

OpenGL®

Richard S. Wright, Jr., Nicholas Haemel, Graham Sellers, Benjamin Lipchak

**Dowiedz się, jak tworzyć zapierające dech w piersiach gry 3D
i efektowne, trójwymiarowe wizualizacje!**

Jak sprawnie tworzyć podstawowe obiekty, oświetlać je i cieniować?

Jak napisać własne programy, korzystając
z biblioteki OpenGL i języka GLSL?

Jak programować grafike na urządzenia przenośne,
takie jak iPhone, iPod czy iPad?

Open
GL

OpenGL®
KSIĘGA EKSPERTA

Wydanie 5

Helion 

» Idź do

- Spis treści
- Przykładowy rozdział
- Skorowidz

» Katalog książek

- Katalog online
- Zamów drukowany katalog

» Twój koszyk

- Dodaj do koszyka

» Cennik i informacje

- Zamów informacje o nowościach
- Zamów cennik

» Czytelnia

- Fragmenty książek online

» Kontakt

Helion SA
ul. Kościuszki 1c
44-100 Gliwice
tel. 32 230 98 63
e-mail: helion@helion.pl
© Helion 1991–2011

OpenGL. Księga eksperta. Wydanie V

Autorzy: [Richard S. Wright](#), [Nicholas Haemel](#),
[Graham Sellers](#), [Benjamin Lipchak](#)

Tłumaczenie: Łukasz Piwko

ISBN: 978-83-246-2976-3

Tytuł oryginału: [OpenGL SuperBible: Comprehensive
Tutorial and Reference \(5th Edition\)](#)

Format: 172×245, stron: 688



Dowiedz się, jak tworzyć zapierające dech w piersiach gry 3D i efektywne, trójwymiarowe wizualizacje!

- Jak sprawnie tworzyć podstawowe obiekty, oświetlać je i cieniować?
- Jak napisać własne programy, korzystając z biblioteki OpenGL i języka GLSL?
- Jak programować grafikę na urządzenia przenośne, takie jak iPhone, iPod czy iPad?

Po prawie dwudziestu latach na rynku biblioteka OpenGL jest dziś wiodącym API w dziedzinie programowania grafiki trójwymiarowej, gier 3D, wizualizacji, symulacji, modelowania naukowego, a nawet edytowania obrazów i filmów dwuwymiarowych. Swój sukces zawdzięcza nie tylko łatwości użycia, ale przede wszystkim kompatybilności z niemal wszystkimi platformami dostępnymi na rynku. Świetnie sprawdza się zarówno w komputerach PC z systemem Windows, jak i komputerach Mac, a także na stacjach uniksowych, w centrach rozrywki opartych o lokalizację, na najbardziej znanych konsolach do gier, w kieszonkowych grach elektronicznych, a nawet w oprzyrządowaniu lotniczym czy samochodowym. Nie bez znaczenia dla spopularyzowania tej biblioteki był także fakt, że można ją rozszerzać, dzięki czemu ma ona wszystkie zalety otwartego standardu, a dodatkowo można wzbogacać jej implementację o własne dodatki.

„OpenGL. Księga eksperta. Wydanie 5” to nowe, zaktualizowane (specyfikacja OpenGL 3.3) wydanie znanego podręcznika dla wszystkich programistów, bez względu na poziom ich zaawansowania. Książka ta stanowi wyczerpujący kurs tworzenia niesamowitych wizualizacji 3D, gier oraz wszelkiego rodzaju grafik. Dzięki niej nauczysz się pisać programy wykorzystujące bibliotekę OpenGL, konfigurować środowisko pracy do przetwarzania grafiki trójwymiarowej oraz tworzyć podstawowe obiekty, oświetlać je i cieniować. Następnie zgłębisz tajniki języka OpenGL Shading Language i zaczniesz sprawnie pisać własne programy, wprowadzać do nich rozmaite efekty wizualne oraz zwiększać ich wydajność. Poznasz wszystkie najnowsze techniki programowania przy użyciu biblioteki OpenGL, takie jak przekształcenia, nakładanie tekstur, cieniowanie, zaawansowane bufory czy zarządzanie geometrią. Przejdziesz także szczegółowy kurs programowania grafiki w urządzeniach iPhone, iPod touch oraz iPad!

**Kompletny przewodnik po najpopularniejszej na świecie bibliotece do
programowania grafiki trójwymiarowej OpenGL 3.3!**

Spis treści

Podziękowania	17
O autorach	21
Wstęp do wydania piątego	23
Wstęp do wydania czwartego	25
Wstęp do wydania trzeciego	29
Wprowadzenie	31
Co nowego w tym wydaniu	31
Struktura książki	32
Część I: Podstawy	32
Część II: Techniki średnio zaawansowane i zaawansowane	34
Część III: OpenGL na różnych platformach	34
Konwencje typograficzne	35
Witryna internetowa	35
Część I Podstawy	37
Rozdział 1. Wprowadzenie do grafiki trójwymiarowej i biblioteki OpenGL	39
Historia grafiki komputerowej w skrócie	40
Elektryczność	40
Wejście w trzeci wymiar	41
Podstawowe efekty trójwymiarowe i najważniejsze pojęcia	44
Przekształcanie i rzutowanie	44
Rasteryzacja	45
Cieniowanie	45
Teksturowanie	46
Mieszanie kolorów	47
Łączenie punktów	47
Typowe zastosowania grafiki trójwymiarowej	47
Trzy wymiary w czasie rzeczywistym	47
Trzy wymiary bez czasu rzeczywistego	48
Programy do cieniowania	50
Podstawowe zasady programowania grafiki trójwymiarowej	52
To nie jest zestaw narzędzi	52
Układy współrzędnych	52
Rzutowanie z trzech w dwa wymiary	56
Podsumowanie	58

Rozdział 2. Rozpoczynanie pracy	61
Czym jest OpenGL	62
Ewolucja standardu	63
Mechanizm rozszerzeń	64
Czyje to rozszerzenie	66
Korzystanie z biblioteki OpenGL	71
Narzędzia pomocnicze	72
Biblioteka GLUT	72
Biblioteka GLEW	73
Biblioteka GLTools	73
Szczegóły interfejsu	74
Typy danych	74
Błędy OpenGL	76
Sprawdzanie wersji	77
Pobieranie wskazówek z funkcji glHint	77
Maszyna stanów OpenGL	78
Konfigurowanie środowiska programistycznego w systemie Windows	79
Dodawanie ścieżek	79
Tworzenie projektu	81
Dodawanie własnych plików	82
Konfigurowanie środowiska programistycznego w systemie Mac OS X	84
Niestandardowe ustawienia kompilacji	85
Tworzenie nowego projektu	85
Szkielety, nagłówki i biblioteki	87
Nasz pierwszy trójkąt	90
Układ współrzędnych	95
Konfigurowanie ustawień	98
Zabieramy się do pracy	100
Ożywianie sceny	101
Klawisze specjalne	101
Odświeżanie ekranu	103
Prosta animacja	103
Podsumowanie	104
 Rozdział 3. Podstawy renderowania	 105
Rysowanie punktów w trzech wymiarach	106
Podstawowy potok graficzny	106
Klient-serwer	107
Programy do cieniowania	108
Konfigurowanie układu współrzędnych	110
Rzutowanie ortogonalne	111
Rzutowanie perspektywiczne	112
Standardowe programy do cieniowania	112
Atrybuty	113
Zmienne typu uniform	113
Łączenie punktów	115
Punkty i linie	116

Rysowanie trójkątów w trzech wymiarach	120
Nawinięcie	121
Prosty kontener porcji danych	124
Niechciana geometria	126
Przesuwanie wielokątów	131
Wycinanie nożycami	134
Mieszanie kolorów	135
Łączenie kolorów	136
Zmiana równania mieszania	139
Wyglądanie	140
Podsumowanie	145

Rozdział 4. Podstawy przekształceń geometrycznych.

Najważniejsze informacje o wektorach i macierzach	147
Czy to jest ten straszny rozdział z matematyką?	148
Szybki kurs matematyki	149
Wektory, czyli w którym kierunku	149
Macierz	152
Przekształcenia	154
Współrzędne oka	154
Przekształcenia punktu widzenia	155
Przekształcenia modelowania	156
Dwoistość model-widok	157
Przekształcenia rzutowania	158
Przekształcenia widoku	159
Macierz model-widok	160
Konstruowanie macierzy	160
Łączenie przekształceń	164
Stosowanie macierzy model-widok	165
Więcej obiektów	167
Klasa zestawów trójkątów	167
Macierz rzutowania	171
Rzutowanie prostopadłe	171
Rzutowanie perspektywiczne	172
Macierz rzutowania model-widok	174
Potok przekształceń	178
Stos macierzy	179
Modyfikowanie potoku	180
Wersja wzbogacona	184
Poruszanie się przy użyciu kamer i aktorów	185
Układ odniesienia aktora	186
Kąty Eulera. „Użyj układu odniesienia, Luke!”	187
Obsługa kamery	188
Dodawanie aktorów	191
Oświetlenie	192
Podsumowanie	193

Rozdział 5. Tekstury — podstawy	195
Surowe dane obrazów	196
Pakowanie pikseli	196
Piksmapy	199
Upakowane formaty pikseli	200
Zapisywanie pikseli	203
Wczytywanie pikseli	205
Ładowanie tekstur	208
Wykorzystywanie bufora kolorów	209
Aktualizowanie tekstur	210
Obiekty tekstur	211
Nakładanie tekstur	212
Współrzędne tekstury	212
Parametry tekstur	214
Praktyczne zastosowanie poznanych wiadomości	217
Mipmapy	222
Filtrowanie mipmap	223
Generowanie poziomów mipmap	225
Zastosowanie mipmap	225
Filtrowanie anizotropowe	233
Kompresja tekstur	235
Kompresowanie tekstur	236
Ładowanie tekstur skompresowanych	238
Ostatni przykład	239
Podsumowanie	240
Rozdział 6. Myślenie niekonwencjonalne — programy do cieniowania	241
GLSL 101	242
Zmienne i typy danych	243
Kwalifikatory zmiennych	246
Prawdziwy shader	248
Kompilowanie, wiązanie i konsolidowanie	252
Praktyczne wykorzystanie shadera	258
Wierzchołek prowokujący	259
Dane uniform shadera	259
Znajdowanie danych uniform	260
Zmienne uniform skalarne i wektorowe	260
Tablice uniform	261
Macierze uniform	262
Płaski shader	262
Funkcje standardowe	265
Funkcje trygonometryczne	265
Funkcje wykładnicze	266
Funkcje geometryczne	267
Funkcje macierzowe	267
Funkcje porównywania wektorów	267
Inne często używane funkcje	267

Symulowanie światła	272
Światło rozproszone	272
Shader światła rozproszonego	274
Model oświetlenia ADS	278
Cieniowanie Phong'a	281
Korzystanie z tekstur	285
Nic, tylko teksele	285
Oświetlanie teksele	287
Anulowanie przetwarzania fragmentów	289
Teksturowanie w stylu kreskówkowym — teksele w roli światła	292
Podsumowanie	294
Rozdział 7. Tekstury — techniki zaawansowane	295
Tekstury prostokątne	296
Wczytywanie tekstury prostokątnej	297
Zastosowanie tekstur prostokątnych	297
Tekstury sześciennie	300
Wczytywanie tekstur sześciennych	301
Tworzenie pudła nieba	302
Tworzenie efektu odbicia	304
Multiteksturowanie	305
Wiele współrzędnych tekstur	306
Przykład multiteksturowania	306
Teksturowanie punktów	309
Teksturowanie punktów	309
Rozmiar punktów	310
Podsumowanie wiadomości	311
Parametry punktów	314
Nadawanie punktom kształtów	314
Obracanie punktów	315
Tablice tekstur	317
Ładowanie tablicy tekstur dwuwymiarowych	317
Indeksowanie tablicy tekstur	319
Uzyskiwanie dostępu do tablic tekstur	320
Tekstury zastępcze	320
Podsumowanie	322
Część II Techniki średnio zaawansowane i zaawansowane	323
Rozdział 8. Buforowanie — od tej pory przechowywanie danych zależy od Ciebie	325
Bufory	326
Tworzenie własnych buforów	327
Napełnianie buforów	328
Obiekty bufora pikseli	329
Tekstury buforowe	336

Obiekt bufora obrazu, czyli opuszczamy okno	338
Sposób użycia FBO	339
Obiekt bufora renderowania	339
Bufory rysowania	341
Kompletność bufora obrazu	344
Kopiowanie danych w buforach obrazu	347
Praktyczny przykład wykorzystania buforów FBO	348
Renderowanie do tekstur	353
Podsumowanie	358

Rozdział 9. Buforowanie — techniki zaawansowane 359

Uzyskiwanie dostępu do danych	360
Mapowanie buforów	360
Kopiowanie buforów	361
Wysyłanie danych z shadera pikseli i odwzorowywanie fragmentów wyjściowych	362
Nowe formaty dla nowej generacji urządzeń	364
Precyzyjne formaty zmiennooprzecinkowe	365
Wielopróbkowanie	379
Liczby całkowite	383
sRGB	384
Kompresja tekstur	386
Podsumowanie	388

Rozdział 10. Operacje na fragmentach — koniec potoku 389

Okrawanie — przycinanie geometrii na wymiar	390
Wielopróbkowanie	391
Powierzchnia pokrycia próbki	391
Maska próbki	392
Podsumowanie dotychczasowych wiadomości	393
Operacje na szablonach	397
Testowanie głębi	400
Ograniczanie wartości głębi	400
Mieszanie kolorów	400
Równanie mieszania	401
Funkcja mieszania	401
Zebranie wiadomości	403
Rozsiewanie kolorów	404
Operacje logiczne	405
Maskowanie wyniku	405
Maskowanie koloru	406
Maskowanie głębi	406
Maskowanie buforów szablonu	407
Zastosowanie masek	407
Podsumowanie	407

Rozdział 11. Programy cieniujące — techniki zaawansowane	409
Zaawansowane shadery wierzchołków	410
Fizyczne symulacje w shaderze wierzchołków	410
Shadery geometrii	417
Shader geometrii przepuszczający dane	417
Zastosowanie shadera geometrii w programie	419
Usuwanie geometrii w shaderach geometrii	423
Modyfikowanie geometrii w shaderze geometrii	426
Generowanie geometrii w shaderze geometrii	427
Zmianianie typu obiektu podstawowego w shaderze geometrii	431
Nowe typy obiektów podstawowych w shaderach geometrii	433
Zaawansowane shadery fragmentów	436
Przetwarzanie końcowe w shaderze fragmentów — korekcja kolorów	438
Przetwarzanie końcowe — splot	439
Generowanie danych obrazu w shaderze fragmentów	442
Ignorowanie zadań w shaderze fragmentów	445
Kontrolowanie głębi poszczególnych fragmentów	447
Inne zaawansowane funkcje shaderów	448
Interpolacja i kwalifikatory pamięci	448
Inne zaawansowane funkcje wbudowane	452
Obiekty bufora bloku zmiennych jednorodnych	454
Tworzenie bloków zmiennych jednorodnych	455
Podsumowanie	464
Rozdział 12. Zarządzanie geometrią — techniki zaawansowane	465
Zbieranie informacji o potoku OpenGL — zapytania	466
Przygotowywanie zapytania	467
Wysyłanie zapytania	468
Pobieranie wyników zapytania	468
Wykorzystanie wyniku zapytania	469
Zmuszanie OpenGL do podejmowania decyzji	472
Mierzenie czasu wykonywania poleceń	475
Przechowywanie danych w pamięci GPU	477
Przechowywanie danych w buforach danych wierzchołków	478
Przechowywanie w buforach indeksów wierzchołków	482
Organizowanie buforów przy użyciu obiektów tablic wierzchołków	483
Optymalne rysowanie dużych ilości geometrii	486
Łączenie funkcji rysujących	486
Łączenie geometrii poprzez restart obiektów podstawowych	487
Rysowanie wielu egzemplarzy jednego obiektu	489
Automatyczne pobieranie danych	495
Przechowywanie przekształconych wierzchołków — przekształcenie zwrotne	500
Przekształcenie zwrotne	501
Wyłączanie rasteryzacji	506
Liczenie wierzchołków przy użyciu zapytań obiektów podstawowych	507
Wykorzystanie wyników zapytania obiektów podstawowych	508
Przykład zastosowania przekształcenia zwrotnego	509

Przycinanie i rysowanie tego, co się chce	518
Definiowanie własnych płaszczyzn obcinania	519
Synchronizacja rysowania	523
Podsumowanie	527

Część III OpenGL na różnych platformach 529

Rozdział 13. OpenGL w systemie Windows 531

Implementacje OpenGL w systemie Windows	532
OpenGL firmy Microsoft	533
Nowoczesne sterowniki graficzne	533
Rozszerzenia OpenGL	534
Rozszerzenia WGL	536
Podstawy renderowania w systemie Windows	537
Konteksty urządzenia GDI	538
Formaty pikseli	539
Kontekst renderingu OpenGL	547
Konsolidacja wiadomości	550
Tworzenie okna	550
Rendering pełnoekranowy	555
Podwójne buforowanie	556
Zapobieganie poszarpaniu obrazu	557
Podsumowanie	557

Rozdział 14. OpenGL w systemie Mac OS X 559

Cztery twarze OpenGL w systemie Mac	560
Biblioteka OpenGL i interfejs Cocoa	561
Tworzenie programu Cocoa	561
Składanie wszystkiego razem	566
Buforowanie pojedyncze czy podwójne	568
Program SphereWorld	569
Renderowanie pełnoekranowe	573
Renderowanie pełnoekranowe w Cocoa	574
CGL	581
Synchronizacja szybkości klatek	581
Przyspieszanie operacji wypełniania	582
Wielowątkowość w OpenGL	583
Podsumowanie	583

Rozdział 15. OpenGL w Linuksie 585

Wiadomości podstawowe	586
Rys historyczny	586
Co to jest X	586
Zacznymy	587
Sprawdzanie obsługi OpenGL	587
Konfiguracja Mesy	588
Konfiguracja sterowników sprzętowych	589

Konfiguracja bibliotek GLUT i GLEW	589
Budowa aplikacji OpenGL	590
GLX — łączenie z X Windows	591
Ekran i X Windows	592
Zarządzanie konfiguracjami i obiektami widoku	592
Okna i powierzchnie renderingu	595
Rozszerzanie OpenGL i GLX	597
Zarządzanie kontekstem	597
Synchronizacja	601
Zapytania GLX	602
Składanie aplikacji	602
Podsumowanie	605
Rozdział 16. OpenGL ES w urządzeniach przenośnych	607
OpenGL na diecie	608
Do czego służy ES	608
Rys historyczny	609
Wybór wersji	611
ES 2.0	611
Środowisko układów wbudowanych	615
Kwestie projektowe	616
Rozwiązywanie problemów z ograniczeniami	616
Działania na liczbach stałoprzecinkowych	617
EGL — nowe środowisko okienkowe	619
Ekran EGL	619
Tworzenie okna	621
Zarządzanie kontekstem	625
Prezentowanie buforów i synchronizacja renderowania	626
Jeszcze trochę o EGL	627
Środowiska układów wbudowanych	628
Popularne systemy operacyjne	628
Rozszerzenia producentów	628
Dla domowego rzemieślnika	628
Platformy przenośne firmy Apple	629
Tworzenie projektu aplikacji dla iPhone'a	629
Przeziadka na iPhone'a	633
Podsumowanie	640
Dodatki	641
Dodatek A Dalsza lektura	643
Dodatek B Słowniczek	647
Skorowidz	653

Rozdział 6. Myślenie niekonwencjonalne — programy do cieniowania

Autor: Richard S. Wright, Jr



Po raz pierwszy ze shaderami spotkaliśmy się w rozdziale 3., w którym opisane zostały podstawowe techniki renderowania. Osoby, które ten rozdział pominęły, aby od razu przejść do pisania shaderów, powinny w razie potrzeby do niego wrócić i dokładnie zapoznać się z atrybutami i danymi typu `uniform` oraz sposobami ich przekazywania do shadera z kodu klienckiego. W tamtym rozdziale w kręgu naszych zainteresowań była wyłącznie strona kliencka. Użyliśmy też niektórych standardowych shaderów oraz kilku typowych funkcji i procedur renderujących. Na początku tego rozdziału można będzie pogłębić swą wiedzę na temat pracy po stronie klienckiej, a następnie pokażemy, jak pisać własne shadery, czyli serwerową część procesu renderowania. W tym celu należy zapoznać się z językiem do pisania programów do cieniowania, czyli shaderów.

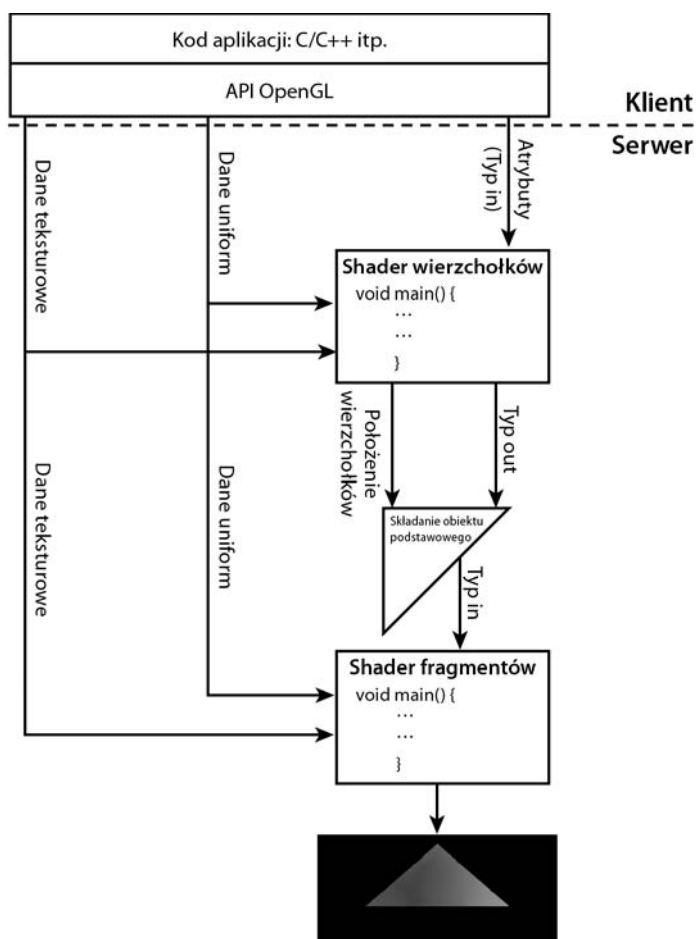
GLSL 101

OpenGL Shading Language (GLSL) to wysokopoziomowy język programowania podobny do języka C. Napisane w nim programy podlegają kompilacji i konsolidacji przez implementację OpenGL i najczęściej w całości działają na sprzęcie graficznym. Kod shaderów wygląda podobnie do programów w języku C. Ich wykonywanie zaczyna się od funkcji `main` oraz można w nich pisać funkcje pobierające argumenty i zwracające wartości. Poniższy rysunek 6.1 to kopia rysunku 3.1 z rozdziału 3., przedstawiająca podstawowe cechy architektury shadera.

