterschiedliche Hardware umzuschreiben, anstatt sie einfach strikt API-orientiert entwickeln zu können. Die DX9-Spezifikation räumt dieses Problem mithilfe der neuen vereinheitlichten Definition Pixel Shader 2.0 aus.

Mit gemeinsamen Kräften verkürzen DX9 und GeForce FX-GPUs den Vorsprung erstklassig gerendeter Filme wie der Disney/Pixar-Produktion *Monsters, Inc.* oder *Final Fantasy: The Spirit Within* von Columbia Pictures vor erstklassiger PC-Grafik. Das DX9-API stellt eine der essenziellen Technologien für diese leistungsstarke neue Kombination aus Hardware und Software dar. In diesem Dokument werden die Hauptleistungsmerkmale und wichtigsten Vorzüge der Direct3D-Komponente der DX9-Spezifikation erörtert.

Neue DirectX- Leistungsmerkmale und - Effekte

Die DX9-Spezifikation zeichnet sich durch drei wichtige neue Leistungsmerkmale aus:

- ❑ **Pixel Shader 2.0:** DX9 bietet echte Programmierbarkeit der Pixel-Shading-Engine. Dadurch wird erstmals prozedurales Shading auf dem Grafik-Chip möglich.
- ❑ **Vertex Shader 2.0:** DX9 lässt längere und flexiblere Vertex-Programme zu und bedeutet somit eine drastische Verbesserung der vorigen DirectX-Vertex-Shader.
- ❑ **Farbe mit Gleitkommapräzision:** DX9 durchbricht die mathematische Präzisionsschallmauer, die der PC-Grafik bisher ihre Grenzen aufzeigte. Die Präzision - und damit die visuelle Qualität - wird durch 128-Bit-Gleitkomma-Farben pro Pixel gesteigert.

Um diese neuen Leistungsmerkmale von DX9 nutzen zu können, hat NVIDIA das NVIDIA Cg Developer Toolkit entwickelt. Mit der Kombination aus dem NVIDIA Cg Developer Toolkit und einer GeForce FX-GPU eröffnen sich Programmierern alle Möglichkeiten und Vorzüge des APIs, und der Entwicklung beeindruckender visueller Effekte steht nichts mehr im Weg. Weitere Informationen über die Programmiersprache Cg und NVIDIA-Lösungen entnehmen Sie bitte dem NVIDIA-Dokument „Cg: „C“ für Grafik“, das Ihnen unter folgender URL zur Verfügung steht:

http://www.nvidia.de/view.asp?IO=cg_de.

Atemberaubende Effekte

Die Vielseitigkeit und Leistungsfähigkeit der GeForce FX-Architektur in Verbindung mit DX9 öffnen die Pforten zu neuen digitalen Welten mit beeindruckenden visuellen Effekten, die mit DX8 einfach nicht erreichbar waren. Mit Programmierbarkeit und hoher Genauigkeit rückt DX9 komplexeste Effekte erstmals in den Einflussbereich der Echtzeitgrafik. Gute Beispiele für Objekte, die sich dank dieser neuen Plattform umwerfend effektiv gestalten lassen, sind Pflanzen, Metallklack, Haut und Augen. Direktvergleiche machen den auf DX9 zurückzuführenden Sprung der Bildqualität deutlich (siehe Abbildungen 1 und 2).



Abb. 1. DX8- im Vergleich zu DX9-Vegetation

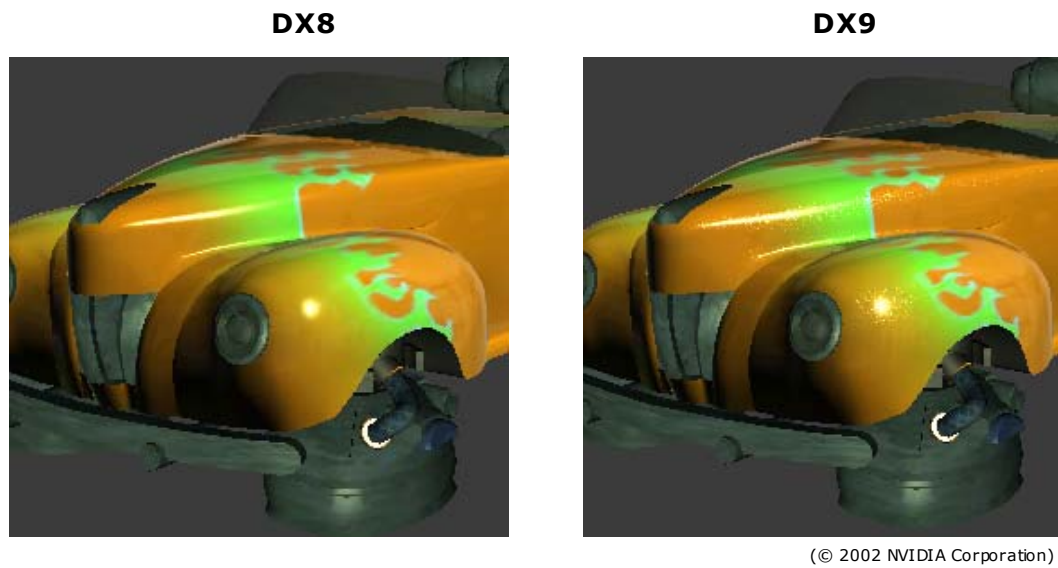


Abb. 2. Standardlack im Vergleich zum Metalllackeffekt

Schnellere Effekte

Als Beispiel für die leistungssteigernden Fähigkeiten von DX9 betrachten wir den Wolfman aus einer der Demos für die NVIDIA GeForce4 Ti-Familie (Abbildung 3).



(© 2002 NVIDIA Corporation)

Abb. 3. Der Wolfman-Charakter

Mit Renderingtechniken der Art DX8 erforderte das Fell von Wolfman acht Durchgänge pro Pixel. Dabei musste das Fell in Form von mehreren geometrischen Schichten modelliert und für jede Schicht der jeweilige Anteil am aktuellen Pixel berechnet werden. Dieses Verfahren ist ausführlich im NVIDIA-Dokument „nfiniteFX II Engine: From Research to Real-Time“ beschrieben, das Sie unter folgender URL finden:

http://www.nvidia.de/view.asp?PAGE=pg_20020206247913.

Auf der Grundlage von DX9 kann die GeForce FX-GPU das Wolfman-Fell nun in einem einzigen Durchgang berechnen. Die Straffung des Renderings von ganzen acht auf einen einzigen Durchgang erbringt enorme Leistungsgewinne ohne Beeinträchtigung der Bildqualität.

Programmierbarkeit mit DX9

DX9 bietet eine reichhaltigere Programmiersprache mit mehr Befehlen sowie eine längere und flexiblere Programmstruktur. Was dies im Einzelnen für Pixel-Shader- und Vertex-Shader-Programme bedeutet, wird in den nachfolgenden Abschnitten separat erörtert. In Tabelle 1 sind die grundlegenden Grenzen von DX8, DX9 und die Sonderfähigkeiten („cap bits“) zusammengefasst, die zusätzlich zu den DX9-Shader-Spezifikationen für eine bessere Nutzung der Fähigkeiten der GeForce FX-Architektur sorgen. Beachten Sie bitte, dass der Übergang von DX8 zu DX9 mit einem Mehraufwand an verschiedenen Ressourcen einhergeht. Hierzu gehören beispielsweise Konstanten und Programmregister für die Speicherung temporärer Daten. Längere Programme bewirken eine komplexere Programmierung, und diese wiederum erfordert mehr derartige Ressourcen.