Jak wynika z powyższego schematu, zawsze potrzebne będą nam przynajmniej dwa shadery — wierzchołków i fragmentów. Trzeci rodzaj shadera, który również może być potrzebny, to tzw. shader geometrii, ale jego szczegółowy opis odłożymy do rozdziału 11. „Programy cieniujące — techniki zaawansowane”. Dane do shadera wierzchołków można przesyłać na trzy sposoby — jako atrybuty, czyli elementy danych dotyczące poszczególnych wierzchołków; dane rodzaju `uniform`, które są takie same dla całej porcji danych wierzchołkowych; oraz jako tekstury, o których szerzej pisaliśmy w rozdziale 5. Dane `uniform` i teksturowe można także przesyłać do shadera fragmentów. Nie ma natomiast sensu wysyłać do tego shadera atrybutów wierzchołków, ponieważ służy on tylko do wypełniania fragmentów (pikseli) po rasteryzacji danego obiektu podstawowego. Dane wierzchołkowe mogą natomiast być przesyłane do shadera fragmentów przez program wierzchołkowy. Wówczas jednak dane takie mogą być stałe (każdy fragment dysponuje taką samą wartością) lub wartości mogą być interpolowane na różne sposoby na powierzchni obiektu.

Kod shaderów jest bardzo podobny do kodu programów w języku C. Wykonywanie zaczyna się od funkcji `main`, obowiązują takie same konwencje stosowania komentarzy i taki sam zestaw znaków oraz używa się wielu takich samych dyrektyw preprocesora. Pełną specyfikację języka można znaleźć w dokumencie OpenGL Shading Language Specification. Wskazówki, jak znaleźć tę specyfikację, zamieszczono w dodatku A. Są tam wymienione przydatne adresy internetowe oraz inne wartościowe źródła i kursy uzupełniające. Przyjmujemy założenie, że znasz już języki C i C++, i dlatego będziemy opisywać język GLSL z perspektywy programisty tych języków.

Rysunek 6.1.
Schemat architektury
shadera



Zmienne i typy danych

Naukę języka GLSL dobrze jest rozpocząć od zapoznania się z dostępnymi w nim typami danych. Są cztery typy: liczby całkowite (ze znakiem i bez znaku), liczby zmiennoprzecinkowe (od OpenGL 3.3 tylko pojedynczej precyzji) oraz wartości logiczne (bool). W GLSL nie ma wskaźników ani typów łańcuchowych i znakowych. Funkcje mogą zwracać wartości dowolnego z dostępnych typów lub nie zwracać nic, jeśli zostaną zadeklarowane jako void, ale niedozwolone jest stosowanie wskaźników void. Sposób użycia typów danych GLSL jest podobny do sposobu ich użycia w językach C i C++.

```
bool bDone = false;           // Wartość logiczna: true lub false
int iValue = 42;              // Liczba całkowita ze znakiem
uint uiValue = 3929u;         // Liczba całkowita bez znaku
float fValue = 42.0f;         // Wartość zmiennoprzecinkowa
```

Typy wektorowe

Jedną z najbardziej interesujących rzeczy dostępnych w GLSL, a której nie ma w C i C++, są wektorowe typy danych. Wartości każdego z czterech podstawowych typów danych można przechowywać w dwu-, trzy- lub czterowymiarowych wektorach. Pełną listę wektorowych typów danych przedstawia tabela 6.1.

Tabela 6.1. Wektorowe typy danych języka GLSL

Typ	Opis
<code>vec2</code> , <code>vec3</code> , <code>vec4</code>	Dwu-, trzy- i czterokładnikowy wektor wartości zmiennoprzecinkowych
<code>ivec2</code> , <code>ivec3</code> , <code>ivec4</code>	Dwu-, trzy- i czterokładnikowy wektor wartości całkowitoliczbowych
<code>uvec2</code> , <code>uvec3</code> , <code>uvec4</code>	Dwu-, trzy- i czterokładnikowy wektor wartości całkowitoliczbowych bez znaku
<code>bvec2</code> , <code>bvec3</code> , <code>bvec4</code>	Dwu-, trzy- i czterokładnikowy wektor wartości logicznych

Zmienne typu wektorowego deklaruje się tak samo, jak wszystkie inne rodzaje zmiennych. Poniższa instrukcja deklaruje położenie wierzchołka w postaci czterokładnikowego wektora wartości zmiennoprzecinkowych:

```
vec4 vVertexPos;
```

Wektor można także zainicjalizować przy użyciu konstruktora:

```
vec4 vVertexPos = vec4(39.0f, 10.0f, 0.0f, 1.0f);
```

Nie należy jednak tego sposobu inicjalizacji mylić z konstruktorem klasy w języku C++. Wektorowe typy danych w języku GLSL nie są klasami, lecz typami wbudowanymi. Wektory można przypisywać jeden do drugiego, dodawać, skalować przez wartości skalarne (nie wektorowe) itd.

```
vVertexPos = vOldPos + vOffset;
vVertexPos = vNewPos;
vVertexPos += vec4(1.0f, 1.0f, 0.0f, 0.0f);
vVertexPos *= 5.0f;
```

Kolejną niezwykłą cechą języka GLSL jest sposób odwoływania się do poszczególnych elementów wektora. Jeśli wiesz, co to takiego konstrukcja `union` w języku C++, wektory możesz sobie wyobrazić jako unie na steroidach. W celu odwołania się do elementów wektora można użyć kropki albo dowolnego z trzech zestawów identyfikatorów: `xyzw`, `rgba` oraz `stpq`. Podczas pracy z typami wektorowymi najczęściej używamy identyfikatorów `xyzw`.

```
vVertexPos.x = 3.0f;
vVertexPos.xy = vec2(3.0f, 5.0f);
vVertexPos.xyz = vNewPos.xyz;
```

Podczas pracy z kolorami korzystamy z identyfikatorów `rgba`.

```
vOutputColor.r = 1.0f;
vOutputColor.rgba = vec4(1.0f, 1.0f, 0.5f, 1.0f);
```

Identyfikatorów `stpq` używany w pracy ze współrzędnymi tekstur.

```
vTexCoord.st = vec2(1.0f, 0.0f);
```

Dla języka GLSL nie ma znaczenia, którego zestawu identyfikatorów użyjemy, tzn. nie ma żadnego błędu w poniższej instrukcji:

```
vTexCoord.st = vVertex.st;
```

Nie można natomiast mieszać różnych zestawów w jednej operacji dostępu do wektora:

```
vTexCoord.st = vVertex.xt; // Nie można użyć jednocześnie x i t!
```

Wektorowe typy danych obsługują również technikę transformacji o nazwie **swizzling**. Polega ona na zamianie miejscami dwóch lub większej liczby elementów wektora. Może się to np. przydać do zamiany danych kolorów w formacie RGB na BGR:

```
vNewColor.bgra = vOldColor.rgba;
```

Wektorowe typy danych są typami rodzimymi nie tylko języka GLSL, lecz również sprzętu. Są szybkie, a operacje wykonywane są na wszystkich czterech składnikach naraz. Na przykład poniższa operacja:

```
vVertex.x = vOtherVertex.x + 5.0f;
vVertex.y = vOtherVertex.y + 4.0f;
vVertex.z = vOtherVertex.z + 1.0f;
```

zostałaby wykonana znacznie szybciej, gdyby użyto rodzimej notacji wektorowej:

```
vVertex.xyz = vOtherVertex.xyz + vec3(5.0f, 4.0f, 1.0f);
```

Typy macierzowe

Oprócz typów wektorowych, język GLSL obsługuje kilka typów macierzowych. Jednak w przeciwieństwie do tych pierwszych, typy macierzowe obsługują tylko wartości zmiennoprzecinkowe. Nie można tworzyć macierzy wartości typu całkowitoliczbowego ani logicznych, ponieważ nie mają one praktycznego zastosowania. W tabeli 6.2 znajduje się lista dostępnych typów macierzowych.

Macierz w języku GLSL to w istocie tablica wektorów kolumnowych (może warto sobie w tym momencie powtórzyć wiadomości o porządku kolumnowym macierzy z rozdziału 4. „Podstawy przekształceń geometrycznych. Najważniejsze informacje o wektorach i macierzach”). Aby na przykład ustawić ostatnią kolumnę macierzy 4×4, można zastosować następujący kod:

```
mModelView[3] = vec4(0.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f);
```

Aby pobrać ostatnią kolumnę macierzy:

```
vec4 vTranslation = mModelView[3];
```

Jeszcze precyzyjniejsze zapytanie:

```
vec3 vTranslation = mModelView[3].xyz;
```


Tabela 6.2. Typy macierzowe języka GLSL

Typ	Opis
mat2, mat2x2	Dwie kolumny i dwa wiersze
mat3, mat3x3	Trzy kolumny i trzy wiersze
mat4, mat4x4	Cztery kolumny i cztery wiersze
mat2x3	Dwie kolumny i trzy wiersze
mat2x4	Dwie kolumny i cztery wiersze
mat3x2	Trzy kolumny i dwa wiersze
mat3x4	Trzy kolumny i cztery wiersze
mat4x2	Cztery kolumny i dwa wiersze
mat4x3	Cztery kolumny i trzy wiersze

Macierze można także mnożyć przez wektory. Działanie takie często wykonuje się w celu przekształcenia wierzchołka przez macierz rzutowania model-widok:

```
vec4 vVertex;
mat4.mvpMatrix;
...
...
vOutPos =.mvpMatrix * vVertex;
```

Typy macierzowe, podobnie jak wektory, mają również swoje konstruktory. Aby na przykład wpisać bezpośrednio do kodu macierz 4×4, można napisać poniższą instrukcję:

```
mat4 vTransform = mat4(1.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f,
                      0.0f, 1.0f, 0.0f, 0.0f,
                      0.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f,
                      0.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f);
```

Jako macierz przekształcenia zastosowaliśmy macierz jednostkową. Można także użyć szybszego konstruktora macierzy wypełniającego tylko przekątną jedną wartością.

```
mat4 vTransform = mat4(1.0f);
```

Kwalifikatory zmiennych

Deklaracje zmiennych shadera można rozszerzyć o pewne kwalifikatory służące do określania ich jako zmiennych wejściowych (`in` i `uniform`), wyjściowych (`out`) lub stałych (`const`). Zmienne wejściowe odbierają dane od klienta OpenGL (atrybuty przesyłane poprzez C lub C++) lub z poprzedniego etapu pracy shadera (np. zmienne przekazywane przez shadera wierzchołków do shadera fragmentów). Zmienne wyjściowe służą do zapisywania na dowolnym etapie pracy

wartości, które chcemy udostępnić w następnych etapach, np. w celu przekazania danych z shadera wierzchołków do shadera fragmentów albo zapisania ostatecznej wartości koloru przez shader fragmentów. W tabeli 6.3 zostały zebrane główne kwalifikatory zmiennych.

Tabela 6.3. Kwalifikatory zmiennych

Kwalifikator	Opis
<brak>	Zwykła zmienna lokalna niedostępna i niewidoczna na zewnątrz
const	Stała czasu kompilacji lub parametr tylko do odczytu funkcji
in	Zmienna przekazana z poprzedniego etapu
in centroid	Zmienna przekazana z poprzedniego stanu, stosuje interpolację środkową
out	Zmienna przekazywana do następnego etapu przetwarzania lub przechowująca wartość zwrótną funkcji
out centroid	Zmienna przekazywana do następnego etapu przetwarzania, stosuje interpolację środkową
inout	Zmienna do odczytu i zapisu. Dozwolona tylko jako parametr funkcji lokalnej
uniform	Wartość przekazywana od klienta, taka sama dla wszystkich wierzchołków

Kwalifikatora `inout` można używać tylko do deklarowania parametrów funkcji. Ponieważ język GLSL nie obsługuje wskaźników (czyli referencji), kwalifikator ten stanowi jedyny sposób na przekazanie wartości do funkcji i umożliwienie jej zmodyfikowania i zwrócenia wartości zmiennej. Na przykład funkcja zadeklarowana poniżej:

```
int CalculateSomething(float fTime, float fStepSize, inout float fVariance);
```

zwróciłaby wartość całkowitoliczbową (np. znacznik powodzenia lub niepowodzenia) i dodatkowo mogłaby zmodyfikować wartość zmiennej `fVariance`, a kod wywołujący mógłby odczytać również tę jej nową wartość. Aby umożliwić modyfikowanie parametru w językach C i C++, można by było zadeklarować tę funkcję przy użyciu wskaźnika:

```
int CalculateSomething(float fTime, float fStepSize, float* fVariance);
```

Kwalifikator `centroid` działa wyłącznie w przypadku renderowania buforów wielopróbkowanych. W buforze o pojedynczym próbkowaniu interpolację wykonuje się zawsze od środka piksela. W przypadku wielopróbkowania, gdy zostanie użyty kwalifikator `centroid`, wartość interpolowana wypada w obrębie zarówno obiektu podstawowego, jak i piksela. Więcej na temat wielopróbkowania piszemy w rozdziale 9. „Buforowanie — techniki zaawansowane”.

Domyślnie parametry są interpolowane między etapami shaderów w sposób odpowiedni dla perspektywy. Można zastosować interpolację nieperspektywiczną za pomocą słowa kluczowego `noperspective`, a nawet całkiem ją wyłączyć za pomocą słowa `flat`. Można także użyć słowa kluczowego `smooth`, aby bezpośrednio zaznaczyć, że zmienna jest płynnie interpolowana w sposób perspektywiczny, ale to jest i tak działanie domyślne. Poniżej znajduje się kilka przykładowych deklaracji:

```
smooth out vec3 vSmoothValue;
flat out vec3 vFlatColor;
noperspective float vLinearlySmoothed;
```

Prawdziwy shader

Nadszedł czas, aby w końcu przyjrzeć się prawdziwej parze shaderów, które robią coś użytecznego. W klasie `GLShaderManager` znajduje się standardowy shader nazywany shaderem jednostkowym. Nie stosuje on żadnych przekształceń geometrii i rysuje obiekty podstawowe wypełnione tylko jednym kolorem. To wydaje się nieco zbyt mało. Rozbudujemy go zatem trochę, aby zobaczyć, jak się cieniuje obiekty podstawowe, takie jak np. trójkąt, stosując inną wartość koloru dla każdego wierzchołka. Na listingu 6.1 przedstawiony jest kod shadera wierzchołków, a na listingu 6.2 — shadera fragmentów.

Listing 6.1. Shader wierzchołków `ShadedIdentity`

```
// Shader ShadedIdentity
// Shader wierzchołków
// Richard S. Wright Jr
// OpenGL. Księga eksperta
#version 330

in vec4 vVertex;           // Atrybut położenia wierzchołka
in vec4 vColor;           // Atrybut koloru wierzchołka

out vec4 vVaryingColor;   // Wartość koloru przekazywana do shadera fragmentów

void main(void)
{
    vVaryingColor = vColor; // Kopiowanie wartości koloru
    gl_Position = vVertex;  // Przekazanie dalej położenia wierzchołka
}
```

Listing 6.2. Shader fragmentów `ShadedIdentity`

```
// Shader ShadedIdentity
// Shader fragmentów
// Richard S. Wright Jr
// OpenGL. Księga eksperta
#version 330

out vec4 vFragColor;      // Kolor fragmentu do rasteryzacji
in vec4 vVaryingColor;   // Kolor przychodzący od shadera wierzchołków

void main(void)
{
    vFragColor = vVaryingColor; // Kolor interpolowany na fragment
}
```

Wersje języka GLSL

Pierwszy wiersz niebędący komentarzem w każdym shaderze to określenie wersji języka:

```
#version 330
```

To oznacza, że niniejszy shader wymaga przynajmniej wersji 3.3 języka GLSL. Jeśli sterownik OpenGL jej nie obsługuje, shadera nie uda się skompilować. W OpenGL 3.2 wprowadzono język GLSL 1.5, w OpenGL 3.1 — GLSL 1.4, a w OpenGL 3.0 — GLSL 1.3. Trudno się połączyć? Nie tylko Tobie. Dlatego rada ARB zdecydowała, że od OpenGL 3.3 numer wersji języka GLSL będzie odpowiadał wersji biblioteki. Wersja 4.0 biblioteki OpenGL została opublikowana w tym samym czasie, co wersja 3.3, i odpowiadający jej język GLSL ma również numer 4.0. Konstrukcja wymagająca wersji 4.0 GLSL wyglądałaby następująco:

```
#version 400
```

Jeśli zajrzysz do kodu shaderów standardowych w bibliotece GLTools, nie znajdziesz w nich takiej informacji o wersji języka. Biblioteka ta jest przeznaczona do pracy z profilem zgodnościowym i zastosowano w niej starsze konwencje z GLSL 1.1. W istocie biblioteka ta współpracuje ze sterownikami OpenGL nawet w wersji 2.1. Pamiętajmy, że stanowi ona tylko pomoc w rozpoczęciu korzystania z biblioteki OpenGL.

Deklaracje atrybutów

Atrybuty są określane dla poszczególnych wierzchołków przez kliencki kod C/C++. W naszym shaderze wierzchołków zostały one zadeklarowane przy użyciu specyfikatora `in`.

```
in vec4 vVertex;
in vec4 vColor;
```

Dwie powyższe instrukcje deklarują dwa atrybuty wejściowe, czteroskładnikowe położenie wierzchołka oraz czteroskładnikową wartość koloru wierzchołka. Shader ten jest wykorzystywany przez program `ShadedTriangle`. Przy użyciu klasy `GLBatch` utworzyliśmy trzy położenia wierzchołków i trzy wartości kolorów. Jak klasa `GLBatch` przekazuje te wartości do shadera, dowiesz się w podrozdziale „Kompilowanie, wiązanie i konsolidowanie”. Przypomnijmy z rozdziału 3., że w języku GLSL można mieć maksymalnie 16 atrybutów w programie wierzchołkowym. *Ponadto każdy atrybut jest zawsze czteroskładnikowym wektorem, nawet jeśli nie wszystkich składników używamy.* Gdybyśmy na przykład wewnętrznie wyznaczyli jako atrybut tylko jedną wartość typu `float`, i tak zajęłaby ona przestrzeń czterech wartości zmiennoprzecinkowych.

Dodatkową rzeczą do zapamiętania jest fakt, że zmienne oznaczone jako `in` są przeznaczone tylko do odczytu. Może się wydawać sprytnym rozwiązaniem ponowne użycie nazwy zmiennej w jakichś pośrednich obliczeniach w shaderze, ale kompilator GLSL w sterowniku zgłosiłby w takiej sytuacji błąd.

Deklarowanie danych wyjściowych

Dalej zadeklarowaliśmy jedną zmienną wyjściową, będącą również czteroskładnikowym wektorem liczb zmiennoprzecinkowych.

```
out vec4 vVaryingColor;
```

Zmienna ta będzie określać wartość koloru wierzchołka, który ma zostać przekazany do shadera fragmentów. W shaderze fragmentów musi ona zostać zadeklarowana jako `in`, aby nie został zwrócony błąd konsolidatora podczas kompilacji i konsolidacji shaderów.

Gdy w shaderze wierzchołków zmienna zostanie zadeklarowana jako `out`, a w shaderze fragmentów jako `in`, shader fragmentów odbierze ją jako wartość interpolowaną. Domyślnie interpolacja ta jest wykonywana zgodnie z perspektywą. Aby mieć pewność, że tak się stanie, można przed zmienną wstawić dodatkowy specyfikator `smooth`. Można także zastosować specyfikator `flat`, aby wyłączyć interpolację, lub `noperspective`, aby zastosować prostą interpolację liniową między wartościami. Podczas używania słowa kluczowego `flat` trzeba wziąć pod uwagę pewne dodatkowe fakty, o których szerzej piszemy w podrozdziale „Wierzchołek prowokujący”.

Przetwarzanie wierzchołków

Dochodzimy do głównej części naszego shadera wierzchołków, która jest wykonywana jeden raz dla każdego wierzchołka w porcji danych.

```
void main(void)
{
    vVaryingColor = vColor;
    gl_Position = vVertex;
}
```

Ten kod jest bardzo prosty. Przypisaliśmy przychodzący atrybut koloru do wychodzącej wartości interpolowanej i przypisaliśmy przychodzącą wartość wierzchołka bezpośrednio do zmiennej `gl_Position` bez transformacji. Zmienna `gl_Position` to wbudowany czteroskładnikowy wektor zawierający wymagany wynik shadera wierzchołków. Wartości z tej zmiennej są wykorzystywane na etapie składania geometrii do tworzenia obiektu podstawowego. Pamiętajmy, że ponieważ nie wykonujemy żadnych dodatkowych przekształceń, nasz wierzchołek zostanie odwzorowany na kartezjański układ współrzędnych o zakresie wartości od $-1,0$ do $1,0$ na wszystkich trzech osiach.

Przetwarzanie fragmentów

Teraz przechodzimy do shadera fragmentów. W przypadku renderowania obiektu podstawowego, takiego jak trójkąt, najpierw wierzchołki są przetwarzane przez shader wierzchołków, później są one składane w trójkąt, a następnie rasteryzowane przez sprzęt. Urządzenie określa położenie poszczególnych fragmentów na ekranie (a mówiąc dokładniej — w buforze kolorów), a następnie dla każdego z nich (jeśli nie jest stosowane wielopróbkowanie, fragment odpowiada pikselowi) wywołuje egzemplarz shadera fragmentów. Kolor zwracany przez naszego shadera fragmentów to czteroskładnikowy wektor liczb zmiennoprzecinkowych, który deklarujemy następująco:

```
out vec4 vFragColor;
```

Jeśli shader fragmentów zwraca tylko jedną wartość, jest ona wewnętrznie określana jako „wartość wyjściowa zero”. Jest to pierwszy wynik shadera fragmentów, który następnie zostaje wysłany do bufora ustawionego przez funkcję `glDrawBuffers`. Domyślnym buforem jest `GL_BACK`, czyli tylny bufor koloru (oczywiście w kontekstach z podwójnym buforowaniem). Często zdarza się tak, że bufor koloru nie zawiera czterech składników zmiennoprzecinkowych i wówczas wartości wyjściowe są rzutowane na zakres bufora docelowego. W większości przypadków mogą to być np. cztery bajty bez znaku (o wartościach od 0 do 255). Moglibyśmy także zwrócić wartości całkowitoliczbowe przy użyciu typu wektorowego `ivec4` i również one zostałyby odwzorowane na zakres bufora kolorów. Możliwe jest także zwrócenie czegoś więcej niż tylko wartość koloru, jak również zapisywanie danych w kilku buforach jednocześnie. Te techniki jednak wykraczają daleko poza zakres tego wstępnego rozdziału.

Do shadera fragmentów zostaje przesłana płynnie interpolowana wartość koloru pochodząca z shadera wierzchołków. Deklaruje się ją jako zmienną z kwalifikatorem `in`:

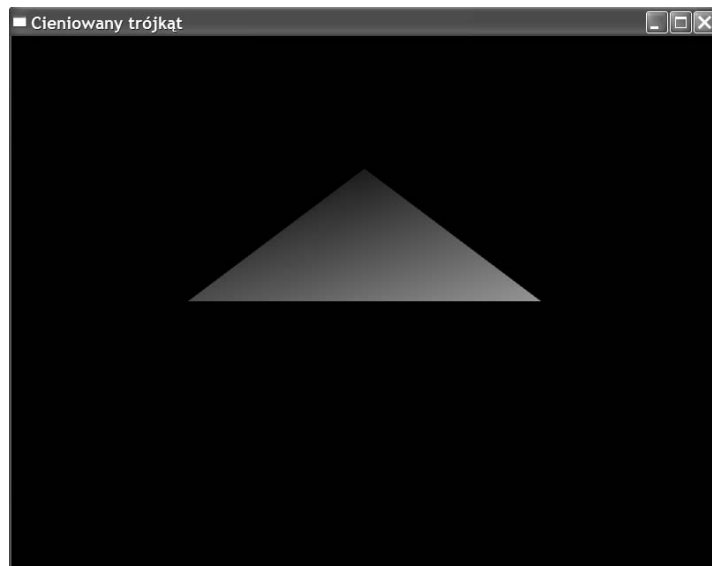
```
in vec4 vVaryingColor;
```

Główna część shadera fragmentów jest jeszcze prostsza niż shadera wierzchołków. Przypisujemy w niej otrzymaną wartość koloru bezpośrednio do koloru fragmentu.

```
void main(void)
{
    vFragColor = vVaryingColor;
}
```

Efekt działania tego shadera przedstawia rysunek 6.2.

Rysunek 6.2.
Wynik działania programu `ShadedTriangle`



Kompilowanie, wiązanie i konsolidowanie

Opisaliśmy zasadę działania prostego shadera, więc teraz powinniśmy dowiedzieć się, jak jest on kompilowany i konsolidowany w celu przygotowania do użytku w OpenGL. Kod źródłowy shadera jest przekazywany sterownikowi, kompilowany, a następnie konsolidowany, tak jak każdy typowy program w językach C i C++. Dodatkowo konieczne jest **powiązanie** nazw atrybutów z shadera z jednym z 16 gniazd atrybutów alokowanych i udostępnianych przez GLSL. Po drodze sprawdzamy błędy i nawet otrzymujemy informacje diagnostyczne od sterownika, jeśli próba skompilowania projektu się nie powiedzie.

API OpenGL nie obsługuje żadnych operacji wejścia i wyjścia na plikach. Programista musi sam zdobyć kod źródłowy swoich shaderów w najbardziej odpowiadający mu sposób. Jedną z najprostszycy metod jest zapisanie tego kodu w plikach tekstowych ASCII. Wówczas kod źródłowy można z takich plików pobrać za pomocą typowych funkcji systemu plików. Podejście to zastosowaliśmy w naszym przykładzie. Zastosowaliśmy również konwencję, według której plikom shaderów wierzchołków nadaje się rozszerzenie *.vp*, a plikom shaderów fragmentów — *.fp*. Innym rozwiązaniem jest zapisanie tekstów w postaci tablic znaków wbudowanych w kod C lub C++. Jednak tak zapisany kod trudno się modyfikuje i mimo iż cały kod znajduje się w jednym miejscu, zmienianie shaderów i eksperymentowanie z kodem źródłowym jest utrudnione. Oczywiście kod shaderów można także generować za pomocą specjalnych algorytmów, a nawet pobierać go z bazy danych albo pliku zaszyfrowanego. Te metody mogą być bardzo przydatne, gdy będziemy chcieli przesyłać gdzieś nasze aplikacje, ale w zastosowaniach edukacyjnych nic nie przebije zwykłych plików tekstowych.

Funkcja `glLoadShaderPairWithAttributes` to prawdziwy kombajn do wczytywania i inicjalizowania shaderów. Jej kod przedstawia listing 6.3. Na podstawie jego analizy przestudiujemy proces wczytywania shadera.

Listing 6.3. Funkcja `glLoadShaderPairWithAttributes`

```

////////////////////////////////////
// Wczytuje parę shaderów oraz je kompiluje i łączy.
// Podaj kod źródłowy każdego shadera. Następnie
// podaj nazwy tych shaderów, określ liczbę atrybutów
// oraz podaj indeks i nazwę każdego atrybutu.
GLuint glLoadShaderPairWithAttributes(const char *szVertexProg,
                                     const char *szFragmentProg, ...)
{
    // Tymczasowe obiekty shadera
    GLuint hVertexShader;
    GLuint hFragmentShader;
    GLuint hReturn = 0;
    GLint testVal;

    // Tworzenie obiektów shadera
    hVertexShader = glCreateShader(GL_VERTEX_SHADER);
    hFragmentShader = glCreateShader(GL_FRAGMENT_SHADER);

```

```
// Ładowanie obiektów. W razie niepowodzenia należy wszystko usunąć i zwrócić wartość NULL
// Shader wierzchołków
if (glLoadShaderFile(szVertexProg, hVertexShader) == false)
{
    glDeleteShader(hVertexShader);
    glDeleteShader(hFragmentShader);
    cout << "Shader " << szVertexProg
         << " nie został znaleziony.\n";
    return (GLuint)NULL;
}

// Shader fragmentów
if (glLoadShaderFile(szFragmentProg, hFragmentShader) == false)
{
    glDeleteShader(hVertexShader);
    glDeleteShader(hFragmentShader);
    cout << "Shader " << szFragmentProg
         << " nie został znaleziony.\n";
    return (GLuint)NULL;
}

// Kompilacja shaderów
glCompileShader(hVertexShader);
glCompileShader(hFragmentShader);

// Sprawdzanie błędów w shaderze wierzchołków
glGetShaderiv(hVertexShader, GL_COMPILE_STATUS, &testVal);
if (testVal == GL_FALSE)
{
    char infoLog[1024];
    glGetShaderInfoLog(hVertexShader, 1024, NULL, infoLog);
    cout << "Kompilacja shadera " << szVertexProg
         << " nie powiodła się. Błąd:\n"
         << infoLog << "\n";
    glDeleteShader(hVertexShader);
    glDeleteShader(hFragmentShader);
    return (GLuint)NULL;
}

// Sprawdzanie błędów w shaderze fragmentów
glGetShaderiv(hFragmentShader, GL_COMPILE_STATUS, &testVal);
if (testVal == GL_FALSE)
{
    char infoLog[1024];
    glGetShaderInfoLog(hFragmentShader, 1024, NULL, infoLog);
    cout << "Kompilacja shadera " << hFragmentShader
         << " nie powiodła się. Błąd:\n"
         << infoLog << "\n";
    glDeleteShader(hVertexShader);
    glDeleteShader(hFragmentShader);
    return (GLuint)NULL;
}

// Tworzenie finalnego obiektu programu i dołączenie shaderów
hReturn = glCreateProgram();
```



```

    glAttachShader(hReturn, hVertexShader);
    glAttachShader(hReturn, hFragmentShader);

    // Teraz musimy powiązać nazwy atrybutów z odpowiadającymi im lokalizacjami
    // Lista atrybutów
    va_list attributeList;
    va_start(attributeList, szFragmentProg);

    // Iteracja przez listę argumentów
    char *szNextArg;
    int iArgCount = va_arg(attributeList, int);    // Liczba atrybutów
    for(int i = 0; i < iArgCount; i++)
    {
        int index = va_arg(attributeList, int);
        szNextArg = va_arg(attributeList, char*);
        glBindAttribLocation(hReturn, index, szNextArg);
    }
    va_end(attributeList);

    // Próba konsolidacji
    glLinkProgram(hReturn);

    // Te już nie są potrzebne
    glDeleteShader(hVertexShader);
    glDeleteShader(hFragmentShader);

    // Sprawdzenie, czy konsolidacja się udała
    glGetProgramiv(hReturn, GL_LINK_STATUS, &testVal);
    if(testVal == GL_FALSE)
    {
        char infoLog[1024];
        glGetProgramInfoLog(hReturn, 1024, NULL, infoLog);
        cout << "Konsolidacja programu " << hReturn
              << " nie powiodła się. Błąd:\n"
              << infoLog << "\n";
        glDeleteProgram(hReturn);
        return (GLuint)NULL;
    }

    // Wszystko zrobione. Zwrócenie shadera gotowego do użytku
    return hReturn;
}

```

Określanie atrybutów

W prototypie funkcji widać, że pobiera ona nazwę pliku shadera wierzchołków i shadera fragmentów oraz mogącą się zmieniać liczbę parametrów określających atrybuty.

```

GLuint gltLoadShaderPairWithAttributes(const char *szVertexProg,
                                       const char *szFragmentProg, ...);

```

Dla osób, które nigdy nie widziały deklaracji funkcji przyjmującej zmienną liczbę parametrów, znajdujące się na końcu listy argumentów trzy kropki mogą wyglądać jak pomyłka w druku.

Inne funkcje języka C pobierające zmienną liczbę argumentów to np. `printf` i `sprintf`. W tej funkcji pierwszy dodatkowy parametr określa liczbę atrybutów znajdujących się w shaderze wierzchołków. Po nim znajduje się wartość indeksu (liczona od zera) pierwszego atrybutu, a następnie nazwa atrybutu w postaci tablicy znaków. Numer gniazda atrybutu i nazwa atrybutu są powtarzane tyle razy, ile potrzeba. Aby na przykład wczytać shader mający atrybuty położenia wierzchołka i normalnej do powierzchni, wywołanie funkcji `glLoadShaderPairWithAttributes` mogłoby wyglądać następująco:

```
hShader = glLoadShaderPairWithAttributes("vertexProg.vp",
                                         "fragmentProg.fp", 2, 0, "vVertexPos", 1, "vNormal");
```

Wartości 0 i 1 jako lokalizacje atrybutów zostały wybrane arbitralnie. Należy tylko pamiętać, aby zawierały się one w przedziale od 0 do 15. Równie dobrze moglibyśmy użyć wartości 7 i 13. Natomiast w klasach biblioteki GLTools `GLBatch` i `GLTriangleBatch` stosowany jest spójny zestaw lokalizacji atrybutów określanych za pomocą następującej instrukcji `typedef`:

```
typedef enum GLT_SHADER_ATTRIBUTE { GLT_ATTRIBUTE_VERTEX = 0,
                                     GLT_ATTRIBUTE_COLOR, GLT_ATTRIBUTE_NORMAL,
                                     GLT_ATTRIBUTE_TEXTURE0, GLT_ATTRIBUTE_TEXTURE1,
                                     GLT_ATTRIBUTE_TEXTURE2, GLT_ATTRIBUTE_TEXTURE3,
                                     GLT_ATTRIBUTE_LAST};
```

Używając tych identyfikatorów lokalizacji atrybutów, można zacząć używać własnych shaderów obok shaderów standardowych dostarczanych w klasie `GLShaderManager`. To również oznacza, że nadal możemy przesyłać geometrię przy użyciu klas `GLBatch` i `GLTriangleBatch`, aż do rozdziału 12. „Zarządzanie geometrią — techniki zaawansowane”, w którym bardziej szczegółowo zajmiemy się technikami przesyłania atrybutów wierzchołków.

Pobieranie kodu źródłowego

Najpierw trzeba utworzyć dwa obiekty shaderów — po jednym dla shadera wierzchołków i shadera fragmentów.

```
hVertexShader = glCreateShader(GL_VERTEX_SHADER);
hFragmentShader = glCreateShader(GL_FRAGMENT_SHADER);
```

Przy użyciu identyfikatorów shaderów możemy wczytać ich kod źródłowy. Pominiemy szczegóły funkcji `glLoadShaderFile`, ponieważ jej głównym zadaniem jest wczytanie tekstu shadera z pliku tekstowego o podanej nazwie, zapisanego na dysku. Gdy już to zostanie zrobione, poniższy kod przesyła kod źródłowy shadera do obiektu shadera. Pamiętaj, że musimy to zrobić dwa razy — raz dla shadera wierzchołków i raz dla shadera fragmentów.

```
GLchar *fsStringPtr[1];

fsStringPtr[0] = (GLchar *)szShaderSrc;
glShaderSource(shader, 1, (const GLchar **)fsStringPtr, NULL);
```

Zmienna `szShaderSrc` to wskaźnik znakowy wskazujący cały tekst shadera. Natomiast `shader` to identyfikator obiektu shadera, który jest wczytywany.

Kompilowanie shaderów

Kompilacja shaderów to prosta operacja polegająca na wywołaniu jednej funkcji dla każdego z nich.

```
glCompileShader(hVertexShader);
glCompileShader(hFragmentShader);
```

W każdej implementacji OpenGL znajduje się wbudowany kompilator języka GLSL dostarczony przez producenta sprzętu. Uznano bowiem, że każdy producent wie najlepiej, jak powinien działać kompilator dla jego sprzętu. Oczywiście, podobnie jak w przypadku każdego programu w językach C i C++, kompilację shadera GLSL może uniemożliwić wiele czynników, takich jak błędy składni czy błędy implementacji itp. Do sprawdzania, czy operacja się powiodła, służy funkcja `glGetShader` z argumentem `GL_COMPILE_STATUS`.

```
glGetShaderiv(hVertexShader, GL_COMPILE_STATUS, &testVal);
```

Jeśli po powrocie funkcji `testVal` ma wartość `GL_FALSE`, oznacza to, że kompilacja się nie powiodła. Gdybyśmy jednak mieli możliwość tylko dowiedzenia się, czy kompilacja została zakończona powodzeniem, czy nie, pisanie shaderów byłoby bardzo trudne. Dlatego w przypadku nieudanej operacji możemy sprawdzić w dzienniku shadera, co takiego się stało — wystarczy wyświetlić jego zawartość za pomocą funkcji `glGetShaderInfoLog`. W funkcji, którą analizujemy, komunikat o błędzie jest wyświetlany w oknie konsoli, po czym następuje usunięcie obiektów shaderów i zwrócenie wartości `NULL`.

```
if(testVal == GL_FALSE)
{
    char infoLog[1024];
    glGetShaderInfoLog(hVertexShader, 1024, NULL, infoLog);
    cout << "Kompilacja shadera " << szVertexProg
        << " nie powiodła się. Błąd:\n"
        << infoLog << "\n";
    glDeleteShader(hVertexShader);
    glDeleteShader(hFragmentShader);
    return (GLuint)NULL;
}
```

Dołączanie i wiązanie

Skompilowanie kodu shaderów to dopiero połowa sukcesu. Zanim przejdziemy do ich konsolidacji, zdobędziemy się na małą dygresję. Najpierw musimy utworzyć finalny obiekt shadera i dołączyć do niego shadery wierzchołków i fragmentów.

```
hReturn = glCreateProgram();
glAttachShader(hReturn, hVertexShader);
glAttachShader(hReturn, hFragmentShader);
```

Teraz shader jest gotowy do konsolidacji. Zanim to jednak zrobimy, musimy zrobić jedną ważną rzecz — związać nazwy zmiennych atrybutów z określonymi numerami ich lokalizacji. Do tego służy funkcja `glBindAttribLocation`. Oto jej prototyp:

```
void glBindAttribLocation(GLuint shaderProg, GLuint attribLocation,
    const GLchar *szAttributeName);
```

Funkcja ta pobiera identyfikator interesującego nas shadera, lokalizację atrybutu, która ma zostać użyta w wiązaniu, oraz nazwę zmiennej atrybutu. Na przykład w shaderach standardowych biblioteki GLTools przyjęliśmy konwencję, że dla zmiennej atrybutu położenia wierzchołka zawsze stosujemy nazwę `vVertex`, a dla lokalizacji atrybutu wartość `GLT_ATTRIBUTE_VERTEX` (wartość 0). Również możesz zastosować taką konwencję.

```
glBindAttribLocation(hShader, GLT_ATTRIBUTE_VERTEX, "vVertex");
```

Wiązanie lokalizacji atrybutów musi zostać wykonane przed konsolidacją. W poniższym kodzie przechodzimy iteracyjnie przez listę argumentów i wywołujemy funkcję dla każdego atrybutu, który chcemy związać.

```
// Iteracja przez listę argumentów
char *szNextArg;
int iArgCount = va_arg(attributeList, int); // Liczba atrybutów
for(int i = 0; i < iArgCount; i++)
{
    int index = va_arg(attributeList, int);
    szNextArg = va_arg(attributeList, char*);
    glBindAttribLocation(hReturn, index, szNextArg);
}
va_end(attributeList);
```

Konsolidacja shaderów

Nadszedł w końcu czas na skonsolidowanie naszych shaderów, po czym będziemy mogli usunąć reprezentujące je obiekty.

```
glLinkProgram(hReturn);

// Te już nie są potrzebne
glDeleteShader(hVertexShader);
glDeleteShader(hFragmentShader);
```

Podobnie jak w przypadku kompilacji, w pomyślnym zakończeniu konsolidacji może przeszkodzić wiele czynników. Stanie się tak na przykład wówczas, gdy w shaderze wierzchołków zadeklarujemy zmienną `out`, a nie zadeklarujemy jej odpowiednika w shaderze fragmentów. Nawet jeśli o tym nie zapomnimy, musimy jeszcze pamiętać, że zmienne te muszą być tego samego typu. Dlatego przed powrotem sprawdzamy błędy i w razie ich wystąpienia wyświetlamy stosowny komunikat diagnostyczny, podobnie jak przy kompilacji.

Teraz nasz shader jest w pełni gotowy do użycia. Powinniśmy jeszcze zaznaczyć, że jeśli utworzymy program cieniujący i zakończymy jego używanie (np. przy zamykaniu programu), powinniśmy go usunąć za pomocą poniższej funkcji.

```
void glDeleteProgram(GLuint program);
```

Praktyczne wykorzystanie shadera

Aby użyć naszego shadera GLSL, część zrobienia tego musimy zakomunikować za pomocą funkcji `glUseProgram`:

```
glUseProgram(myShaderProgram);
```

W ten sposób aktywowaliśmy naszego shadera, dzięki czemu wszystkie nasze obiekty geometryczne będą przetwarzane przez nasze shadery wierzchołków i fragmentów. Dane uniform i teksturowe należy utworzyć przed przesłaniem atrybutów wierzchołków. Jak to zrobić, wyjaśnimy już za chwilę. Natomiast przesyłanie atrybutów wierzchołków to bardzo obszerny temat, który zasługuje na osobne omówienie w rozdziale 12. Na razie pozwolimy zarządzać naszą geometrią klasom `GLBatch` i `GLTriangleBatch`.

W pierwszym przykładowym programie, jaki przedstawiliśmy w tym rozdziale, `ShadedTriangle`, wczytaliśmy trójkąt do egzemplarza klasy `GLBatch` o nazwie `triangleBatch` przy użyciu najprostszego (nazwaliśmy go układem „jednostkowym”) układu współrzędnych:

```
// Wczytywanie trójkąta
GLfloat vVerts[] = { -0.5f, 0.0f, 0.0f,
                    0.5f, 0.0f, 0.0f,
                    0.0f, 0.5f, 0.0f };

GLfloat vColors [] = { 1.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f,
                     0.0f, 1.0f, 0.0f, 1.0f,
                     0.0f, 0.0f, 1.0f, 1.0f };

triangleBatch.Begin(GL_TRIANGLES, 3);
triangleBatch.CopyVertexData3f(vVerts);
triangleBatch.CopyColorData4f(vColors);
triangleBatch.End();

myIdentityShader = glLoadShaderPairWithAttributes("ShadedIdentity.vp",
                                                "ShadedIdentity.fp", 2, GLT_ATTRIBUTE_VERTEX, "vVertex",
                                                GLT_ATTRIBUTE_COLOR, "vColor");
```

Każdemu wierzchołkowi ustawiliśmy inny kolor, odpowiednio czerwony, zielony i niebieski. Na zakończenie załadowaliśmy naszą parę shaderów przy użyciu funkcji `glLoadShaderPairWithAttributes`, z którą już mogłeś się zapoznać. Zauważmy, że mamy dwa zbiory atrybutów — wartości wierzchołków i kolorów — odpowiadające zbiorom danych przesyłanym do klasy `GLBatch`.

Teraz, aby przesłać porcję danych, wystarczy wybrać shader i pozwolić klasie `GLBatch` przekazać nasze atrybuty wierzchołków:

```
glUseProgram(myIdentityShader);
triangleBatch.Draw();
```

Wynik tych wszystkich naszych działań przedstawia rysunek 6.2.

Wierzchołek prowokujący

Program `ShadedTriangle` stanowi znakomity przykład płynnej interpolacji wierzchołków. Dla każdego wierzchołka został zdefiniowany inny kolor, w wyniku czego powstał trójkąt (widoczny na rysunku 6.2), na którym przejścia między kolorami są płynne. Świetnie, prawda? Możemy również przekazywać zmienne z jednego etapu shadera do drugiego jako typ `flat`. Jeśli chcemy, aby jakaś wartość pozostała niezmienna dla całej porcji danych, najlepiej zastosować typ `uniform`, o czym była mowa w rozdziale 3. Czasami jednak chcemy, aby jakaś wartość była niezmienna na całej powierzchni danego obiektu podstawowego, np. trójkąta, ale mogła się zmieniać między różnymi trójkątami. Przesyłanie dużej liczby trójkątów, np. po jednym trójkącie na porcję danych, tak jak w przypadku użycia zmiennych `uniform`, byłoby bardzo nieefektywnym rozwiązaniem. W takich przypadkach najlepiej użyć kwalifikatora `flat`. W shaderze `ShadedTriangle.vp` płynnie cieniowana wychodząca wartość koloru jest zadeklarowana następująco:

```
out vec4 vVaryingColor;
```

Gdybyśmy jednak do jej deklaracji dodali kwalifikator `flat` (i nie zapomnieli wprowadzić odpowiedniej poprawki w shaderze fragmentów), trójkąt miałby kolor niebieski.

```
flat out vec4 vFlatColor;
```

W przypadku, gdy dla każdego wierzchołka obiektu zdefiniowana jest inna wartość zapisana w płasko cieniowanej zmiennej, tylko jedna z nich może zostać zastosowana. Standardowo w takich przypadkach stosowana jest wartość ostatniego z wierzchołków, a więc w tym przypadku trójkąt będzie miał kolor niebieski. Konwencja ta nosi nazwę **wierzchołka prowokującego** (ang. *provoking vertex*). Poniższa funkcja pozwala zmienić ten sposób działania z ostatniego wierzchołka na pierwszy:

```
void glProvokingVertex(GLenum provokeMode);
```

Funkcja `provokeMode` przyjmuje wartości `GL_FIRST_VERTEX_CONVENTION` i `GL_LAST_VERTEX_CONVENTIONS` (domyślna).

Jak to działa, można zobaczyć w programie `ProvokingVertex`, który stanowi nieznacznie zmodyfikowaną wersję programu `ShadedTriangle`. Naciśnięciem spacji można zmienić konwencję, co z kolei spowoduje zmianę koloru trójkąta.

Dane uniform shadera

Podczas gdy atrybuty służą do określania położenia wierzchołków, normalnych do powierzchni, współrzędnych teksturowych itp., zmienne `uniform` służą do przekazywania do shadera informacji, które powinny być stałe w całej porcji danych obiektu. Najczęściej spotykanym rodzajem danych tego typu dla shadera wierzchołków jest macierz przekształcenia. Wcześniej wszystko robiła za nas klasa `GLShaderManager` wykorzystująca wbudowane standardowe shadery i ich dane

uniform. Teraz jednak piszemy własne shadery, a więc musimy nauczyć się samodzielnie tworzyć dane uniform i to nie tylko do przechowywania macierzy. Jako uniform można zdefiniować dowolną zmienną w dowolnym z trzech etapów cieniowania (przypomnijmy, że w tym rozdziale zajmujemy się tylko shaderami wierzchołków i fragmentów). Aby to zrobić, wystarczy przed wybraną zmienną postawić słowo kluczowe `uniform`:

```
uniform float fTime;
uniform int iIndex;
uniform vec4 vColorValue;
uniform mat4.mvpMatrix;
```

Zmiennych uniform nie można deklarować jako `in` ani `out`, nie można ich interpolować między etapami cieniowania (choć można je kopiować do interpolowanych zmiennych) i nie można zmieniać ich wartości.