Tabelle 1. Grunddaten der Spezifikationen DX8, DX9 und darüber hinaus

	DX8-Spezifikation	DX9-Spezifikation	GeForce FX-Implementierung von DX9
Pixel-Shader	Version 1.4	Version 2.0	Version 2.0+
Anweisungen	32	64	Tausende
Konstanten	8	32	Tausende
Register	6	12	32
Vertex-Shader	Version 1.1	Version 2.0	Version 2.0+
Anweisungen	128	256	256
Konstanten	96	256	256
Register	12	12	16

Hinweis: Angegeben sind die Maximalwerte für gültige Shading-Programme.

Die Vorteile von Pixel Shader 2.0

Der Pixel Shader 2.0-Spezifikation in DX9 sind beeindruckende neue Dimensionen der Bildqualität zu verdanken. Diese neue Spezifikation umfasst echte Programmierbarkeit von Pixel-Shader-Hardware wie derjenigen der GeForce FX-Architektur. Programmierer und Digital-Künstler können nun neuartige, besondere Bilder erschaffen—und somit der Kunst und Wissenschaft der visuellen Darstellung zu neuen Höhen verhelfen. Außerdem bereichert und erweitert die Programmierfähigkeit von GeForce FX-GPUs und DX9 die Palette der Werkzeuge, z. B. durch prozedurales Shading.

Künstlerischer Einfluss

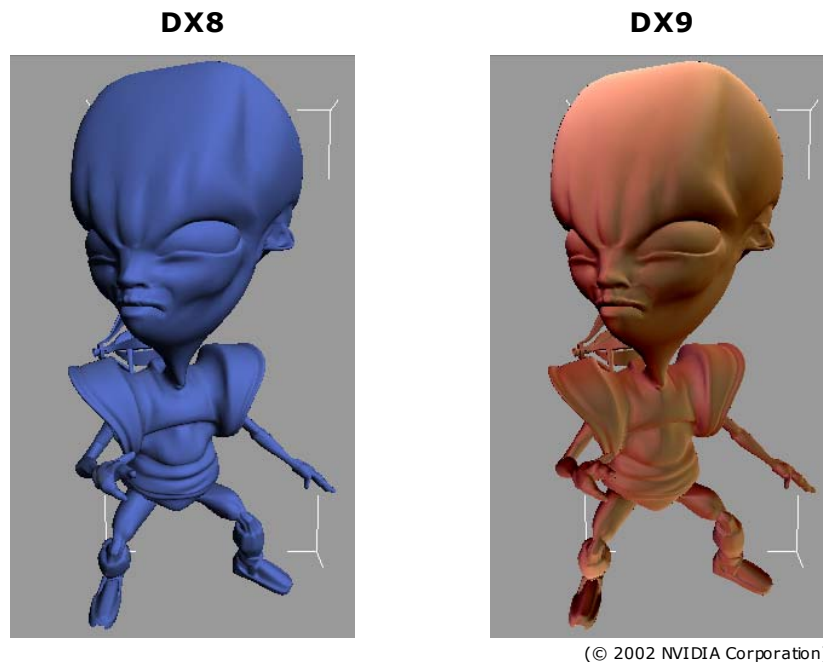
Vor DX9 und GeForce FX-GPUs waren Anwendungsentwickler auf sehr simple Pixel-Shader-Effekte beschränkt. Grafik-Chips und APIs boten bisher Pixel-Shader-Engines, die nicht als programmierbar, sondern als lediglich konfigurierbar bezeichnet werden konnten. Diese Unterscheidung ist von Bedeutung. Für die DX8 Pixel Shader 1.4-Spezifikation (und folglich auch die DX8-Hardware) gilt eine begrenzte Liste gültiger Pixel-Anweisungen, die zudem auf textur-orientierte Operationen (Texturzugriffe, Textur-Blending etc.) konzentriert sind. DX8-Pixel-Shader-Programme sind außerdem auf 32 Anweisungen beschränkt. Im Gegensatz dazu führt DX9 einen vollständigen Befehlsatz sowie ein verallgemeinertes Programmiermodell für Hardware-Pixel-Shader-Engines ein.

Der Befehlsatz von Pixel Shader 2.0 (Bestandteil der DX9-Spezifikation) verfügt über sämtliche Befehle des Satzes von Vertex Shader 2.0 (ebenso Bestandteil von DX9) und zusätzlich einige weitere Befehle, die sich speziell auf die Erzeugung von Texturen beziehen und deshalb in Vertex-Shader-Programmen keine Bedeutung haben. Diese neuen Pixelbefehle umfassen mathematische Funktionen und Flusskontrollfunktionen.

DX9-Pixel-Shader-Programme und GeForce FX-GPUs reißen die Barrieren zwischen künstlerischem Anspruch und konsumierbarem, unterhaltendem Endprodukt nieder. Wenn der sichtbare Effekt nicht der Vorstellung von Programmierern oder Künstlern entspricht, stehen ihnen die Mittel zur Verfügung, so lange daran herumzufeuern, bis das Ziel erreicht ist.

Wissenschaftliche Anweisungen

Die mathematischen Anweisungen von Pixel Shader 2.0 erlauben es der Pixel-Shader-Engine, beliebige mathematische Algorithmen zu lösen. Anwendungsentwickler haben die Möglichkeit, mathematische Formeln für Spezialeffekte selbst zu definieren und können dadurch ganz eigene, stilisierte Effekte wie das mehrfarbige Alien (siehe Abbildung 4) erzeugen. Anstelle des einfarbig blauen Alien-Bilds lässt sich ein einzigartiges, stilisiertes Aussehen wie das des rosa-braunen Aliens herstellen, dessen Farbe sich in Abhängigkeit vom Lichteinfallwinkel ändert.



(© 2002 NVIDIA Corporation)

Abb. 4. Im Gegensatz zu DX8 können mit DX9 dank der Fähigkeit der Interpretation mathematischer Funktionen einzigartige Effekte erzielt werden

Flusskontrolle

DX9 erlaubt als erste Direct3D-Spezifikation Schleifen und Sprünge in Pixel-Shader-Programmen. Diese Möglichkeiten der Flusskontrolle bringen zwei grundsätzliche Vorteile mit. Sie räumen Entwicklern die Freiheit ein, ihre Shader-Programme so effizient wie möglich auf das jeweils zu lösende Problem zuzuschneiden. Die Pixel-Shader-Spezifikationen in DX8 gaben sehr strikt vor, welche Befehle auf andere folgen und wie viele Ebenen der Texturabhängigkeit verwendet werden durften. Dagegen kann bei DX9 anhand von bedingten Verzweigungen und ähnlichen Techniken sogar Code wiederverwendet werden. Effekte lassen sich in Kategorien oder Familien fassen, was es nahelegt, so oft wie möglich auf allgemein gefassten und fertig debuggten Code zurückzugreifen. So können allgemeine Holzmaserungs-Shader, Vegetations-Shader, Augapfel-Shader etc. geschrieben werden, die für Entwicklungsteams und Unternehmen eine

Steigerung der Produktivität bedeuten. Dadurch wiederum lässt sich die Markteinführung beschleunigen, der Kostenaufwand senken oder aber die ersparte Zeit zur Entwicklung noch komplizierterer Effekte nutzen, die in dem vorgesehenen zeitlichen Rahmen sonst nie erreichbar gewesen wären.

Prozedurales Shading

Mit der neuen Programmierfähigkeit von DX9 steht den Künstlern auch eine größere Bandbreite an Werkzeugen im virtuellen Werkzeugkasten zur Verfügung. Die Flexibilität der Pixel-Shader-Engine, die beliebige mathematische Funktionen zulässt, bedeutet, dass ein Problem stets auf verschiedene Arten gelöst werden kann. Mit prozeduralem Shading lassen sich im Handumdrehen anspruchsvolle 2D- oder 3D-Muster entwickeln. So wurde beispielsweise das Bild in Abbildung 5 ohne jegliche vorberechnete Textur erzeugt.