Znajdowanie danych uniform

Po skompilowaniu i skonsolidowaniu shadera musimy w nim „znaleźć” lokalizację naszej zmiennej uniform. Służą do tego funkcja `glGetUniformLocation`.

```
GLint glGetUniformLocation(GLuint shaderID, const GLchar* varName);
```

Funkcja ta zwraca liczbę całkowitą ze znakiem, reprezentującą lokalizację zmiennej określonej parametrem `varName` w shaderze określonym parametrem `shaderID`. Na przykład poniższe wywołanie zwraca lokalizację zmiennej `uniform` o nazwie `vColorValue`:

```
GLint iLocation = glGetUniformLocation(myShader, "vColorValue");
```

Jeśli funkcja zwróci wartość `-1`, oznacza to, że nie udało się zlokalizować w shaderze zmiennej o podanej nazwie. Należy także pamiętać, że w nazwach zmiennych w shaderach rozpoznawana jest wielkość liter. Miejmy świadomość, że pomyślne zakończenie kompilacji shadera wcale nie oznacza, że zmienna `uniform` może nam „zniknąć”, jeśli nie będzie do niczego bezpośrednio wykorzystana. Nie musimy się martwić, że zmienne `uniform` zostaną usunięte w procesie optymalizacji kodu, ale jeśli zadeklarujemy taką zmienną i nie będziemy jej używać, kompilator ją nam usunie.

Zmienne uniform skalarne i wektorowe

Do ustawienia wartości pojedynczego skalarnego lub wektorowego typu danych można użyć jednej z kilku wersji funkcji `glUniform`:

```
void glUniform1f(GLint location, GLfloat v0);
void glUniform2f(GLint location, GLfloat v0, GLfloat v1);
void glUniform3f(GLint location, GLfloat v0, GLfloat v1, GLfloat v2);
void glUniform4f(GLint location, GLfloat v0, GLfloat v1, GLfloat v2,
                 GLfloat v3);
void glUniform1i(GLint location, GLint v0);
void glUniform2i(GLint location, GLint v0, GLint v1);
```

```
void glUniform3i(GLint location, GLint v0, GLint v1, GLint v2);
void glUniform4i(GLint location, GLint v0, GLint v1, GLint v2, GLint v3);
```

Wyobraźmy sobie na przykład, że mamy w shaderze poniższe cztery deklaracje zmiennych:

```
uniform float fTime;
uniform int iIndex;
uniform vec4 vColorValue;
uniform bool bSomeFlag;
```

Kod w języku C lub C++ znajdujący je i ustawiający ich wartości mógłby wyglądać następująco:

```
GLint locTime, locIndex, locColor, locFlag;
locTime = glGetUniformLocation(myShader, "fTime");
locIndex = glGetUniformLocation(myShader, "iIndex");
locColor = glGetUniformLocation(myShader, "vColorValue");
locFlag = glGetUniformLocation(myShader, "bSomeFlag");
...
...
glUseProgram(myShader);
glUniform1f(locTime, 45.2f);
glUniform1i(locIndex, 42);
glUniform4f(locColor, 1.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f);
glUniform1i(locFlag, GL_FALSE);
```

Zwróćmy uwagę, że do przekazania wartości logicznej użyliśmy całkowitoliczbowej wersji funkcji `glUniform`. Wartości logiczne można również przekazywać jako wartości zmiennoprzecinkowe, gdzie 0.0 oznacza fałsz, a 1.0 — prawdę.

Tablice uniform

Istnieją również wersje funkcji `glUniform` pobierające jako parametr wskaźnik, który może wskazywać tablicę wartości.

```
void glUniform1fv(GLint location, GLuint count, GLfloat* v);
void glUniform2fv(GLint location, GLuint count, GLfloat* v);
void glUniform3fv(GLint location, GLuint count, GLfloat* v);
void glUniform4fv(GLint location, GLuint count, GLfloat* v);

void glUniform1iv(GLint location, GLuint count, GLint* v);
void glUniform2iv(GLint location, GLuint count, GLint* v);
void glUniform3iv(GLint location, GLuint count, GLint* v);
void glUniform4iv(GLint location, GLuint count, GLint* v);
```

Parametr *count* określa liczbę elementów w tablicy zawierającej *x* składników, gdzie *x* oznacza liczbę na końcu nazwy funkcji. Jeśli np. mamy zmienną `uniform` zawierającą cztery składniki:

```
uniform vec4 vColor;
```

W C i C++ moglibyśmy ją zdefiniować jako tablicę liczb zmiennoprzecinkowych:

```
GLfloat vColor[4] = { 1.0f, 1.0f, 1.0f, 1.0f };
```


Ponieważ jest to pojedyncza tablica czterech wartości, do przekazania jej do shadera wykorzystalibyśmy następującą konstrukcję:

```
glUniform4fv(iColorLocation, 1, vColor);
```

Gdybyśmy jednak mieli w shaderze taką tablicę wartości kolorów:

```
uniform vec4 vColors[2];
```

Wówczas w C++ dane te moglibyśmy zdefiniować i przekazać następująco:

```
GLfloat vColors[2][4] = {{ 1.0f, 1.0f, 1.0f, 1.0f },
                        { 1.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f }};
...
glUniform4fv(iColorLocation, 2, vColors);
```

Najprostsze ustawienie jednej zmiennoprzecinkowej wartości uniform może wyglądać tak:

```
GLfloat fValue = 45.2f;
glUniform1fv(iLocation, 1, &fValue);
```

Macierze uniform

Na zakończenie pokażemy, jak się ustawia macierz uniform. W shaderach typy macierzowe przechowują tylko wartości zmiennoprzecinkowe, przez co mamy znacznie mniej różnych wersji. Poniższe funkcje ładują odpowiednio macierze 2×2, 3×3 oraz 4×4.

```
glUniformMatrix2fv(GLint location, GLuint count, GLboolean transpose,
                  const GLfloat *m);
glUniformMatrix3fv(GLint location, GLuint count, GLboolean transpose,
                  const GLfloat *m);
glUniformMatrix4fv(GLint location, GLuint count, GLboolean transpose,
                  const GLfloat *m);
```

Zmienna *count* określa liczbę macierzy we wskaźniku *m* (tak, można tworzyć tablice macierzy!). Znacznik logiczny *transpose* zostaje ustawiony na wartość *true*, jeśli macierz jest ustawiona w porządku kolumnowym (ustawienie to jest preferowane w OpenGL). Ustawienie tej wartości na *GL_FALSE* powoduje transpozycję macierzy podczas jej kopiowania do shadera. Może to być przydatne, gdybyśmy korzystali z biblioteki macierzowej stosującej porządek wierszowy macierzy (np. Direct3D).

Płaski shader

Zobaczmy przykładowy shader wykorzystujący zmienne uniform. W zestawie shaderów standardowych mamy płaski shader, który tylko przekształca geometrię i ustawia jej jakiś pojedynczy kolor. Używane są w nim atrybuty położenia wierzchołków i dwie zmienne uniform — macierz przekształcenia i wartość koloru.

Program FlatShader rysuje obracający się torus i ustawia jego kolor na niebieski. Renderujemy go w trybie szkieletowym za pomocą funkcji `glPolygonMode`, aby było wyraźnie widać, że jest trójwymiarowy. Większość zastosowanego kodu klienckiego OpenGL jest już nam dobrze znana, dlatego nie zamieszczamy tu pełnego kodu programu. Na listingach 6.4 i 6.5 przedstawiony jest pełny kod obu shaderów.

Listing 6.4. Shader wierzchołków FlatShader

```
// Shader płaski
// Shader wierzchołków
// Richard S. Wright Jr
// OpenGL. Księga eksperta
#version 330

// Macierz przekształcenia
uniform mat4 .mvpMatrix;

// Dane wejściowe wierzchołków
in vec4 vVertex;

void main(void)
{
    // To wszystko, przekształcamy geometrię
    gl_Position =.mvpMatrix * vVertex;
}
```

Listing 6.5. Shader fragmentów FlatShader

```
// Shader płaski
// Shader fragmentów
// Richard S. Wright Jr
// OpenGL. Księga eksperta
#version 130

// Tworzenie jednolitej geometrii
uniform vec4 vColorValue;

// Wyjście koloru fragmentu
out vec4 vFragColor;

void main(void)
{
    vFragColor = vColorValue;
}
```

W shaderze wierzchołków na listingu 6.4 znajduje się jedna zmienna `uniform` reprezentująca konkatenowaną macierz przekształcenia:

```
uniform mat4 .mvpMatrix;
```

Jedyną czynnością wykonywaną przez ten shader jest przekształcenie wierzchołka przy użyciu macierzy rzutowania model-widok. Jak widać, mnożenie macierzowego typu danych przez wektorowy w języku GLSL jest czymś naturalnym.

```
gl_Position =.mvpMatrix * vVertex;
```

W shaderze fragmentów na listingu 6.5 również znajduje się tylko jedna zmienna `uniform` będąca czteroskładnikową wartością koloru, który zostanie zastosowany na rasteryzowanych fragmentach.

```
uniform vec4 vColorValue;
```

Po stronie klienckiej program wczytuje oba pliki shaderów i w funkcji `SetupRC` tworzy wskaźniki do obu zmiennych `uniform`.

```
GLuint flatShader;
GLint locMP;
GLint locColor;
...
flatShader = gltLoadShaderPairWithAttributes("FlatShader.vp", "FlatShader.fp",
                                             1, GLT_ATTRIBUTE_VERTEX, "vVertex");

locMVP = glGetUniformLocation(flatShader, ".mvpMatrix");
locColor = glGetUniformLocation(flatShader, "vColorValue");
```

Na listingu 6.6 zamieszczony został w całości kod funkcji `RenderScene`, która renderuje obracający się torus (przypomnijmy, że tryb wielokąta ustawiliśmy na `GL_LINE`). Po wybraniu płaskiego shadera następuje ustawienie zmiennych `uniform` koloru i macierzy przekształcenia, a następnie jest wywoływana funkcja `Draw` na obiekcie torusa. Efekt tego widać na rysunku 6.3.

Listing 6.6. Praktyczne zastosowanie utworzonego płaskiego shadera

```
// Rysowanie sceny
void RenderScene(void)
{
    static CStopWatch rotTimer;

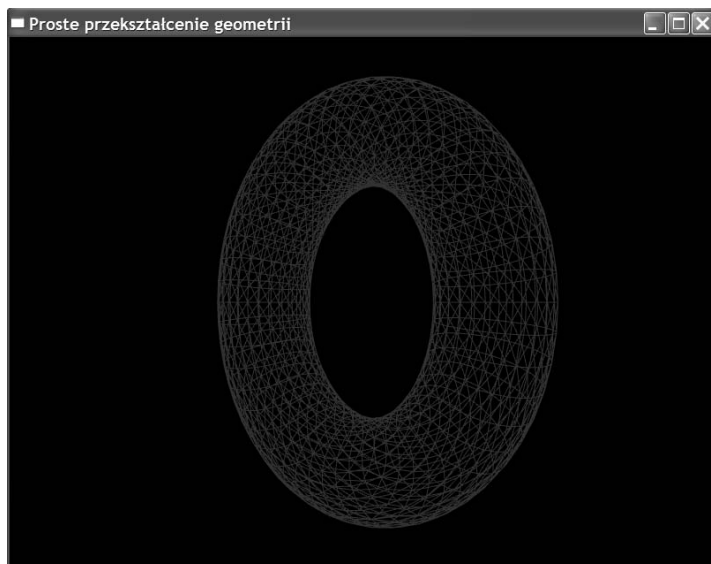
    // Wyczyszczenie okna i bufora głębi
    glClearColor(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);

    modelViewMatrix.PushMatrix(viewFrame);
    modelViewMatrix.Rotate(rotTimer.GetElapsedSeconds() * 10.0f, 0.0f,
        ↪ 1.0f, 0.0f);

    GLfloat vColor[] = { 0.1f, 0.1f, 1.f, 1.0f };

    glUseProgram(flatShader);
    glUniform4fv(locColor, 1, vColor);
    glUniformMatrix4fv(locMVP, 1, GL_FALSE,
        ↪ transformPipeline.GetModelViewProjectionMatrix());
    torusBatch.Draw();
```

Rysunek 6.3.
Okno programu
FlatShader



```
modelViewMatrix.PopMatrix();

glutSwapBuffers();
glutPostRedisplay();
}
```

Funkcje standardowe

Prawie każdy język programowania wysokiego poziomu ma zestaw standardowych funkcji. W językach C i C++ mamy do dyspozycji standardową bibliotekę wykonawczą C, standardowe funkcje wejścia i wyjścia itd. W GLSL również dostępny jest zestaw standardowych funkcji. Większość z nich służy do wykonywania działań matematycznych na wartościach skalarnych i całych wektorach. Niektóre z nich mają bardzo ogólne zastosowanie, jednak część z nich wykorzystuje się w pewnych typowych algorytmach renderowania grafiki. Funkcje zebrane w poniższych tabelach zostały prawie bez zmian skopiowane ze specyfikacji języka GLSL.

Funkcje trygonometryczne

W tabeli 6.4 znajduje się lista funkcji trygonometrycznych udostępnianych przez język GLSL. Obsługują one typy danych float, vec2, vec3 oraz vec4. Zapis anyFloat w tabeli oznacza, że dana funkcja obsługuje każdy z wymienionych typów.

Tabela 6.4. Funkcje trygonometryczne

Funkcja	Opis
<code>anyFloat radians(anyFloat degrees)</code>	Konwertuje stopnie na radiany
<code>anyFloat degrees(anyFloat radians)</code>	Konwertuje radiany na stopnie
<code>anyFloat sin(anyFloat angle)</code>	Sinus
<code>anyFloat cos(anyFloat angle)</code>	Cosinus
<code>anyFloat tan(anyFloat angle)</code>	Tangens
<code>anyFloat asin(anyFloat x)</code>	Arcus sinus
<code>anyFloat acos(anyFloat x)</code>	Arcus cosinus
<code>anyFloat atan(anyFloat y, anyFloat x)</code>	Arcus tangens y/x
<code>anyFloat atan(anyFloat y_over_x)</code>	Arcus tangens y_over_x
<code>anyFloat sinh(anyFloat x)</code>	Sinus hiperboliczny
<code>anyFloat cosh(anyFloat x)</code>	Cosinus hiperboliczny
<code>anyFloat tanh(anyFloat x)</code>	Tangens hiperboliczny
<code>anyFloat asinh(anyFloat x)</code>	Arcus sinus hiperboliczny
<code>anyFloat acosh(anyFloat x)</code>	Arcus cosinus hiperboliczny
<code>anyFloat atanh(anyFloat x)</code>	Arcus tangens hiperboliczny

Funkcje wykładnicze

Podobnie jak funkcje trygonometryczne, funkcje wykładnicze działają na zmiennoprzecinkowych typach danych (skalarnych i wektorach). Pełna lista tych funkcji znajduje się w tabeli 6.5.

Tabela 6.5. Funkcje wykładnicze

Funkcja	Opis
<code>anyFloat pow(anyFloat x, anyFloat y)</code>	x podniesiony do potęgi y
<code>anyFloat exp(anyFloat x)</code>	Wykładnik naturalny x
<code>anyFloat log(anyFloat x)</code>	Logarytm naturalny x
<code>anyFloat exp2(anyFloat x)</code>	2 do potęgi x
<code>anyFloat log2(anyFloat angle)</code>	Logarytm x o podstawie 2
<code>anyFloat sqrt(anyFloat x)</code>	Pierwiastek kwadratowy z x
<code>anyFloat inversesqrt(anyFloat x)</code>	Odwrotność pierwiastka kwadratowego z x

Funkcje geometryczne

W języku GLSL dostępna jest też pewna liczba ogólnych funkcji geometrycznych. Niektóre z nich przyjmują tylko argumenty określonego typu (np. iloczyn wektorowy), a inne — każdy z wektorowych zmiennoprzecinkowych typów danych (`vec2`, `vec3` i `vec4`), które w tabeli 6.6 oznaczamy zbiorczo jako `vec`.

Tabela 6.6. Funkcje geometryczne

Funkcja	Tabela
<code>float length(vec2/vec3/vec4 x)</code>	Zwraca długość wektora <code>x</code>
<code>float distance(vec p0, vec p1)</code>	Zwraca odległość między <code>p0</code> i <code>p1</code>
<code>float dot(vec x, vec y)</code>	Zwraca iloczyn skalarny <code>x</code> i <code>y</code>
<code>vec3 cross(vec3 x, vec3 y)</code>	Zwraca iloczyn wektorowy <code>x</code> i <code>y</code>
<code>vec normalize(vec x)</code>	Zwraca wektor o długości jeden skierowany w tym samym kierunku, co <code>x</code>
<code>vec faceforward(vec N, vec I, vec nRef)</code>	Jeśli <code>dot(Nref, I) < 0</code> , zwraca <code>N</code> , w przeciwnym przypadku zwraca <code>-N</code>
<code>vec reflect(vec I, vec N)</code>	Zwraca kierunek odbicia wektora padającego <code>I</code> oraz orientację płaszczyzny <code>N</code>
<code>vec refract(vec I, vec N, float eta)</code>	Zwraca wektor załamania wektora padającego <code>I</code> , orientację płaszczyzny <code>N</code> oraz współczynnik wskaźników załamania <code>eta</code>

Funkcje macierzowe

Wiele działań na macierzach wykonuje się przy użyciu zwykłych operatorów matematycznych. W tabeli 6.7 znajduje się wykaz kilku dodatkowych funkcji macierzowych, które mogą być bardzo przydatne. Każda z nich pobiera określony typ argumentów, które zostały wyszczególnione.

Funkcje porównywania wektorów

Wartości skalarne można porównywać za pomocą standardowych operatorów porównywania (`<`, `<=`, `>`, `>=`, `++` oraz `!=`). Do porównywania wektorów służą funkcje zebrane w tabeli 6.8. Wszystkie zwracają wektory wartości logicznych o takiej samej liczbie wymiarów, jak argumenty.

Inne często używane funkcje

Na zakończenie w tabeli 6.9 przedstawiamy zbiór różnych funkcji ogólnego przeznaczenia. Wszystkie działają zarówno na skalarnych, jak i wektorowych typach danych oraz mogą takie typy zwracać.

Tabela 6.7. Funkcje macierzowe

Funkcja	Opis
<code>mat matrixCompMult(mat x, mat y)</code>	Mnoży dwie macierze składnik po składniku. To nie jest to samo, co mnożenie macierzy w algebrze liniowej.
<code>mat2 outerProduct(vec2 c, vec2 r)</code> <code>mat3 outerProduct(vec3 c, vec3 r)</code> <code>mat4 outerProduct(vec4 c, vec4 r)</code> <code>mat2x3 outerProduct(vec3 c, vec2 r)</code> <code>mat3x2 outerProduct(vec2 c, vec3 r)</code> <code>mat2x4 outerProduct(vec4 c, vec2 r)</code> <code>mat4x2 outerProduct(vec2 c, vec4 r)</code> <code>mat3x4 outerProduct(vec4 c, vec3 r)</code> <code>mat4x3 outerProduct(vec3 c, vec4 r)</code>	Zwraca macierz będącą iloczynem zewnętrznym dwóch podanych wektorów.
<code>mat2 transpose(mat2 m)</code> <code>mat3 transpose(mat3 m)</code> <code>mat4 transpose(mat4 m)</code> <code>mat2x3 transpose(mat3x2 m)</code> <code>mat3x2 transpose(mat2x3 m)</code> <code>mat2x4 transpose(mat4x2 m)</code> <code>mat4x2 transpose(mat2x4 m)</code> <code>mat3x4 transpose(mat4x3 m)</code> <code>mat4x3 transpose(mat3x4 m)</code>	Transponuje podaną macierz
<code>float determinant(mat2 m)</code> <code>float determinant(mat3 m)</code> <code>float determinant(mat4 m)</code>	Zwraca wyznacznik podanej macierzy
<code>mat2 inverse(mat2 m)</code> <code>mat3 inverse(mat3 m)</code> <code>mat4 inverse(mat4 m)</code>	Zwraca odwrotną wersję podanej macierzy

Tabela 6.8. Funkcje porównywania wektorów

Funkcja	Opis
<code>bvec lessThan(vec x, vec y)</code> <code>bvec lessThan(ivec x, ivec y)</code> <code>bvec lessThan(uvec x, uvec y)</code>	Zwraca wynik porównywania $x < y$ każdej pary składników

Tabela 6.8. Funkcje porównywania wektorów — *ciąg dalszy*

Funkcja	Opis
bvec lessThanEqual(vec x, vec y) bvec lessThanEqual(ivec x, ivec y) bvec lessThanEqual(uvec x, uvec y)	Zwraca wynik porównywania $x \leq y$ każdej pary składników
bvec greaterThan(vec x, vec y) bvec greaterThan(ivec x, ivec y) bvec greaterThan(uvec x, uvec y)	Zwraca wynik porównywania $x > y$ każdej pary składników
bvec greaterThanEqual(vec x, vec y) bvec greaterThanEqual(ivec x, ivec y) bvec greaterThanEqual(uvec x, uvec y)	Zwraca wynik porównywania $x \geq y$ każdej pary składników
bvec equal(vec x, vec y) bvec equal(ivec x, ivec y) bvec equal(uvec x, uvec y) bvec equal(bvec x, bvec y)	Zwraca wynik porównywania $x == y$ każdej pary składników
bvec notEqual(vec x, vec y) bvec notEqual(ivec x, ivec y) bvec notEqual(uvec x, uvec y) bvec notEqual(bvec x, bvec y)	Zwraca wynik porównywania $x != y$ każdej pary składników
bool any(bvec x)	Zwraca wartość <code>true</code> , jeśli którykolwiek składnik <code>x</code> ma wartość <code>true</code>
bool all(bvec x)	Zwraca wartość <code>true</code> , jeśli wszystkie składniki <code>x</code> mają wartość <code>true</code>
bvec not(bvec x)	Zwraca dopełnienie <code>x</code> dla każdego komponentu

Tabela 6.9. Inne często używane funkcje

Funkcja	Opis
anyFloat abs(anyFloat x) anyInt abs(anyInt x)	Zwraca wartość bezwzględną <code>x</code>
anyFloat sign(anyFloat x) anyInt sign(anyInt x)	Zwraca wartość <code>1.0</code> lub <code>-1.0</code> w zależności od znaku <code>x</code>
anyFloat floor(anyFloat x)	Zwraca najmniejszą liczbę całkowitą nie większą od <code>x</code>
anyFloat trunc(anyFloat x)	Zwraca liczbę całkowitą najbliższą, ale nie większą niż wartość bezwzględna <code>x</code>

Tabela 6.9. Inne często używane funkcje — ciąg dalszy

Funkcja	Opis
<code>anyFloat round(anyFloat x)</code>	Zwraca wartość całkowitą najbliższą wartości x . Ułamek 0,5 może zostać zaokrąglony w obie strony, w zależności od implementacji
<code>anyFloat roundEven(anyFloat x)</code>	Zwraca wartość całkowitą najbliższą wartości x . Ułamek 0,5 jest zaokrąglany do najbliższej parzystej liczby całkowitej
<code>anyFloat ceil(anyFloat x)</code>	Zwraca wartość najbliższej liczby całkowitej większej od x
<code>anyFloat fract(anyFloat x)</code>	Zwraca część ułamkową wartości x
<code>anyFloat mod(anyFloat x, float y)</code> <code>anyFloat mod(anyFloat x, anyFloat y)</code>	Zwraca wartość bezwzględną wyniku działania $x \bmod y$
<code>anyFloat modf(anyFloat x, out anyFloat i)</code>	Zwraca część ułamkową wartości x zapisaną w i
<code>anyFloat min(anyFloat x, anyFloat y)</code> <code>anyFloat min(anyFloat x, float y)</code> <code>anyInt min(anyInt x, anyInt y)</code> <code>anyInt min(anyInt x, int y)</code> <code>anyUInt min(anyUInt x, anyUInt y)</code> <code>anyUInt min(anyUInt x, uint y)</code>	Zwraca mniejszą spośród wartości x i y
<code>anyFloat max(anyFloat x, anyFloat y)</code> <code>anyFloat max(anyFloat x, float y)</code> <code>anyInt max(anyInt x, anyInt y)</code> <code>anyInt max(anyInt x, int y)</code> <code>anyUInt max(anyUInt x, anyUInt y)</code> <code>anyUInt max(anyUInt x, uint y)</code>	Zwraca większą spośród wartości x i y
<code>anyFloat clamp(anyFloat x, anyFloat minVal, anyFloat maxVal)</code> <code>anyFloat clamp(anyFloat x, float minVal, float maxVal);</code> <code>anyInt clamp(anyInt x, anyInt minVal, anyInt maxVal)</code> <code>anyInt clamp(anyInt x, int minVal, int maxVal)</code>	Zwraca wartość x przyciętą do przedziału <code>minVal-maxVal</code>

Tabela 6.9. Inne często używane funkcje — ciąg dalszy

Funkcja	Opis
<pre>anyUint clamp(anyUint x, anyUint minVal, anyUint maxVal); anyUint clamp(anyUint x, uint minVal, uint maxVal)</pre>	
<pre>anyFloat mix(anyFloat x, anyFloat y, anyFloat a) anyFloat mix(anyFloat x, anyFloat y, float a)</pre>	<p>Zwraca przejście liniowe między x i y. Wartość a może się zawierać w przedziale od 0 do 1</p>
<pre>anyFloat mix(anyFloat x, anyFloat y, anyBool a)</pre>	<p>Zwraca składniki x, gdy a ma wartość <code>false</code>, lub składniki y, gdy a ma wartość <code>true</code></p>
<pre>anyFloat step(anyFloat edge, anyFloat x) anyFloat step(float edge, anyFloat x)</pre>	<p>Zwraca wartość 0.0, jeśli wartość x jest mniejsza od $edge$ lub 1.0 w przeciwnym przypadku</p>
<pre>anyFloat smoothstep(anyFloat edge0, anyFloat edge1, anyFloat x) anyFloat smoothStep(float edge0, float edge1, anyFloat x)</pre>	<p>Zwraca wartość 0.0, jeśli $x \leq edge0$, lub 1.0, jeśli $x \geq edge1$, oraz płynną interpolację Hermite'a dla argumentów między 0.0 i 1.0</p>
<pre>anyBool isnan(anyFloat x)</pre>	<p>Zwraca <code>true</code>, jeśli x jest <code>Nan</code></p>
<pre>anyBool isinf(anyFloat x)</pre>	<p>Zwraca <code>true</code>, jeśli x jest dodatnią lub ujemną nieskończonością</p>
<pre>anyInt floatBitsToInt(anyFloat x) anyUint floatBitsToUint(anyFloat x)</pre>	<p>Konwertuje wartości zmiennoprzecinkowe na całkowite</p>
<pre>anyFloat intBitsToFloat(anyInt x) anyFloat uintBitsToFloat(anyUint x)</pre>	<p>Konwertuje wartości całkowite na zmiennoprzecinkowe</p>

Symulowanie światła

Znamy już solidne podstawy języka GLSL, a więc czas na rozpoczęcie pisania bardziej rozbudowanych shaderów. Jedną z fundamentalnych technik grafiki komputerowej jest symulowanie światła. Ponieważ techniki te nie są bardzo skomplikowane, doskonale nadają się do przedstawienia metod programowania shaderów. Symulowanie światła, oświetlenia i właściwości materiałów to tak obszerny temat, że można by im było poświęcić całą osobną książkę. I rzeczywiście takie książki istnieją! W tym rozdziale omówimy tylko podstawowe techniki związane z symulowaniem światła w komputerze oraz pokażemy, jak je implementować w języku GLSL. Techniki te stanowią bazę, na której opierają się techniki bardziej zaawansowane.

Światło rozproszone

Rodzajem światła najczęściej stosowanym do oświetlenia powierzchni w grafice trójwymiarowej jest tzw. **światło rozproszone** (ang. *diffuse light*). Jest to światło skierowane odbijające się od powierzchni z natężeniem proporcjonalnym do kąta, pod jakim się od niej odbija. Dzięki temu powierzchnia obiektu jest jaśniejsza, gdy światło pada na nią pod kątem prostym, niż wówczas, gdyby padało na nią pod jakimś większym kątem. W wielu modelach światła składowa światła rozproszonego jest używana do tworzenia cieni (lub zmian kolorów) na powierzchni oświetlonych obiektów.

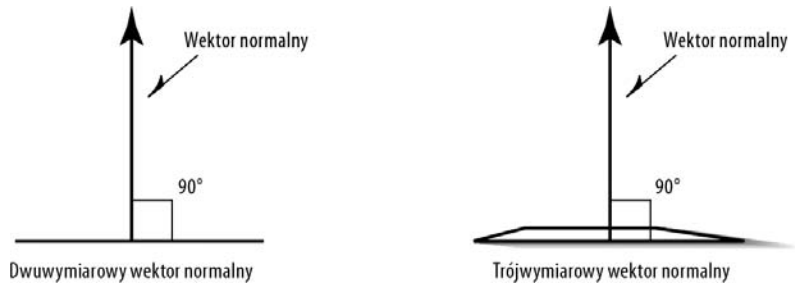
Do określenia natężenia światła w danym wierzchołku potrzebne są dwa wektory. Jeden z nich określa kierunek w stronę źródła światła. W niektórych technikach oświetleniowych dostarczany jest tylko wektor skierowany w stronę źródła światła. Takie światło nazywamy **kierunkowym** (ang. *directional*), ponieważ wszystkie wierzchołki dysponują tym samym wektorem w stronę źródła światła. Wszystko jest dobrze, jeśli źródło światła znajduje się bardzo (lub nieskończenie) daleko od oświetlanych obiektów. Wyobraźmy sobie boisko piłkarskie, na którym jest rozgrywany mecz. Kąt padania promieni słonecznych na jednym końcu boiska niewiele różni się od kąta padania na jego drugim końcu. Gdyby jednak mecz był rozgrywany w nocy, efekt istnienia pojedynczego górnego źródła światła byłby dobrze widoczny podczas przemieszczania się zawodników po boisku. Gdybyśmy do kodu symulującego światło przekazali położenie źródła światła, to aby określić wektor w stronę źródła światła, musielibyśmy w naszym shaderze odjąć przekształcone (współrzędne oka) położenie wierzchołka od położenia źródła światła.

Normalne do powierzchni

Drugi wektor potrzebny do uzyskania światła rozproszonego (i nie tylko, o czym się niedługo przekonasz) to normalna do powierzchni. **Normalna do powierzchni (wektor normalny)** to linia mająca swój początek na płaszczyźnie, do której jest prostopadła. Nazwa ta może wydawać się

niezwykła, jakby pożyczona z jakiegoś filmu fantastycznego, ale tak naprawdę słowo „normalny” oznacza tu po prostu „prostopadły” do jakiejś realnej lub wyobrażonej płaszczyzny. Wektor to linia skierowana w określonym kierunku, a wektor normalny to linia prostopadła do płaszczyzny. Podsumowując, wektor normalny to linia ustawiona pod kątem 90 stopni do przedniej płaszczyzny naszej figury geometrycznej. Na rysunku 6.4 pokazano przykładowe wektory normalne w dwóch i trzech wymiarach.

Rysunek 6.4.
Dwu- i trójwymiarowy wektor normalny

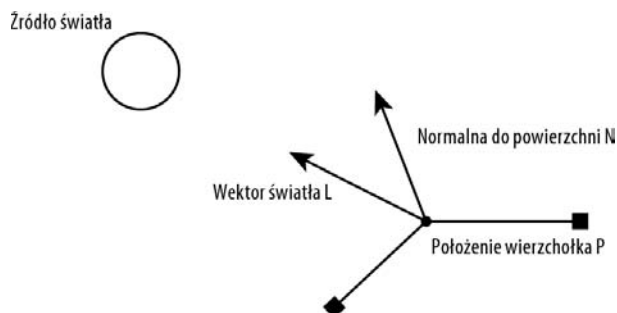


Pewnie się dziwisz, czemu musimy określić wektor normalny dla każdego wierzchołka. Dlaczego nie możemy zdefiniować jednej normalnej dla całego wielokąta i zastosować jej do wszystkich wierzchołków? Możemy, ale nie zawsze chcemy, aby normalna była prostopadła do powierzchni figury. Jak zapewne zauważyłeś, nie wszystkie powierzchnie są płaskie. Można próbować jak najwierniej je odtworzyć za pomocą płaskich wielokątów, ale efekt zawsze będzie niejednorodny lub poszarpany. Aby utworzyć powierzchnię wyglądającą na gładką, można użyć płaskich wielokątów i tak dostosować normalne do powierzchni, aby „ją optycznie wygładziły”. Na przykład w przypadku kuli normalna do powierzchni każdego wierzchołka jest prostopadła do powierzchni samej bryły, a nie do poszczególnych trójkątów, z których ta bryła została złożona.

Oświetlanie wierzchołków

Na rysunku 6.5 przedstawiono oba wektory, którymi się zajmujemy. Natężenie światła w każdym wierzchołku określa się poprzez obliczenie iloczynu skalarnego wektora do źródła światła i wektora normalnego. Wektory te muszą mieć długość o wartości jeden, ponieważ wynikiem obliczeń może być wartość z przedziału od -1.0 do 1.0 . Wartość 1.0 otrzymujemy, gdy oba wektory są skierowane w tym samym kierunku, natomiast -1.0 oznacza, że wektory wskazują przeciwne kierunki. Gdy otrzymamy wartość 0.0 , wiemy, że wektory są ustawione względem siebie pod kątem 90 stopni. W istocie otrzymana wartość to cosinus kąta między wektorami. Jak można się domyślić, dodatnie wartości oznaczają, że światło pada na wierzchołek. Im większa wartość (czyli im bliższa wartości 1.0), tym większe natężenie światła; i odwrotnie, im mniejsza wartość (nawet poniżej zera), tym natężenie światła mniejsze.

Rysunek 6.5.
Podstawowe wektory
światła rozproszonego



Jeśli pomnożymy obliczony iloczyn skalarny przez wartość koloru wierzchołka, otrzymamy wartość koloru ze światłem o odpowiednim natężeniu. Takie płynne cieniowanie wartości kolorów między wierzchołkami czasami nazywane jest **oświetlaniem wierzchołków** (ang. *vertex lighting*) lub **cieniowaniem Gourauda** (ang. *Gouraud shading*). Obliczenie iloczynu skalarnego w języku GLSL jest łatwe. Najczęściej wykorzystuje się coś w rodzaju poniższego wywołania:

```
float intensity = dot(vSurfaceNormal, vLightDirection);
```

Shader światła rozproszonego

Przeanalizujemy kolejny przykładowy program, o nazwie DiffuseLight. Posłuży nam on do zademonstrowania działania prostego shadera światła rozproszonego na niebieskiej kuli. Wykorzystaliśmy w nim także punktowe źródło światła, a więc zobaczymy również, jak uzyskuje się ten rodzaj oświetlenia w shaderze. Oczywiście użycie kierunkowego źródła światła byłoby prostsze, ponieważ już mamy ten wektor, ale to pozostawiamy jako ćwiczenie do samodzielnego wykonania. Na listingu 6.7 znajduje się kod shadera wierzchołków *DiffuseLight.vp*.

Listing 6.7. Shader wierzchołków światła rozproszonego

```
// Prosty shader światła rozproszonego
// Shader wierzchołków
// Richard S. Wright Jr
// OpenGL. Księga eksperta
#version 330

// Zmienne wejściowe danych wierzchołków... położenie i normalna
in vec4 vVertex;
in vec3 vNormal;

// Ustawienia dla każdej porcji danych
uniform vec4   diffuseColor;
uniform vec3   vLightPosition;
uniform mat4  .mvpMatrix;
uniform mat4   mvMatrix;
uniform mat3   normalMatrix;

// Kolor
smooth out vec4 vVaryingColor;
```

```

void main(void)
{
    // Obliczenie normalnej do powierzchni we współrzędnych oka
    vec3 vEyeNormal = normalMatrix * vNormal;

    // Obliczenie położenia wierzchołka we współrzędnych oka
    vec4 vPosition4 = mvMatrix * vVertex;
    vec3 vPosition3 = vPosition4.xyz / vPosition4.w;

    // Obliczenie wektora do źródła światła
    vec3 vLightDir = normalize(vLightPosition - vPosition3);

    // Obliczenie intensywności światła przy użyciu iloczynu skalarnego
    float diff = max(0.0, dot(vEyeNormal, vLightDir));

    // Mnożenie intensywności przez kolor rozproszenia
    vVaryingColor.rgb = diff * diffuseColor.rgb;
    vVaryingColor.a = diffuseColor.a;

    // Przekształcenie geometrii
    gl_Position =.mvpMatrix * vVertex;
}

```

W shaderze zostały zdefiniowane tylko dwa atrybuty — położenie wierzchołka (`vVertex`) i normalna do powierzchni (`vNormal`). Natomiast zmiennych uniform potrzebowaliśmy aż pięciu:

```

uniform vec4    diffuseColor;
uniform vec3    vLightPosition;
uniform mat4   .mvpMatrix;
uniform mat4    mvMatrix;
uniform mat3    normalMatrix;

```

Zmienna `diffuseColor` przechowuje kolor kuli, `vLightPosition` określa położenie światła we współrzędnych oka, `mpvMatrix` zawiera macierz rzutowania model-widok, `mvMatrix` natomiast reprezentuje macierz model-widok. Wszystko to znamy z korzystania z shaderów standardowych (tyle że od strony klienta). Nowością jest natomiast macierz 3×3 o nazwie `normalMatrix`.

Normalną do powierzchni najczęściej przesyła się jako jeden z atrybutów wierzchołka. Trzeba ją tylko obrócić, aby jej kierunek znalazł się w przestrzeni oka. Nie można jednak w tym celu pomnożyć jej przez macierz model-widok, ponieważ zawiera ona dodatkowo przesunięcie, które przesunęłoby nasz wektor. Problem ten rozwiązujemy poprzez przekazanie zmiennej uniform reprezentującej **macierz normalną** (ang. *normalną matrix*) zawierającą tylko składnik obrotowy macierzy model-widok. Na szczęście w klasie `GLTransformationPipeline` dostępna jest funkcja `GetNormalMatrix`, która zwraca tę potrzebną nam macierz. Dzięki temu uzyskanie kierunku normalnej we współrzędnych oka to kwestia pomnożenia dwóch macierzy:

```
vec3 vEyeNormal = normalMatrix * vNormal;
```

Poza funkcją główną zadeklarowaliśmy płynnie cieniowaną wartość koloru o nazwie `vVaryingColor`.

```
smooth out vec4 vVaryingColor;
```

To jest jedyna — poza przekształconą geometrią — informacja wyjściowa shadera wierzchołków. Shader fragmentów jest banalnie prosty. Przypisujemy w nim przychodzącą wartość do wyjściowego koloru fragmentu.

```
vFragColor = vVaryingColor;
```

Ze względu na fakt, że przesyłamy położenie światła, a nie wektor w stronę źródła światła, położenie wierzchołka musimy przekonwertować na współrzędne oka i odjąć tę wartość od położenia światła.

```
vec4 vPosition4 = mvMatrix * vVertex;
vec3 vPosition3 = vPosition4.xyz / vPosition4.w;
// Obliczenie wektora w stronę źródła światła
vec3 vLightDir = normalize(vLightPosition - vPosition3);
```

Osobna macierz model-widok jest nam w tym shaderze potrzebna dlatego, że współrzędnych oka wierzchołka nie można pomnożyć przez macierz zawierającą rzutowanie. W tym miejscu do gry wkracza współrzędna *w*. Wykonanie tego dzielenia jest ważne na wypadek, gdyby macierz przekształcenia zawierała jakieś informacje skalowania (aby dowiedzieć się, dlaczego jest to lub nie jest ważne dla Ciebie, wróć do rozdziału 4.).

Wektory są po prostu piękne, prawda? Aby otrzymać wektor w stronę światła, odejmujemy od siebie te dwa wektory i normalizujemy wynik. Teraz możemy wykorzystać iloczyn skalarny do obliczenia intensywności światła na wierzchołku. Przy użyciu funkcji `max` języka GLSL ograniczyliśmy zakres natężenia do wartości z przedziału od zera do jeden.

```
float diff = max(0.0, dot(vEyeNormal, vLightDir));
```

Na zakończenie obliczeń światła mnożymy kolor powierzchni przez natężenie światła. W tym przypadku używamy tylko kanałów RGB, a kanał alfa zostawiamy bez zmian.

```
vVaryingColor.rgb = diff * diffuseColor.rgb;
vVaryingColor.a = diffuseColor.a;
```

Listing 6.8 przedstawia funkcje `SetupRC` i `RenderScene` z programu `DiffuseLight`.

Listing 6.8. Kod funkcji `SetupRC` i `RenderScene` z programu `DiffuseLight`

```
// Ta funkcja wykonuje wszystkie działania związane z inicjalizowaniem w kontekście renderowania.
void SetupRC(void)
{
    // Tło
    glClearColor(0.3f, 0.3f, 0.3f, 1.0f );

    glEnable(GL_DEPTH_TEST);
    glEnable(GL_CULL_FACE);

    shaderManager.InitializeStockShaders();
    viewFrame.MoveForward(4.0f);
```

```

// Tworzenie kuli
glMakeSphere(sphereBatch, 1.0f, 26, 13);

diffuseLightShader =
↳shaderManager.LoadShaderPairWithAttributes("DiffuseLight.vp",
↳"DiffuseLight.fp", 2, GLT_ATTRIBUTE_VERTEX, "vVertex",
GLT_ATTRIBUTE_NORMAL, "vNormal");

locColor = glGetUniformLocation(diffuseLightShader, "diffuseColor");
locLight = glGetUniformLocation(diffuseLightShader, "vLightPosition");
locMVP = glGetUniformLocation(diffuseLightShader, "mvpMatrix");
locMV = glGetUniformLocation(diffuseLightShader, "mvMatrix");
locNM = glGetUniformLocation(diffuseLightShader, "normalMatrix");
}

// Rysowanie sceny
void RenderScene(void)
{
    static CStopWatch rotTimer;

    // Wyczyszczenie okna i bufora głębi
    glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);

    modelViewMatrix.PushMatrix(viewFrame);
    modelViewMatrix.Rotate(rotTimer.GetElapsedSeconds() * 10.0f, 0.0f,
↳1.0f, 0.0f);

    GLfloat vEyeLight[] = { -100.0f, 100.0f, 100.0f };
    GLfloat vDiffuseColor[] = { 0.0f, 0.0f, 1.0f, 1.0f };

    glUseProgram(diffuseLightShader);
    glUniform4fv(locColor, 1, vDiffuseColor);
    glUniform3fv(locLight, 1, vEyeLight);
    glUniformMatrix4fv(locMVP, 1, GL_FALSE,
↳transformPipeline.GetModelViewProjectionMatrix());
    glUniformMatrix4fv(locMV, 1, GL_FALSE,
↳transformPipeline.GetModelViewMatrix());
    glUniformMatrix3fv(locNM, 1, GL_FALSE,
↳transformPipeline.GetNormalMatrix());
    sphereBatch.Draw();

    modelViewMatrix.PopMatrix();

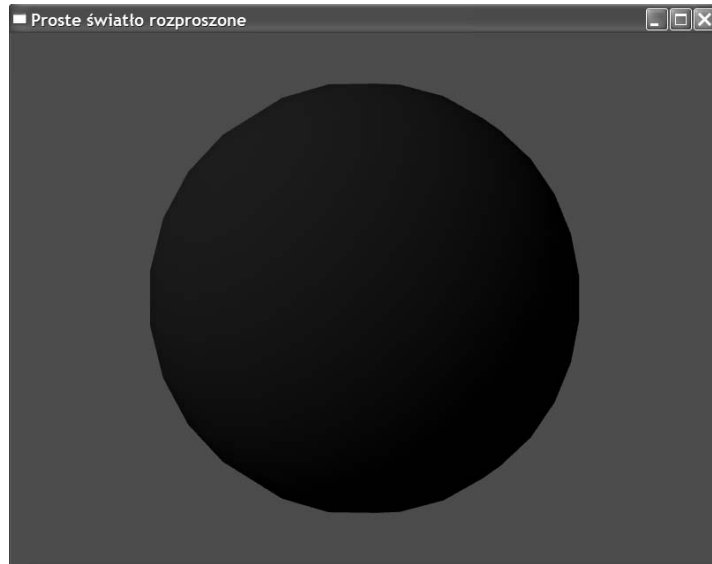
    glutSwapBuffers();
    glutPostRedisplay();
}

```

Jest to nasze pierwsze poważniejsze spotkanie z niestandardowym shaderem. Jak widać, aby go skonfigurować, w funkcji renderującej potrzebnych było aż pięć wywołań funkcji `glUniform`. Często spotykanym błędem, zwłaszcza popełnianym przez programistów przyzwyczajonych do starego stylu pracy, jest dalsze modyfikowanie jednego ze stosów macierzy po ustawieniu danych

uniform shadera, ale przed wyrenderowaniem geometrii. Pamiętajmy, że funkcje `glUniform` nie kopiuje do shaderów referencji do danych, lecz same dane. Stanowi to okazję do pozbycia się kilku wywołań funkcji dla wartości `uniform`, które nie zmieniają się często. Rysunek 6.6 przedstawia wynik działania naszego programu.