(Bild mit freundlicher Genehmigung des Künstlers Goran Kocov)

Abb. 5. Die Holzmaserungen und die Oberfläche der grobkörnigen Keramikvase wurden anhand von prozeduralen Shading-Techniken mathematisch erzeugt - ohne jegliche Texturen

Worin besteht nun der Vorteil für den Entwickler? Ganz klar in der Freiheit, ein Problem auf verschiedene Weisen lösen zu können. Beim prozeduralen Shading wird mathematisch berechnet, welche Farbe ein Pixel haben müsste. Dieses Verfahren stellt somit eine Antwort auf das klassische Texturproblem der Abbildung eines 2D-Bilds auf einem gebogenen Objekt dar.

Die Vorteile von Vertex Shader 2.0

Vertex Shader 2.0 bringt erstmals echte Programmierbarkeit in die DX9-Vertex-Shader-Spezifikation. In Bezug auf die DX8-Spezifikation liegen zwei grundsätzliche Änderungen vor: längere Vertex-Programme und Flusskontrolle anhand von bedingten Programmsprüngen und Subroutinenbefehlen. Darüber hinaus hat Vertex Shader 2.0 den Befehlssatz um neue mathematische Funktionen bereichert.

Längere Vertex-Programme

Mit DX9 können Anwendungsentwickler längere Vertex-Programme schreiben und noch anspruchsvollere, attraktivere Effekte erzeugen (siehe Abbildung 6). Längere Programme können einen enormen Einfluss auf die scheinbare Komplexität der Objekte einer Szene nehmen.



(© 2002 NVIDIA Corporation)

Abb. 6. DX9-Vertex-Programme vereinfachen die Animation komplexer Geometrien wie z. B. von Wasser

Dieselben Techniken lassen sich zur Animation komplexer Geometrien beim Rendern von Wellen im Meer einsetzen. Während der Berechnung der Parameter muss die Pixel-Shading-Engine pro Pixel errechnen, wie viel Licht durch die Wellen dringt und wie viel von der Wellenoberfläche reflektiert wird.

Flusskontrolle

Die Programmflusskontrolle eröffnet Entwicklern die Möglichkeit, anspruchsvolle Programme zu schreiben, in welchen Subroutinen Iterationen mathematischer Berechnungen vornehmen oder festgelegte Bedingungen Programmsprünge auslösen, die zu einer frühen Terminierung führen. Die frühe Beendigung von Programmen ist der Gesamtleistung von Vertex-Programmen zuträglich. Das Vertex-Shading-Programm ist unter Umständen in der Lage, festzustellen, dass zusätzliche Berechnungen in einer gegebenen Situation unnötig sind. In diesem Fall kann eine DX9-Vertex-Shading-Engine das Programm beenden und die Ergebnisse an die nächste Phase der Grafik-Pipeline übergeben, während eine DX8-Vertex-Shading-Engine das Programm bis zum Schluss durchschreitet, obwohl weitere Berechnungen nicht zu einer Verbesserung der Gesamtbildqualität beitragen. Im Gegensatz zu DX8 muss die DX9-Vertex-Shading-Engine also nicht alle unnötigen Rechenschritte abarbeiten, sondern kann direkt zum nächsten Vertex übergehen (oder das nächste Vertex-Programm laden).

Farben von Gleitkommapräzision

Wenn immer anspruchsvollere Spezialeffekte erzeugt werden sollen, werden Operationen von höchster Präzision zum Muss. Wer sich auf die NVIDIA GeForce FX-GPUs in Kombination mit dem DX9-API stützt, kann mit derselben hohen Farbgenauigkeit arbeiten, wie sie in der heutigen Filmindustrie Standard ist. Die 16- und 32-Bit-Gleitkommaformate (FP16 und FP32) der GeForce FX-Architektur bieten die Flexibilität, die Anwendungsentwickler für die Erzeugung von Grafiken höchster Qualität benötigen. FP32 liefert echte 128-Bit-Farben und somit die ultimative Bildqualität. FP16 sorgt für einen optimalen Ausgleich zwischen Bildqualität und Leistung.