Rysunek 6.6.
Program DiffuseLight



Model oświetlenia ADS

Jednym z najczęściej wykorzystywanych modeli oświetlenia, w szczególności przez osoby zaznajomione z aktualnie wycofywanym stałym potokiem funkcji, jest tzw. model oświetlenia ADS. Akronim ten tworzą pierwsze litery angielskich wyrazów *ambient*, *diffuse* oraz *specular*, oznaczających trzy właściwości odbłaskowe materiału pokrywającego obiekty — dla światła otaczającego (ang. *ambient*), rozproszonego (ang. *diffuse*) oraz odbitego zwierciadlanie (ang. *specular*). Tym właściwościom materiału przypisuje się wartości kolorów, przy czym wyższa wartość oznacza wyższy współczynnik odbłasku. Źródła światła również mają te właściwości i im również przypisuje się wartości koloru reprezentujące jasność światła. Zatem o ostatecznym kolorze wierzchołka decyduje wypadkowa tych trzech właściwości materiału i źródła światła.

Światło otaczające

Światło otaczające (ang. *ambient light*) nie pochodzi z żadnego konkretnego kierunku. Ma ono źródło, ale promienie światła odbijały się już po całej scenie tyle razy, że światło to całkowicie straciło jakikolwiek kierunek. Wszystkie powierzchnie obiektów znajdujących się w świetle otaczającym są oświetlone równomiernie, niezależnie od kierunku. Światło otaczające można traktować jako globalny współczynnik „rozjaśniający” stosowany dla każdego źródła światła.

Aby obliczyć udział źródła światła otaczającego w ostatecznym kolorze wierzchołka, należy przeskalować wartość właściwości odbłaskowej światła otaczającego materiału przez wartość światła otaczającego (należy pomnożyć te dwa wektory przez siebie). W języku GLSL zapisalibyśmy to następująco:

```
uniform vec3 vAmbientMaterial;
uniform vec3 vAmbientLight;
vec3 vAmbientColor = vAmbientMaterial * vAmbientLight;
```

Światło rozproszone

Światło rozproszone to kierunkowa składowa źródła światła. Było ono w naszym centrum zainteresowania w poprzednim shaderze oświetlenia. Wartość materiału rozpraszającego należy pomnożyć przez wartość światła rozproszonego, tak jak się to robi w przypadku składowych światła otaczającego. Wartość ta jest następnie skalowana przez iloczyn skalarny normalnej do powierzchni i wektora światła (czyli natężenie światła rozproszonego). W języku shaderów można to wyrazić w następujący sposób:

```
uniform vec3 vDiffuseMaterial;
uniform vec3 vDiffuseLight;
float fDotProduct = max(0.0, dot(vNormal, vLightDir));
vec3 vDiffuseColor = vDiffuseMaterial * vDiffuseLight * fDotProduct;
```

Zauważmy, że obliczanie iloczynu skalarnego wektorów umieściliśmy w funkcji GLSL o nazwie `max`. Zrobiliśmy to dlatego, że iloczyn skalarny może mieć wartość ujemną, a przecież nie możemy zastosować ujemnego oświetlenia czy koloru. Dlatego wszystkie wartości poniżej zera zamieniamy na zero.

Światło odbicia zwierciadlanego

Podobnie jak światło rozproszone, światło odbicia zwierciadlanego to właściwość kierunkowa, ale w odróżnieniu od niego silniej oddziałuje z powierzchnią materiału i oddziaływanie to ma ściśle określony kierunek. Mocno odbite światło najczęściej powoduje wystąpienie na powierzchni oświetlanej jasnej plamy nazywanej odbłyskiem (ang. *specular highlight*). Ze względu na dość precyzyjne ukierunkowanie odbłysk może być niewidoczny dla osoby patrzącej pod określonym kątem. Przykładami źródeł światła tworzących mocne odbłyski są reflektor i słońce, ale oczywiście warunkiem powstania tych odbłysków jest padanie promieni światła na błyszczący przedmiot.

Udział koloru w materiale połyskującym i kolorach oświetlenia skalowany jest przez pewną wartość, której otrzymanie wymaga nieco większej ilości obliczeń niż wykonywane do tej pory. Najpierw musimy znaleźć wektor odbicia światła i odwrócony wektor światła. Następnie oblicza się iloczyn skalarny tych dwóch wektorów i podnosi się go do potęgi wartości „połyskliwości”. Im większa wartość połyskliwości, tym mniejszy odbłysk. Poniżej znajduje się fragment kodu shadera wykonujący te obliczenia:

```
uniform vec3 vSpecularMaterial;
uniform vec3 vSpecularLight;
float shininess = 128.0;
vec3 vReflection = reflect(-vLightDir, vEyeNormal);
```

```
float EyeReflectionAngle = max(0.0, dot(vEyeNormal, vReflection));
fSpec = pow(EyeReflectionAngle, shininess);
vec3 vSpecularColor = vSpecularLight * vSpecularMaterial * fSpec;
```

Parametr połyskliwości można określić jako daną typu `uniform`. Tradycyjnie przypisuje się mu maksymalną wartość 128 (tradycja ta sięga jeszcze czasów stałego potoku). Zastosowanie większych wartości zwykle powoduje powstanie bardzo małych odbłyśków.

Shader ADS

Ostateczny kolor wierzchołka można zatem, biorąc pod uwagę trzy ostatnie przykłady, obliczyć następująco:

```
vVertexColor = vAmbientColor + vDiffuseColor + vSpecularColor;
```

Implementację opisywanego rodzaju shadera zawiera program `ADSGouraud`. Zastosowaliśmy w nim jednak pewne uproszczenie. Zamiast przekazywać osobno informacje na temat kolorów i natężenia właściwości materiału i światła, przekazaliśmy po jednej wartości koloru dla materiałów światła otaczającego, rozproszonego i odbijanego w sposób zwierciadlany. To tak, jakbyśmy wcześniej pomnożyli właściwość materiału przez kolory światła. Jeśli nie planujesz zmieniać właściwości materiału w każdym wierzchołku, jest to łatwy sposób na optymalizację. W nazwie programu znalazło się słowo „Gouraud”, ponieważ wartości światła obliczamy dla każdego wierzchołka, a następnie stosujemy cieniowanie z interpolacją przestrzeni kolorów między wierzchołkami. Pełny kod shadera wierzchołków znajduje się na listingu 6.9.

Listing 6.9. Shader wierzchołków programu `ADSGouraud`

```
// Shader oświetlenia punkowego ADS
// Shader wierzchołków
// Richard S. Wright Jr
// OpenGL. Księga eksperta
#version 130

// Dane wejściowe wierzchołków... położenie i normalna
in vec4 vVertex;
in vec3 vNormal;

// Ustawienia dla porcji danych
uniform vec4 ambientColor;
uniform vec4 diffuseColor;
uniform vec4 specularColor;

uniform vec3 vLightPosition;
uniform mat4.mvpMatrix;
uniform mat4.mvMatrix;
uniform mat3.normalMatrix;

// Kolor do shadera fragmentów
smooth out vec4 vVaryingColor;

void main(void)
{
```

```

// Obliczanie normalnej do powierzchni we współrzędnych oka
vec3 vEyeNormal = normalMatrix * vNormal;

// Obliczenie położenia wierzchołka we współrzędnych oka
vec4 vPosition4 = mvMatrix * vVertex;
vec3 vPosition3 = vPosition4.xyz / vPosition4.w;

// Obliczenie wektora w stronę źródła światła
vec3 vLightDir = normalize(vLightPosition - vPosition3);

// Obliczenie natężenia światła rozproszonego przy użyciu iloczynu skalarnego
float diff = max(0.0, dot(vEyeNormal, vLightDir));

// Pomnożenie natężenia przez kolor rozproszenia, wartość alfa wynosi 1.0
vVaryingColor = diff * diffuseColor;

// Dodanie światła otoczenia
vVaryingColor += ambientColor;

// Światła odbicia zwierciadlanego
vec3 vReflection = normalize(reflect(-vLightDir, vEyeNormal));
float spec = max(0.0, dot(vEyeNormal, vReflection));
if(diff != 0) {
    float fSpec = pow(spec, 128.0);
    vVaryingColor.rgb += vec3(fSpec, fSpec, fSpec);
}

// Przekształcenie geometrii!
gl_Position = mvMatrix * vVertex;
}

```

Nie pokazujemy całego kodu shadera, ponieważ przypisuje on tylko przychodzącą wartość zmiennej `vVaryingColor` do koloru fragmentów:

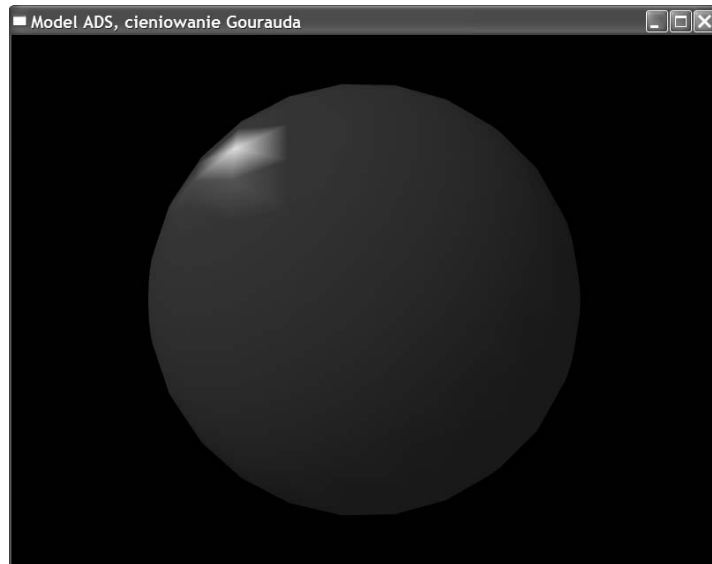
```
vFragColor = vVaryingColor;
```

Każdy trójkąt składa się z trzech wierzchołków i większej liczby wypełniających go fragmentów. Dzięki temu oświetlanie wierzchołków i technika cieniowania Gourauda są bardzo wydajne, ponieważ wszystkie obliczenia dla każdego wierzchołka są wykonywane tylko raz. Rysunek 6.7 przedstawia wynik działania programu `ADSGouraud`.

Cieniowanie Phonga

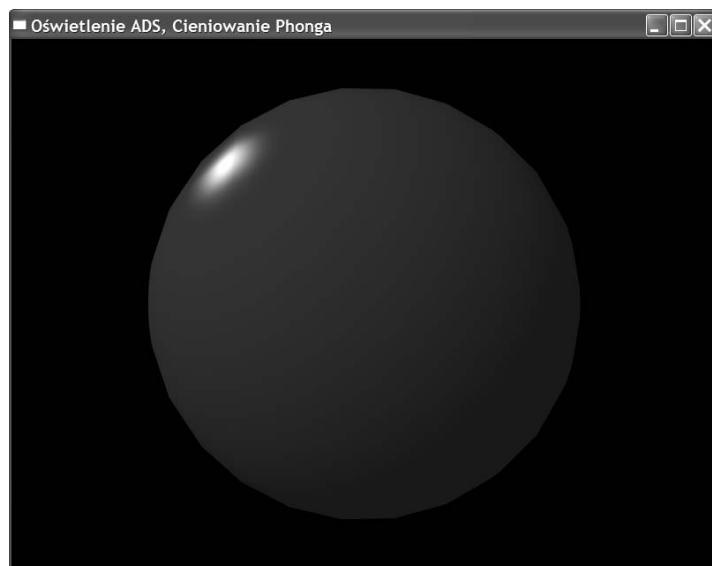
Na rysunku 6.7 widać jedną z największych wad cieniowania Gourauda — odbłysek układa się w kształt gwiazdy. W niektórych przypadkach można by było powiedzieć, że to zamierzony efekt artystyczny. Ale kula widoczna na rysunku w programie się obraca, przez co widać charakterystyczne pasma, które nie wyglądają ładnie i są nieestetyczne. Powodem tych niedoskonałości jest brak ciągłości między trójkątami wynikający z zastosowania liniowej interpolacji

Rysunek 6.7.
Oświetlenie
wierzchołkowe metodą
cieniowania Gourauda



w przestrzeni kolorów. Te jasne linie to granice między poszczególnymi trójkątami. Problem ten można próbować wyeliminować poprzez zwiększenie liczby wierzchołków. Jednak lepszym i bardziej efektywnym sposobem jest zastosowanie techniki o nazwie **cieniowanie Phong** (ang. *Phong shading*). Zamiast wartości kolorów będziemy interpolować normalne do powierzchni między wierzchołkami. Efekt zastosowania cieniowania Phong przedstawia rysunek 6.8, na którym widać okno programu ADSPhong (rysunki 6.7 i 6.8 znajdują się również na tablicy 5 w kolorowej wkładce).

Rysunek 6.8.
Oświetlenie pikselowe
(cieniowanie Phong)



Oczywiście nie ma nic za darmo. W tej technice musimy więcej popracować w shaderze fragmentów, który będzie wywoływany o wiele częściej niż shader wierzchołków. Podstawowy kod niczym nie różni się od kodu programu ADSGouraud. Natomiast duże różnice są w kodzie shaderów. Na listingu 6.10 znajduje się kod nowego shadera wierzchołków.

Listing 6.10. Shader wierzchołków ADSPhong

```

// Shader oświetlenia punktowego ADS
// Shader wierzchołków
// Richard S. Wright Jr
// OpenGL. Księga eksperta
#version 330

// Dane wejściowe wierzchołków... położenie i normalna
in vec4 vVertex;
in vec3 vNormal;

uniform mat4  .mvpMatrix;
uniform mat4   mvMatrix;
uniform mat3   normalMatrix;
uniform vec3   vLightPosition;

// Kolor do shadera fragmentów
smooth out vec3 vVaryingNormal;
smooth out vec3 vVaryingLightDir;

void main(void)
{
    // Obliczanie normalnej do powierzchni we współrzędnych oka
    vVaryingNormal = normalMatrix * vNormal;

    // Obliczenie położenia wierzchołka we współrzędnych oka
    vec4 vPosition4 = mvMatrix * vVertex;
    vec3 vPosition3 = vPosition4.xyz / vPosition4.w;

    // Obliczenie wektora wskazującego kierunek w stronę źródła światła
    vVaryingLightDir = normalize(vLightPosition - vPosition3);

    // Przekształcenie geometrii!
    gl_Position =.mvpMatrix * vVertex;
}

```

We wszystkich obliczeniach oświetlenia wykorzystywana jest normalna do powierzchni i wektor kierunku światła. Wektory te przekazujemy zamiast obliczonych wartości kolorów wierzchołków (po jednej dla każdego):

```

smooth out vec3 vVaryingNormal;
smooth out vec3 vVaryingLightDir;

```

Teraz shader fragmentów ma znacznie więcej pracy, co widać na listingu 6.11.

Listing 6.11. Shader fragmentów programu ADSPhong

```

// Shader oświetlenia punktowego ADS
// Shader fragmentów
// Richard S. Wright Jr
// OpenGL. Księga eksperta
#version 330

out vec4 vFragColor;

uniform vec4    ambientColor;
uniform vec4    diffuseColor;
uniform vec4    specularColor;

smooth in vec3  vVaryingNormal;
smooth in vec3  vVaryingLightDir;

void main(void)
{
    // Obliczenie natężenia składowej światła rozproszonego poprzez obliczenie iloczynu skalarnego wektorów
    float diff = max(0.0, dot(normalize(vVaryingNormal),
    ↪normalize(vVaryingLightDir)));

    // Mnożenie natężenia przez kolor rozproszony, alfa ma wartość 1.0
    vFragColor = diff * diffuseColor;

    // Dodanie składowej światła otaczającego
    vFragColor += ambientColor;

    // Światło odbite zwierciadlanie
    vec3 vReflection = normalize(reflect(-normalize(vVaryingLightDir),
    ↪normalize(vVaryingNormal)));
    float spec = max(0.0, dot(normalize(vVaryingNormal), vReflection));
    if(diff != 0) {
        float fSpec = pow(spec, 128.0);
        vFragColor.rgb += vec3(fSpec, fSpec, fSpec);
    }
}

```

Przy obecnym rozwoju techniki wybór takich zaawansowanych metod wysokiej jakości renderowania jest często uzasadniony. Poprawa jakości obrazu jest znaczna, a utrata wydajności często zaniechywana. Jednak w niektórych sytuacjach, np. przy programowaniu mało wydajnego sprzętu (takiego jak układ wbudowany) lub dużym obciążeniu sceny innymi wysokiej jakości algorytmami, najlepszym wyborem może być cieniowanie Gourauda. Ogólna zasada optymalizacji działania shaderów głosi, aby jak najwięcej zadań wykonywać w shaderze wierzchołków, a jak najmniej w shaderze fragmentów. Chyba już wiadomo dlaczego.

Korzystanie z tekstur

Pobranie tekstury do shadera jest bardzo łatwe. Najpierw do shadera wierzchołków przekazywane są współrzędne tekstury jako atrybuty. Następnie w shaderze fragmentów interpoluje się je płynnie między wierzchołkami. Później shader ten wykorzystuje interpolowane współrzędne do **próbkowania** (ang. *sample*) tekstury. Obiekt tekstury związany z shaderem jest już przygotowany do ewentualnego mipmapowania, ma ustawione tryby filtrowania i zawijania itd. Poddany próbkowaniu i filtrowaniu kolor tekstury wraca w postaci wartości koloru RGBA, którą można zapisać bezpośrednio we fragmencie lub połączyć z innymi obliczeniami kolorów. Pobieraniem i zwracaniem tekstur przy użyciu języka GLSL zajmiemy się bardziej szczegółowo w następnym rozdziale. Tutaj pokażemy tylko podstawowe techniki, abyśmy mogli kontynuować pracę.

Nic, tylko teksele

Działanie najprostszego możliwego shadera wykorzystującego teksturę przedstawimy na przykładzie programu TexturedTriangle. Jego zadanie polega tylko na narysowaniu trójkąta i pokryciu go teksturą, tak jak widać na rysunku 6.9.

Rysunek 6.9.
Program rysujący trójkąt z nałożoną teksturą



Kod kliencki w C/C++ renderujący trójkąt jest bardzo prosty. Także samo nałożenie tekstury na trójkąt nie jest dla nas niczym nowym, ponieważ robiliśmy to już przy użyciu shaderów standardowych. Na listingu 6.12 przedstawiamy kod shadera wierzchołków odbierającego atrybuty wierzchołków.

Listing 6.12. Shader wierzchołków programu *TexturedTriangle*

```
// Shader TexturedIdentity
// Shader wierzchołków
// Richard S. Wright Jr
// OpenGL SuperBible
#version 330

in vec4 vVertex;
in vec2 vTexCoords;

smooth out vec2 vVaryingTexCoords;

void main(void)
{
    vVaryingTexCoords = vTexCoords;
    gl_Position = vVertex;
}
```

Najważniejszymi elementami tego shadera są wejściowy atrybut wierzchołka o nazwie `vTexCoords` zawierający współrzędne tekstury `s` i `t` dla wierzchołka oraz zmienna wyjściowa `vVaryingTexCoords`. To wszystko, czego potrzeba do interpolowania współrzędnych tekstury na powierzchni naszego trójkąta.

Kod shadera fragmentów, przedstawiony na listingu 6.13, również jest krótki i zawiera coś nowego.

Listing 6.13. Shader fragmentów programu *TexturedTriangle*

```
// Shader TexturedIdentity
// Shader fragmentów
// Richard S. Wright Jr
// OpenGL. Księga eksperta
#version 330

uniform sampler2D colorMap;

out vec4 vFragColor;
smooth in vec2 vVaryingTexCoords;

void main(void)
{
    vFragColor = texture(colorMap, vVaryingTexCoords.st);
}
```

Na początku programu został użyty nowy typ zmiennej o nazwie `sampler2D`:

```
uniform sampler2D colorMap;
```

Typ `sampler` to liczba całkowita (jej wartość ustawia się za pomocą funkcji `glUniform1i`) reprezentująca jednostkę tekstury, z którą związana jest tekstura mająca zostać poddana próbkowa-

niu. Przyrostek 2D oznacza, że używana jest tekstura dwuwymiarowa. Można również korzystać z wersji 1D, 3D i innych, których szczegółowy opis znajduje się w następnym rozdziale. W rozdziale 5. opisaliśmy obiekty tekstur pozwalające zarządzać dowolną liczbą stanów tekstur, a do wybierania tych obiektów służyła nam funkcja `glBindTexture`. We wszystkich tych przypadkach wykonywaliśmy wiązanie z domyślną jednostką tekstury o numerze 0. Jednostek takich jest jednak więcej i z każdą z nich można łączyć inny obiekt tekstury. Możliwość korzystania z wielu tekstur jednocześnie pozwala uzyskać mnóstwo ciekawych efektów, ale więcej informacji na ten temat znajduje się w następnym rozdziale.

Ustawienie zmiennej `sampler`, która jest typu `uniform`, i wyrenderowanie trójkąta w kodzie klienckim jest bardzo proste.

```
glUseProgram(myTexturedIdentityShader);
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, textureID);
GLint iTextureUniform = glGetUniformLocation(myTexturedIdentityShader,
                                             "colorMap");

glUniform1i(iTextureUniform, 0);

triangleBatch.Draw();
```

W shaderze wywołujemy wbudowaną funkcję mapowania tekstur o nazwie `texture`. Robimy to w celu wykonania próbkowania naszej tekstury przy użyciu interpolowanych współrzędnych tekstury i przypisania wartości koloru bezpośrednio do koloru fragmentów.

```
vFragColor = texture(colorMap, vVaryingTexCoords.st);
```

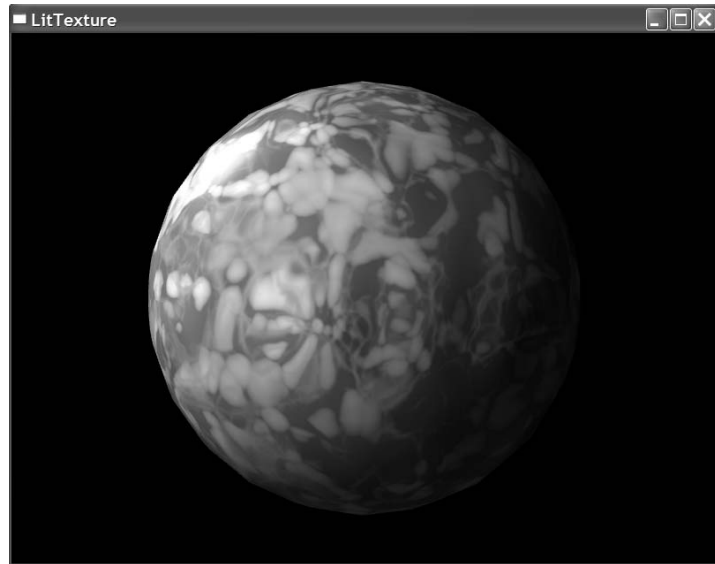
Oświetlanie tekseleli

Wiemy już, jak próbować tekstury, a więc możemy spróbować zrobić coś ciekawszego, np. dodać teksturę do shadera `ADSPhong`. We wszystkich shaderach oświetlenia postępowaliśmy według jednego schematu — mnożyliśmy podstawowe wartości kolorów przez natężenie światła dla każdego wierzchołka lub każdego piksela. Zmodyfikowany shader `ADSPhong`, który nazwiemy `ADSTexture`, próbkuje teksturę, a następnie mnoży jej wartości kolorów przez natężenie światła. Wynik tego działania przedstawia rysunek 6.10, na którym widać okno programu `LitTexture`. Zwróć szczególną uwagę na jasny biały odbłask po lewej stronie górnej części kuli.

Ten biały rozbłysk przypomina nam o jednej ważnej rzeczy, którą musimy brać pod uwagę przy oświetlaniu teksturowanych powierzchni. Suma światła otaczającego i rozproszonego może dać światło białe, które w przestrzeni kolorów reprezentują same jedynki. Wynikiem pomnożenia koloru tekstury przez kolor biały są oryginalne, w żaden sposób niezmienione wartości kolorów tekseleli. Oznacza to, że nie da się pomnożyć koloru tekstury przez prawidłową wartość światła, aby uzyskać biały rozbłysk. Przynajmniej z założenia tak *powinno* być.

W rzeczywistości wyniki obliczeń światła, także rozbłysku, wykraczają nieco ponad 1.0 dla każdego kanału koloru. Oznacza to, że *istnieje* możliwość przesylenia kolorów i uzyskania białego

Rysunek 6.10.
Połączenie światła
z teksturą w programie
LitTexture



rozbłysku. Prawidłowo jednak powinno się pomnożyć sumę natężeń światła otaczającego i rozproszonego przez kolor tekstury, a następnie dodać składową światła odbitego zwierciadlanie. Na listingu 6.14 znajduje się odpowiednio zmodyfikowana wersja shadera ADSPHong.

Listing 6.14. Shader fragmentów programu ADSTexture

```
// Shader oświetlenia punkowego ADS
// Shader fragmentów
// Richard S. Wright Jr
// OpenGL. Księga eksperta
#version 330

out vec4 vFragColor;

uniform vec4    ambientColor;
uniform vec4    diffuseColor;
uniform vec4    specularColor;
uniform sampler2D colorMap;

smooth in vec3 vVaryingNormal;
smooth in vec3 vVaryingLightDir;
smooth in vec2 vTexCoords;

void main(void)
{
    // Obliczenie natężenia składowej światła rozproszonego poprzez obliczenie iloczynu skalarnego wektorów
    float diff = max(0.0, dot(normalize(vVaryingNormal),
    ↪normalize(vVaryingLightDir)));

    // Mnożenie natężenia przez kolor rozproszony, alfa ma wartość 1.0
    vFragColor = diff * diffuseColor;
```

```

// Dodanie składowej światła otaczającego
vFragColor += ambientColor;

// Dodanie tekstury
vFragColor *= texture(colorMap, vTexCoords);

// Światło odbite zwierciadlanie
vec3 vReflection = normalize(reflect(-normalize(vVaryingLightDir),
↳normalize(vVaryingNormal)));
float spec = max(0.0, dot(normalize(vVaryingNormal), vReflection));
if(diff != 0) {
    float fSpec = pow(spec, 128.0);
    vFragColor.rgb += vec3(fSpec, fSpec, fSpec);
}
}

```

Anulowanie przetwarzania fragmentów

Shadery fragmentów umożliwiają anulowanie przetwarzania i w konsekwencji zapisywania wartości kolorów fragmentów (a także wartości głębi i szablonów). Do zatrzymania działania shadera fragmentów służy instrukcja `discard`. Często używa się jej do wykonywania **testów alfa**. Typowa operacja mieszania składa się z odczytywania danych z bufora kolorów, wykonania przynajmniej dwóch działań mnożenia, zsumowania kolorów oraz zapisania wartości z powrotem w buforze kolorów. Jeśli kanał alfa ma wartość zero lub bardzo bliską zero, fragmentów praktycznie nie widać. Co gorsza, fragmenty te tworzą w buforze głębi niewidoczny wzór, który może zakłócić wynik testowania głębi. Testowanie alfa ma na celu znalezienie wszystkich wartości poniżej jakiegoś określonego progu i anulowanie rysowania wszystkich fragmentów, dla których kanał alfa ma taką właśnie wartość. Poniżej znajduje się przykładowy kod wyszukujący wartości alfa mniejsze od 0.1:

```

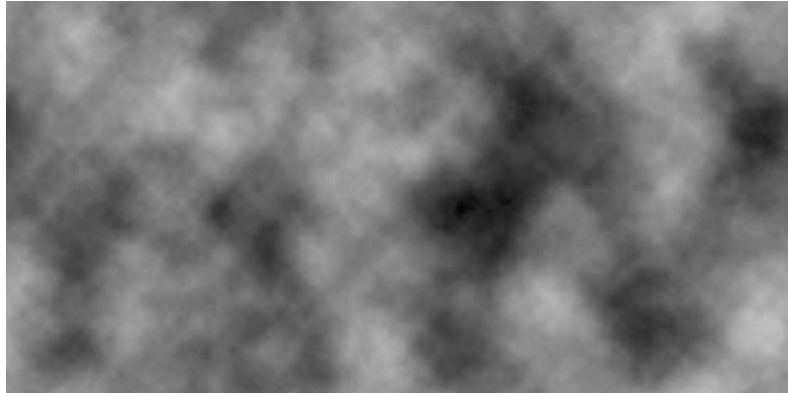
if(vColorValue.a < 0.1f)
discard;

```

Możliwość tę można wykorzystać do uzyskania ciekawego efektu, jakim jest shader erozyjny. Shader erozyjny daje złudzenie, że obiekty geometryczne w miarę upływu czasu ulegają erozji. Dzięki instrukcji `discard` można sterować wyświetlaniem fragmentów z pikselową precyzją. Przykład opisywanego efektu przedstawia program `Dissolve`. Najpierw zdobyliśmy teksturę o odpowiednim wzorze przypominającym chmury. Teksturę taką można łatwo wykonać przy użyciu większości programów do obróbki grafiki. Tekstura, z której my skorzystaliśmy, jest widoczna na rysunku 6.11.

W kodzie klienckim utworzyliśmy czasową zmienną `uniform` zmieniającą wartości w zakresie od 1.0 do 0.0 w czasie 10 sekund. Naszym celem jest to, aby nasz zielony torus w ciągu tych 10 sekund uległ całkowitemu rozkładowi. W tym celu próbujemy teksturę chmury i porównujemy jeden ze składników koloru z naszą zmienną odliczania, anulując rysowanie wszystkich fragmentów, dla których wartość koloru jest mniejsza od ustalonej minimalnej wartości. Kod źródłowy tego shadera fragmentów przedstawia listing 6.15.

Rysunek 6.11.
Tekstura z chmurą użyta
do zademonstrowania
efektu erozji



Listing 6.15. Shader fragmentów programu Dissolve

```

// Shader oświetlenia punktowego ADS
// Shader fragmentów
// Richard S. Wright Jr
// OpenGL. Księga eksperta
#version 330

out vec4 vFragColor;

uniform vec4    ambientColor;
uniform vec4    diffuseColor;
uniform vec4    specularColor;
uniform sampler2D cloudTexture;
uniform float    dissolveFactor;

smooth in vec3 vVaryingNormal;
smooth in vec3 vVaryingLightDir;
smooth in vec2 vVaryingTexCoord;

void main(void)
{
    vec4 vCloudSample = texture(cloudTexture, vVaryingTexCoord);

    if(vCloudSample.r < dissolveFactor)
        discard;

    // Obliczenie natężenia składowej światła rozproszonego poprzez obliczenie iloczynu skalarnego wektorów
    float diff = max(0.0, dot(normalize(vVaryingNormal),
normalize(vVaryingLightDir)));

    // Mnożenie natężenia przez kolor rozproszony, alfa ma wartość 1.0
    vFragColor = diff * diffuseColor;

    // Dodanie składowej światła otaczającego
    vFragColor += ambientColor;

```

```

// Światło odbite zwierciadlanie
vec3 vReflection = normalize(reflect(-normalize(vVaryingLightDir),
↳normalize(vVaryingNormal)));
float spec = max(0.0, dot(normalize(vVaryingNormal), vReflection));
if(diff != 0) {
    float fSpec = pow(spec, 128.0);
    vFragColor.rgb += vec3(fSpec, fSpec, fSpec);
}
}

```

Jest to kolejna modyfikacja shadera fragmentów programu ADSPhong, do którego dodaliśmy efekt rozkładania się obiektu. Najpierw utworzyliśmy zmienne uniform do przechowywania samplera teksturowania i zegara.

```

uniform sampler2D    cloudTexture;
uniform float        dissolveFactor;

```

Następnie próbujemy naszą teksturę i sprawdzamy, czy wartość koloru czerwonego (biorąc pod uwagę, że obraz jest w skali szarości, wybór składowej koloru nie ma większego znaczenia) jest mniejsza od ustalonej wartości. Jeśli tak, nie rysujemy takiego fragmentu.

```

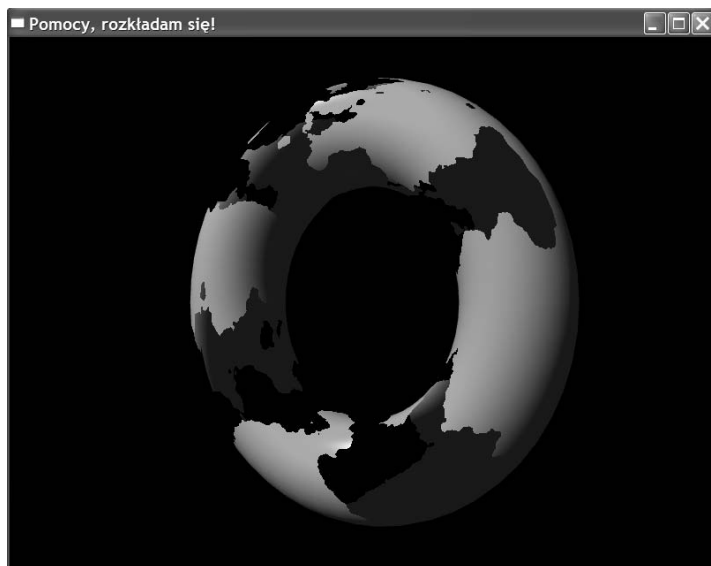
vec4 vCloudSample = texture(cloudTexture, vVaryingTexCoord);

if(vCloudSample.r < dissolveFactor)
    discard;

```

Należy również zauważyć, że działania te wykonujemy we wczesnej fazie działania shadera. Nie ma przecież sensu wykonywać czasochłonnych obliczeń pikselowych, jeśli fragment i tak nie zostanie narysowany. Rysunek 6.12 przedstawia jedną klatkę z naszej animacji.

Rysunek 6.12.
Okno programu
Dissolve



Teksturowanie w stylu kreskówkowym — teksele w roli światła

We wszystkich przykładach mapowania tekstur w tym i poprzednim rozdziale używaliśmy tekstur dwuwymiarowych. Są one najprostsze i najłatwiej zrozumieć sposób ich używania. Większość osób intuicyjnie rozumie proces nakładania dwuwymiarowego obrazu na płaszczyznę dwu- lub trójwymiarowego obiektu. Teraz jednak przedstawimy przykład odwzorowywania tekstury jednowymiarowej. Technika ta często wykorzystywana jest w grach komputerowych do tworzenia obrazów cieniowanych w sposób podobny do stosowanego w kreskówkach. Taki rodzaj cieniowania często nazywany jest **cieniowaniem kreskówkowym** (ang. *toon shading* albo *cel shading*). Sposób ten polega na wykorzystaniu jednowymiarowych tekstur jako tabeli wyszukiwania kolorów do wypełnienia obiektów jednolitym kolorem (w trybie `GL_NEAREST`).

Podstawą tej metody jest wykorzystanie natężenia światła rozproszonego (iloczyn skalarny normalnej do powierzchni przestrzeni oka i wektora światła padającego) jako współrzędnej określającej lokalizację koloru w jednowymiarowej teksturze stanowiącej tabelę kolorów o różnym poziomie jasności (ustawionych od najciemniejszego do najjaśniejszego). Na rysunku 6.13 przedstawiona jest tekstura jednowymiarowa składająca się z czterech czerwonych tekseli (zdefiniowanych jako składowe koloru RGB typu `unsigned byte`).

Rysunek 6.13.
Jednowymiarowa
tabela wyszukiwania
kolorów



Przypomnijmy, że wartość iloczynu skalarnego światła rozproszonego mieści się w granicach od 0.0, co oznacza brak natężenia, do 1.0, co oznacza maksymalne natężenie. Ten zakres dobrze pasuje do zakresu współrzędnych jednowymiarowej tekstury. Załadowanie takiej tekstury jest bardzo łatwe, co widać poniżej:

```
glGenTextures(1, &texture);
glBindTexture(GL_TEXTURE_1D, texture);
GLubyte textureData[4][3] = { 32,  0,  0,
                              64,  0,  0,
                              128, 0,  0,
                              255, 0,  0};

glTexImage1D(GL_TEXTURE_1D, 0, GL_RGB, 4, 0, GL_RGB,
             GL_UNSIGNED_BYTE, textureData);
glTexParameteri(GL_TEXTURE_1D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_NEAREST);
glTexParameteri(GL_TEXTURE_1D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_NEAREST);
glTexParameteri(GL_TEXTURE_1D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_CLAMP_TO_EDGE);
```

Kod ten pochodzi z programu ToonShader wyświetlającego obracający się torus renderowany techniką cieniowania kreskówkowego. Mimo iż klasa GLTriangleBatch użyta do utworzenia torusa dostarcza zestaw dwuwymiarowych współrzędnych teksturowych, my je w naszym shaderze wierzchołków ignorujemy, co widać na listingu 6.16.

Listing 6.16. Shader wierzchołków programu ToonShader

```
// Shader cieniowania kreskówkowego
// Shader wierzchołków
// Richard S. Wright Jr
// OpenGL. Księga eksperta
#version 330

// Dane wejściowe wierzchołków... położenie i normalna
in vec4 vVertex;
in vec3 vNormal;

smooth out float textureCoordinate;

uniform vec3    vLightPosition;
uniform mat4   .mvpMatrix;
uniform mat4    mvMatrix;
uniform mat3    normalMatrix;

void main(void)
{
    // Obliczanie normalnej do powierzchni we współrzędnych oka
    vec3 vEyeNormal = normalMatrix * vNormal;

    // Obliczenie położenia wierzchołka we współrzędnych oka
    vec4 vPosition4 = mvMatrix * vVertex;
    vec3 vPosition3 = vPosition4.xyz / vPosition4.w;

    // Obliczenie wektora wskazującego kierunek w stronę źródła światła
    vec3 vLightDir = normalize(vLightPosition - vPosition3);

    // Obliczenie natężenia światła rozproszonego przy użyciu iloczynu skalarnego
    textureCoordinate = max(0.0, dot(vEyeNormal, vLightDir));

    // Przekształcenie geometrii!
    gl_Position = mvMatrix * vVertex;
}
```

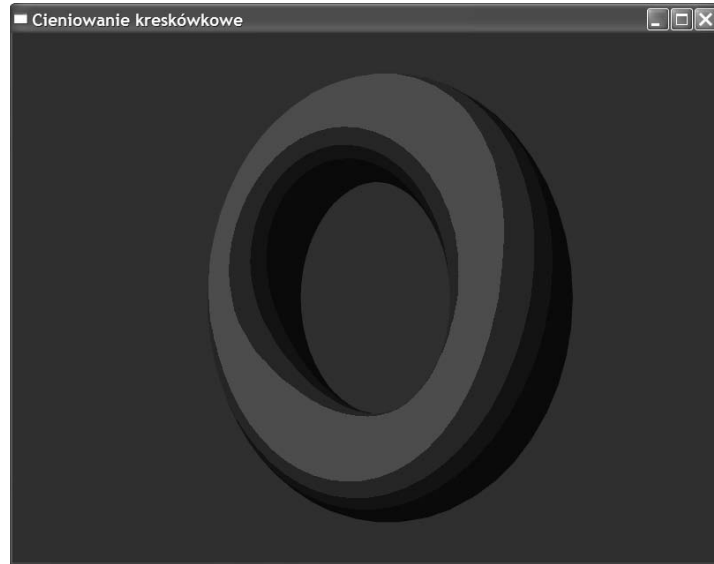
Oprócz położenia obiektów po przekształceniu shader ten zwraca jeszcze tylko interpolowaną współrzędną teksturową textureCoordinate zadeklarowaną jako typu float. Obliczenia składowej światła rozproszonego są wykonywane w sposób identyczny, jak w programie DiffuseLight.

Shader fragmentów próbuje naszą jednowymiarową teksturę i zapisuje wartość we fragmencie w buforze obrazu.

```
vFragColor = texture(colorTable, textureCoordinate);
```


Wynik działania tego programu przedstawia rysunek 6.14. Kolorowy obraz tekstury jednowymiarowej i poniższy rysunek można znaleźć także w kolorowej wkładce na tablicy 6.

Rysunek 6.14.
Torus cieniowany
techniką cieniowania
kreskówkowego



Podsumowanie

W tym rozdziale wydostaliśmy się z ograniczeń standardowych shaderów, których używaliśmy w pięciu początkowych rozdziałach. Klasy typu `GLBatch` z biblioteki `GLTools` ułatwiają przesyłanie najbardziej typowych atrybutów. Teraz wiemy, jak podczepić do tych klas własne atrybuty shaderów. Czytelnicy zobaczyli, jakie są podobieństwa między językami C/C++ i GLSL, poznali funkcje standardowe GLSL oraz nauczyli się pisać w nim własne funkcje. Poznali też dwa modele oświetlenia i nauczyli się je implementować we własnych shaderach, poznali wady i zalety wykonywania skomplikowanych obliczeń w shaderze fragmentów i wierzchołków. Poruszony też został temat pozyskiwania danych teksturowych w shaderach.

Czytelnicy dowiedzieli się, jak odwzorowuje się tekstury dwuwymiarowe na powierzchni obiektów, oraz nauczyli się, jak można wykorzystywać tekstury jako „dane”, traktując je jako tabele wyszukiwania wykorzystywane do eliminowania elementów geometrii za pomocą instrukcji `discard` oraz jako jednowymiarowe tabele kolorów do implementowania cieniowania kreskówkowego.

W tym rozdziale przedstawiono tylko niewielką część możliwości oferowanych przez język GLSL. W dalszych rozdziałach można będzie poznać go znacznie dokładniej i nauczyć się stosować wiele innych ciekawych efektów graficznych, rozszerzając przy tym swoją wiedzę na temat API OpenGL. Po co więc zwlekać? Masz już wystarczającą wiedzę, aby zacząć eksperymentować na własną rękę. Możesz zacząć od modyfikowania przykładowych programów albo wymyślić własne!

Skorowidz

.NET, 538
2D, 41
3D, 41
3DS Max, 365

A

abs(), 269
acos(), 266
acosh(), 266
Add/Existing Framework, 87
Add/Existing Item, 83
AddTriangle(), 167
ADS, 278
 shader, 280
ADSGouraud, 280
ADSPhong, 283, 284, 287
ADSTexture, 287, 288
 shader fragmentów, 288
AGL, 560
aktorzy, 185, 186
 dodawanie aktorów, 191
aktualizacja tekstur, 210
alfa, 98
algorytm grupowania w stada, 511
algorytm malarza, 126
algorytm usuwania płaszczyzn tylnych, 424
algorytmy antyaliasingu, 143
algorytmy rekurencyjne, 510
aliasing, 379
all(), 269, 453
alokacja obiektu VBO, 479
alpha-to-coverage, 391
ambient light, 278
AMD_, 66
amplification, 417
animacja, 103
Anisotropic, 236
antialiasing, 140
anulowanie przetwarzania fragmentów, 289
any(), 269, 453
API, 52
API Carbon, 561
API OpenGL, 62, 74
API WGL, 537
API Windows, 532
aplikacje Cocoa, 86, 561
aplikacje dla iPhone'a, 629
 bufor głębi, 638
 GLTools, 632
 język C++, 631
 komunikaty dotykowe, 640
 orientacja urządzenia, 638
 projekt aplikacji, 629
 renderowanie OpenGL ES, 635
 SphereWorld, 633
 tekstury, 636
 tryb panoramiczny, 638
 UIView, 639
aplikacje konsolowe Win32, 81
aplikacje OpenGL w systemie Linux, 587, 602
ARB, 23, 64, 535
ARB_, 66
ARB_uniform_buffer_object, 461
Architecture Review Board, 64, 535
architektura klient-serwer, 107
architektura shadera, 243
ASCII, 41
asin(), 266
asinh(), 266
asynchroniczne wywołania funkcji glReadPixels, 330
atan(), 266
atanh(), 266
ATI_, 66
atrybuty, 109, 113
 GLShaderManager, 113
 GLSL, 249
 GLT_ATTRIBUTE_COLOR, 114
 GLT_ATTRIBUTE_NORMAL, 114, 115
 GLT_ATTRIBUTE_TEXTURE0, 115
 GLT_ATTRIBUTE_VERTEX, 114, 115
 identyfikatory atrybutów, 113
atrybuty formatów pikseli, 541
 Cocoa, 575

atrybuty konfiguracji EGL, 621
 atrybuty przeplatane, 480
 attribute, 109
 automatyczne pobieranie danych, 495
 AUX, 72

B

back face culling, 127
 bajt bez znaku, 75
 Begin(), 100, 126, 221
 BeginMesh(), 167
 biblioteka

- AUX, 72
- GLEW, 73, 537, 573
- GLTools, 65, 73
- GLUT, 72, 93, 532
- IRIS GL, 63
- Math3D, 111
- OpenGL, 31, 38, 48, 62

 Bit-Level-Image-Transfer, 347
 bitmapy, 196
 blending, 47, 71
 blending equation, 136
 blit, 347
 BLOCK, 44
 block_redux, 550
 Block-Transfer, 347
 blok domyślny, 454
 blok interfejsu, 421
 blok zmiennych jednorodnych, 454, 455

- indeksy składowe, 456
- informacje o składowych, 456
- określanie wiązań, 463
- pobieranie indeksów składowych, 458, 460
- przypisanie punktu wiązania, 462
- tworzenie, 455
- układ standardowy, 459
- ustawianie macierzy, 459
- wartości tablicy, 458
- wartość zmiennej typu float, 458
- znajdowanie indeksu, 461

 blokada gimbała, 188
 błędy EGL, 627
 błędy OpenGL, 76
 bool, 243
 bufor danych przekształceń, 501
 bufor głębi, 128

- aplikacje dla iPhone'a, 638
- maskowanie, 406

 bufor klatki, 100
 bufor kolorów, 100, 135, 209

bufor obrazu, 326, 338

- FBO, 338
- kompletność, 344
- kopiowanie danych, 347
- OpenGL ES 2.0, 614
- sprawdzanie, 345
- stosowanie, 348

 bufor pikseli, 100, 331

- inicjalizacja, 332
- odczytywanie danych pikseli, 331
- stosowanie, 332
- tworzenie, 337

 bufor przekształcenia zwrotnego, 500, 501, 502
 bufor rysowania, 341

- odwzorowywanie buforów, 343
- przekazywanie danych z shadera, 343

 bufor szablonu, 93, 397, 399, 403

- maskowanie, 407

 bufor wierzchołków, 478

- tworzenie, 478

 buforowanie, 326, 568

- dostęp do danych, 360
- formaty zmiennoprzecinkowe, 365
- kompresja tekstur, 386
- kopiowanie buforów, 361
- mapowanie buforów, 360
- odwzorowywanie fragmentów wyjściowych, 362
- podwójne buforowanie, 93, 539, 556
- wielopróbkowanie, 379
- wysyłanie danych z shadera pikseli, 362

 bufory, 326

- FBO, 348
- modele użycia, 329
- napełnianie, 328
- obiekty bufora pikseli, 329
- odczytywanie danych pikseli, 331
- odwiązanie od punktu wiązania, 328
- PBO, 329, 330
- punkty wiązania obiektów buforowych, 327
- tworzenie, 327
- usuwanie, 328

 bvec2, 244
 bvec3, 244
 bvec4, 244

C

CAD, 49, 365
 całkowitoliczbowe indeksy elementów bez znaku, 615
 Cathode Ray Tube, 41
 ceil(), 270