Programmierer können in ihren Anwendungen ungehindert zwischen diesen Formaten wechseln und immer das für die jeweilige Berechnung besser geeignete Format verwenden. Einige Aktionen, wie z. B. die Indizierung von Texturen, lassen sich nur im 32-Bit-Gleitkommaformat optimal durchführen. Wenn die Textur größer als 1024 x 1024 ist ($2^{10} \times 2^{10}$, d. h. mindestens 20 Bits sind erforderlich), wird FP32 benötigt, um auf alle Daten zugreifen zu können. Andere Berechnungen können dagegen mit FP16 genau durchgeführt werden und den Vorteil der höheren Ausführungsgeschwindigkeit nutzen, den dieses Präzisionsniveau bietet.

Dank der Genauigkeit und Entscheidungsfreiheit dieser Hochpräzisionsformate können Anwendungsentwickler Kinografik in Echtzeit herstellen.

Eine ausführlichere Betrachtung der Aspekte und Vorteile hoher mathematischer Präzision in der Grafik finden Sie im NVIDIA-Dokument „Hochpräzisionsgrafik: Farbe von Studioqualität auf dem PC“ unter:

http://www.nvidia.de/view.asp?PAGE=techbriefs111802_de

Fazit

Die DX9-Spezifikation von Microsoft stellt ein grundlegendes Element bei der Steigerung der Qualität von Echtzeitgrafiken dar. Diese Anwendungsprogrammierschnittstelle in Verbindung mit den Fähigkeiten der GeForce FX-GPUs macht eine neue Kategorie eindrucksvoller Grafiken in Echtzeitanwendungen möglich. Die Kombination aus dem API und der GeForce FX-Plattform bringt die beste Programmierbarkeit, Flexibilität und Präzision in Renderingsystemen für Grafiken von Filmqualität auf den Desktop. Während Entwicklern alle Mittel zum Ausdruck ihrer künstlerischen Vorstellung zur Verfügung stehen, kommen Endanwender in den Genuss eines nie dagewesenen visuellen Erlebnisses.

Die vorgelegten Informationen sind nach Ansicht von NVIDIA korrekt und verlässlich. Die NVIDIA Corporation übernimmt jedoch keinerlei Haftung für die Folgen der Nutzung dieser Informationen oder für Patentverletzungen oder für die Verletzung der Rechte Dritter, die möglicherweise aus der Nutzung dieser Informationen entstehen. Weder implizit noch in anderer Weise wird eine Lizenz im Zusammenhang mit Patenten oder Patentrechten der NVIDIA Corporation gewährt. Die in dieser Veröffentlichung genannten Spezifikationen unterliegen unangekündigten Änderungen. Diese Veröffentlichung ersetzt alle früheren Informationen. Ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung der NVIDIA Corporation sind Produkte der NVIDIA Corporation nicht für den Einsatz als kritische Komponenten in lebenserhaltenden Geräten oder Systemen zugelassen.

Warenzeichen

Nvidia und das Nvidia-Logo sind eingetragene Warenzeichen der Nvidia Corporation. GeForce FX ist ein Warenzeichen der NVIDIA Corporation.

Microsoft, DirectX, Windows und das Windows-Logo sind eingetragene Warenzeichen der Microsoft Corporation. Andere Firmen- und Produktnamen können Warenzeichen der Unternehmen sein, zu denen sie gehören.

Copyright

Copyright NVIDIA Corporation 2002.



NVIDIA.

NVIDIA Corporation

Rosenheimer Strasse 145b

Building 1500, 3rd Floor

81671 Munich

www.nvidia.de