- cel shading, 292
 - central processing unit, 50
 - centroid, 247, 448, 449, 450
 - CGDisplayHideCursor(), 579
 - CGL, 560, 581
 - CGLGetCurrentContext(), 581
 - CGLSetParameter(), 582
 - czas między zamianami buforów, 582
 - funkcje, 581
 - kCGLCESurfaceBackingSize, 583
 - kCGLCPSurfaceBackingSize, 583
 - kCGLEMPEngine, 583
 - kontekst, 581
 - przyspieszanie operacji wypełniania, 582
 - synchronizacja szybkości klatek, 581
 - szarpanie obrazu, 581
 - wielowątkowość, 583
 - CGLEnable(), 583
 - CGLGetCurrentContext(), 581
 - CGLSetParameter(), 582
 - ChangeSize(), 94, 96, 175, 639
 - chmury, 367
 - ChoosePixelFormat(), 545
 - ciągi linii, 119
 - cieniowanie, 45
 - cieniowanie fragmentów, 108
 - cieniowanie Gourauda, 274, 282
 - cieniowanie kreskówkowe, 292
 - cieniowanie Phonga, 281, 282
 - cieniowanie wierzchołków, 108
 - clamp(), 270, 271, 453
 - clamped, 217
 - clipping region, 53
 - Cocoa, 561, 573
 - atrybuty formatów pikseli, 575
 - atrybuty widoku OpenGL, 567
 - buforowanie, 568
 - formaty pikseli, 574
 - GLTools, 569
 - konfiguracja właściwości widoku OpenGL, 565
 - NSOpenGLPixelFormat, 574
 - NSOpenGLView, 562, 565
 - Objective-C++, 569
 - pliki tekstur, 572
 - renderowanie pełnoekranowe, 574
 - skracanie programu SphereWorld, 570
 - SphereWorld, 569, 571
 - szkielet klasy widoku OpenGL, 567
 - tworzenie klasy OpenGL, 563
 - tworzenie programu, 561
 - widok OpenGL, 561
 - Cocoa Application, 86
 - CocoaGL, 561, 580
 - color buffer, 100
 - COLORREF, 98
 - column-major matrix ordering, 154
 - COM, 68
 - compatibility profile, 23
 - Component Object Model, 68
 - const, 246, 247
 - coordinate system, 52
 - CopyColorData4f(), 125
 - CopyNormalData4f(), 125
 - CopyTexCoordData2f(), 125
 - CopyVertexData(), 221
 - CopyVertexData3f(), 100, 102, 126
 - core profile, 23
 - cos(), 266
 - cosh(), 266
 - CPU, 50
 - Create a New Xcode Project, 85
 - crepuscular rays, 367
 - cross(), 267, 453
 - CRT, 41
 - CStopWatch, 177
 - cube map, 300
 - Cubemap, 300, 305
 - czas rzeczywisty, 41
 - czas wykonywania poleceń, 475
 - cząsteczki, 309, 511
 - częściowo przykryte wielopróbkowane piksele, 449
 - czworokąt, 436
 - czworokąt pokrywający cały ekran, 436
 - czyszczenie bufora, 100
- ## D
- dane attribute, 109
 - dane graficzne, 196
 - dane teksturowe, 110, 320
 - dane uniform, 259
 - DCE, 534
 - decaling, 132
 - definiowanie
 - płaszczyzna obcinania, 519
 - widok, 96
 - degrees(), 266
 - deklaracja
 - atrybuty, 249
 - blok zmiennych jednorodnych, 454
 - dane wyjściowe, 250
 - zmienne, 243

Desktop Window Manager, 534
 deprecated, 23
 depth buffer, 128
 depth clamping, 400
 DEPTH_STENCIL, 340
 Desktop Compositing Engine, 534
 detektor krawędzi Sobela, 443
 determinant(), 268, 453
 determinanta macierzy, 453
 diffuse light, 272, 279
 DiffuseLight, 274, 278
 Direct3D, 68, 538
 directional light, 272
 DirectX, 68
 DirectX 3D, 23
 discard, 289, 446
 Dissolve, 289
 shader fragmentów, 290
 distance(), 267, 453
 dithering, 390, 404
 do, 452
 dodawanie aktorów, 191
 dodawanie pliku źródłowego, 82
 dokonaniu(), 478
 dołączanie obiektów RBO, 340
 dołączanie plików nagłówkowych, 92
 dołączanie shadera, 256
 domyślny shader oświetlenia, 114
 dopasowanie tekstury do obiektu geometrycznego,
 214
 dostęp do tablic tekstur, 320
 dot(), 267, 453
 dowiązanie do stanów tekstury, 211
 Draw(), 101, 126, 167, 183, 222
 DWM, 534
 dwoistość model-widok, 157
 dwuwymiarowy układ kartezjański, 52
 dysk, 170

E

efekt cząsteczkowy, 309
 efekt erozji, 290
 efekt lustra, 354
 efekt mieszania kolorów, 47
 efekt odbicia, 47, 240, 304, 355
 efekt poświaty, 376
 efekt przestrzeni międzygwiazdnej, 312
 efekt przezroczystości, 47
 efekt rozmycia obiektów w ruchu, 332
 efekt trójwymiarowy, 43, 44

EGL, 619
 API renderingu, 620
 atrybuty konfiguracji, 621, 624
 błędy, 627
 bufory, 626
 eglBindAPI, 620
 ekrany, 619
 inicjalizacja, 620
 konfiguracje ekranu, 621
 kontekst renderingu, 625
 łańcuchy, 627
 pobieranie łańcuchów, 627
 powierzchnia renderingu, 625
 prezentacja buforów, 626
 rozszerzanie, 627
 synchronizacja renderowania, 626
 tworzenie okna, 621
 tworzenie powierzchni renderingu, 625
 wybór konfiguracji, 622
 zapytania o atrybuty konfiguracji, 623
 zarządzanie kontekstem, 625
 EGL_ALPHA_MASK_SIZE, 622, 624
 EGL_ALPHA_SIZE, 621, 624
 EGL_BAD_ACCESS, 627
 EGL_BAD_ALLOC, 627
 EGL_BAD_ATTRIBUTE, 627
 EGL_BAD_CONFIG, 627
 EGL_BAD_CONTEXT, 627
 EGL_BAD_CURRENT_SURFACE, 627
 EGL_BAD_DISPLAY, 627
 EGL_BAD_MATCH, 627
 EGL_BAD_NATIVE_PIXMAP, 627
 EGL_BAD_NATIVE_WINDOW, 627
 EGL_BAD_PARAMETER, 627
 EGL_BAD_SURFACE, 627
 EGL_BIND_TO_TEXTURE_RGB, 621, 624
 EGL_BIND_TO_TEXTURE_RGBA, 621, 624
 EGL_BLUE_SIZE, 621, 624
 EGL_BUFFER_SIZE, 621, 624
 EGL_COLOR_BUFFER_TYPE, 622, 624
 EGL_CONFIG_CAVEAT, 621, 623, 624
 EGL_CONFIG_ID, 621, 624
 EGL_CONTEXT_LOST, 627
 EGL_CORE_NATIVE_ENGINE, 626
 EGL_DEFAULT_DISPLAY, 620
 EGL_DEPTH_SIZE, 621, 624
 EGL_EXTENSIONS, 627
 EGL_FALSE, 627
 EGL_GREEN_SIZE, 621, 624
 EGL_LEVEL, 621, 624
 EGL_LUMINANCE_SIZE, 621, 624

- EGL_MAX_SWAP_INTERVAL, 622, 624, 626
 - EGL_MIN_SWAP_INTERVAL, 622, 624, 626
 - EGL_NATIVE_RENDERABLE, 621, 624
 - EGL_NATIVE_VISUAL_ID, 622
 - EGL_NATIVE_VISUAL_TYPE, 622, 624
 - EGL_NO_CONTEXT, 625, 626
 - EGL_NO_DISPLAY, 620
 - EGL_NO_SURFACE, 626
 - EGL_NONE, 623
 - EGL_NOT_INITIALIZED, 627
 - EGL_OPENGL_API, 620
 - EGL_OPENGL_ES_API, 620
 - EGL_OPENGL_API, 620
 - EGL_RED_SIZE, 621, 624
 - EGL_RENDERABLE_TYPE, 622, 624
 - EGL_SAMPLE_BUFFERS, 622, 624
 - EGL_SAMPLES, 622, 624
 - EGL_STENCIL_SIZE, 621, 624
 - EGL_SUCCESS, 627
 - EGL_SURFACE_TYPE, 622, 624
 - EGL_TRANSPARENT_BLUE_VALUE, 622, 624
 - EGL_TRANSPARENT_GREEN_VALUE, 622, 624
 - EGL_TRANSPARENT_RED_VALUE, 622, 624
 - EGL_TRANSPARENT_TYPE, 622, 624
 - EGL_TRUE, 627
 - EGL_VERSION, 627
 - eglBindAPI(), 620
 - eglChooseConfig(), 622
 - eglCreateContext(), 625
 - eglCreateWindowSurface(), 625
 - eglDestroyContext(), 626
 - eglDestroySurface(), 625
 - eglGetConfigAttrib(), 623
 - eglGetConfigs(), 623
 - eglGetDisplay(), 619
 - eglGetError(), 627
 - eglGetProcAddress(), 627
 - eglInitialize(), 620
 - eglMakeCurrent(), 620, 626
 - eglQueryAPI(), 620
 - eglQueryString(), 627
 - eglReleaseThread(), 620
 - eglSwapBuffers(), 626
 - eglSwapInterval(), 626
 - eglTerminate(), 620
 - eglWaitGL(), 626
 - eglWaitNative(), 626
 - ekrany EGL, 619
 - EmitPrimitive(), 423
 - EmitVertex(), 422, 423, 427
 - End(), 125, 126, 167
 - EndPrimitive(), 422, 423, 427
 - equal(), 269
 - ETC_RGB8, 615
 - ETC1, 386
 - EULER, 187
 - exp(), 266
 - exp2(), 266
 - EXT_, 66
- ## F
- faceforward(), 267
 - FBO, 338, 350, 353
 - stosowanie, 348
 - fence sync object, 523
 - File, 82
 - fill limited, 129
 - filtr pomniejszający, 215
 - filtr powiększający, 215
 - filtr splotu, 440
 - filtr tekstur mipmapowanych, 225
 - filtrowanie tekstur, 215
 - filtrowanie anizotropowe, 234
 - filtrowanie izotropowe, 235
 - filtrowanie liniowe, 215, 216
 - filtrowanie mipmap, 224
 - filtrowanie najbliższego sąsiada, 215, 216
 - fizyczne symulacje w shaderze wierzchołków, 410
 - flat, 259, 448
 - flat shader, 114
 - FlatShader, 263
 - floatBitsToInt(), 271, 453
 - floatBitsToUInt(), 272
 - flocking algorithm, 511
 - floor(), 270
 - for, 452
 - foreshortening, 44, 158
 - format OpenEXR, 368
 - formaty całkowitoliczbowe, 384
 - formaty pikseli, 201, 539, 574
 - atrybuty, 541
 - ustawianie, 546
 - wybór, 546
 - wyliczenia, 545
 - formaty tekstur, 209
 - formaty tekstur skompresowanych, 237, 386
 - formaty zmiennoprzecinkowe bufora renderowania, 365, 366
 - odzorowywanie tonów, 369
 - renderowanie HDR, 366

- fract(), 270
- fragment shader, 108
- fraktale, 442
- framebuffer, 100, 338
- framebuffer object, 338
- freeglut, 72, 80, 589
- FREEGLUT_STATIC, 92
- front face culling, 128
- frusta, 58, 112
- frusta widoku, 519
- frustum, 58
- funkcje
 - abs(), 269
 - acos(), 266
 - acosh(), 266
 - all(), 269, 453
 - any(), 269, 453
 - asin(), 266
 - asinh(), 266
 - atan(), 266
 - atanh(), 266
 - ceil(), 270
 - CGLEnable(), 583
 - ChangeSize(), 639
 - ChoosePixelFormat(), 545
 - clamp(), 270, 271, 453
 - CopyVertexData(), 221
 - cos(), 266
 - cosh(), 266
 - cross(), 267, 453
 - degrees(), 266
 - determinant(), 268, 453
 - distance(), 267, 453
 - dokonaniu(), 478
 - dot(), 267, 453
 - eglBindAPI(), 620
 - eglChooseConfig(), 622
 - eglCreateContext(), 625
 - eglCreateWindowSurface(), 625
 - eglDestroyContex(), 626
 - eglDestroySurface(), 625
 - eglGetConfigAttrib(), 623
 - eglGetConfigs(), 623
 - eglGetDisplay(), 619
 - eglGetError(), 627
 - eglGetProcAddress(), 627
 - eglInitialize(), 620
 - eglMakeCurrent(), 620, 626
 - eglQueryAPI(), 620
 - eglQueryString(), 627
 - eglReleaseThread(), 620
 - eglSwapBuffers(), 626
 - eglSwapInterval(), 626
 - eglTerminate(), 620
 - eglWaitGL(), 626
 - eglWaitNative(), 626
 - EmitPrimitive(), 423
 - EmitVertex(), 422, 423, 427
 - EndPrimitive(), 422, 423, 427
 - equal(), 269
 - exp(), 266
 - exp2(), 266
 - faceforward(), 267
 - floatBitsToInt(), 271, 453
 - floatBitsToUint(), 272
 - floor(), 270
 - fract(), 270
 - GetDC(), 554
 - GetNormalMatrix(), 275
 - glActiveTexture(), 306, 307, 337
 - glAttachShader(), 256, 419, 612
 - glBegin(), 608
 - glBeginConditionalRender(), 473
 - glBeginQuery(), 468, 469, 475, 507
 - glBeginTransformFeedback(), 505, 506
 - glBindAttribLocation(), 256, 257, 613
 - glBindBuffer(), 327, 328, 337, 479, 481, 484, 485, 503, 504
 - glBindBufferBase(), 462, 503, 504
 - glBindBufferRange(), 504
 - glBindFragDataLocation(), 363
 - glBindFragDataLocationIndexed(), 364, 402
 - glBindFramebuffer(), 339, 341
 - glBindRenderbuffer(), 340
 - glBindTexture(), 211, 219, 220, 234, 292, 297, 306, 307, 337
 - glBindVertexArray(), 478, 485
 - glBlendColor(), 140, 402
 - glBlendEquation(), 139, 401
 - glBlendEquationSeparate(), 401
 - glBlendFunc(), 137, 138, 139, 140, 401
 - glBlendFuncSeparate(), 140, 401
 - glBlitFramebuffer(), 347, 351
 - glBufferData(), 328, 331, 337, 360, 455, 478, 482, 503
 - glBufferSubData(), 328, 329, 478
 - glCheckFramebufferStatus(), 345
 - GLclampf(), 98
 - glClear(), 100, 604
 - glClearBufferiv(), 384

glClearBufferuiv(), 384
 glClearColor(), 98, 604
 glClearStencil(), 399
 glClientWaitSync(), 525, 526
 glColorMask(), 406, 470
 glColorMaski(), 406
 glCompileShader(), 256, 419, 612
 glCompressedTexImage1D(), 239, 387
 glCompressedTexImage2D(), 239, 387, 615
 glCompressedTexImage3D(), 239, 387
 glCompressedTexSubImage(), 239
 glCopyBuffer(), 478
 glCopyBufferSubData(), 362
 glCopyTexImage1D(), 210
 glCopyTexImage2D(), 210
 glCopyTexImage3D(), 211
 glCopyTexSubImage1D(), 210
 glCopyTexSubImage2D(), 211
 glCopyTexSubImage3D(), 211
 glCopyTexSubImage3D(), 210
 glCreateProgram(), 256, 612
 glCreateShader(), 255, 419, 612
 glCullFace(), 128
 glDeleteBuffers(), 328
 glDeleteFramebuffers(), 339
 glDeleteProgram(), 257
 glDeleteQueries(), 467
 glDeleteSync(), 527
 glDeleteTextures(), 212, 219
 glDeleteVertexArrays(), 484, 485
 glDepthMask(), 406
 glDisable(), 78, 143, 379
 glDrawArrays(), 415, 426, 437, 477, 484, 486, 488, 490, 608, 611
 glDrawArraysInstanced(), 490, 491, 495
 glDrawBuffer(), 569
 glDrawBuffers(), 251, 343, 344, 556
 glDrawElement(), 483
 glDrawElements(), 415, 426, 428, 477, 482, 484, 486, 488, 490, 611
 glDrawElementsBaseVertex(), 483
 glDrawElementsInstanced(), 490, 491, 495
 glDrawElementsInstancedBaseVertex(), 483
 glDrawRangeElements(), 482, 611
 glDrawRangeElementsBaseVertex(), 483
 glElementPointer(), 482
 glEnable(), 78, 117, 143, 303
 glEnd(), 608
 glEndConditionalRender(), 473
 glEndQuery(), 468, 469, 475, 508
 glEndTransformFeedback(), 506, 526
 glewInit(), 94, 537
 glFenceSync(), 523, 524, 526
 glFinish(), 523
 glFlush(), 523, 568
 glFlushMappedBufferRange(), 361
 glFramebufferRenderbuffer(), 341
 glFramebufferTexture1D(), 353
 glFramebufferTexture2D(), 353
 glFramebufferTexture3D(), 353
 glGenBuffers(), 327, 478
 glGenMipmap(), 226
 glGenFramebuffers(), 339
 glGenQueries(), 467, 507
 glGenRenderbuffers(), 340
 glGenTextures(), 211, 212, 219, 233, 292
 glGenVertexArrays(), 478, 484, 485
 glGetActiveUniformsiv(), 456, 457
 glGetBooleanv(), 79, 614
 glGetBufferParameteriv(), 614
 glGetBufferSubData(), 500
 glGetCompressedTexImage(), 239, 329, 387
 glGetDoublev(), 79
 glGetError(), 76, 347, 467
 glGetFloatv(), 79, 117, 235, 614
 glGetFramebufferAttachmentParameteriv(), 385
 glGetInteger64v(), 526
 glGetIntegerv(), 79, 305, 321, 340, 344, 379, 422, 505, 548, 599, 614
 glGetMultisamplefv(), 379, 380, 391
 glGetQueryObjectiiv(), 468, 469, 475, 508
 glGetShader(), 256
 glGetShaderInfoLog(), 256
 glGetShaderiv(), 256
 getString(), 77, 536, 544, 548, 599
 getStringi(), 65
 glGetSynciv(), 524
 glGetTexImage(), 239, 329
 glGetTexLevelParameter(), 322
 glGetTexParameteri(), 387
 glGetUniformBlockIndex(), 461, 462
 glGetUniformIndices(), 456
 glGetUniformLocation(), 260, 261, 287
 glHint(), 77, 238
 glIsEnabled(), 78
 glIsTexture(), 212, 614
 glLineWidth(), 119
 glLinkProgram(), 257, 363, 502, 613
 glLogicOp(), 405
 glMapBuffer(), 360, 361, 455, 478, 500, 615

funkcje

- glMapBufferRange(), 360
- glMultiDrawArrays(), 486, 487
- glMultiDrawElements(), 486
- glMultiDrawElementsBaseVertex(), 483
- glPixelStore(), 199
- glPixelStoref(), 199
- glPixelStorei(), 199
- glPointParameter(), 314
- glPointSize(), 116, 117, 310
- glPolygonMode(), 130, 132, 192, 263
- glPolygonOffset(), 121, 133
- glPopAttrib(), 600
- glPrimitiveRestartIndex(), 488
- glProvokingVertex(), 259
- glPushAttrib(), 600
- glQueryCounter(), 476
- glReadBuffer(), 203, 210, 331, 344, 347
- glReadPixels(), 200, 203, 327, 329, 330, 331, 332, 333
- glRenderbufferStorage(), 340, 366
- glRenderbufferStorageMultisample(), 340, 380
- glRotate(), 180
- glSampleCoverage(), 144, 392
- glSampleMaski(), 392
- glScissor(), 135, 390
- glShaderBinaryOES(), 612
- glShaderSource(), 612
- glStencilFunc(), 399
- glStencilFuncSeparate(), 397, 399
- glStencilOp(), 399
- glStencilOpSeparate(), 397, 399
- glTexBuffer(), 337, 415
- glTexImage(), 208, 210, 224, 236, 237, 239
- glTexImage1D(), 208, 387
- glTexImage2D(), 208, 301, 321, 322, 387, 637
- glTexImage2DMultisample(), 380
- glTexImage3D(), 208, 318
- glTexImage3DMultisample(), 380
- glTexParamaterf(), 214
- glTexParamaterfv(), 215
- glTexParamateri(), 214
- glTexParamateriv(), 215
- glTexParameter(), 214
- glTexParameterf(), 235
- glTexParameterfv(), 218
- glTexParameterI(), 215, 216, 224, 234, 318
- glTexSubImage(), 210, 239
- glTexSubImage1D(), 210
- glTexSubImage2D(), 210
- glTexSubImage3D(), 210
- glTexImage(), 211
- glTexImage2D(), 296, 333
- glTexParameter(), 211
- glTextSubImage(), 211
- glGetProcAddress(), 65
- glIsExtSupported(), 65, 235
- glLoadShaderFile(), 255
- glLoadShaderPairWithAttributes(), 252, 254, 255, 258
- gltMakeCube(), 302
- gltMakeCylinder(), 169
- gltMakeDisk(), 170
- gltMakeSphere(), 168
- gltMakeTorus(), 169
- glTransformFeedbackVaryings(), 501, 502, 505
- glReadTGABits(), 205
- glSetWorkingDirectory(), 93, 636
- glWriteTGA(), 203
- glUniform(), 260, 261, 613
- glUniform1f(), 260, 261
- glUniform1fv(), 261, 262
- glUniform1i(), 260, 261
- glUniform1iv(), 261
- glUniform2f(), 260
- glUniform2fv(), 261
- glUniform2i(), 260
- glUniform2iv(), 261
- glUniform3f(), 260
- glUniform3fv(), 261
- glUniform3i(), 261
- glUniform3iv(), 261
- glUniform4f(), 260, 261
- glUniform4fv(), 261, 262
- glUniform4i(), 261
- glUniform4iv(), 261
- glUniformBlockBinding(), 462
- glUniformMatrix(), 613
- glUniformMatrix2fv(), 262
- glUniformMatrix3fv(), 262
- glUniformMatrix4fv(), 262
- glUnmapBuffer(), 360, 361, 615
- glupMainLoop(), 538
- glUseProgram(), 258, 613
- glutCreateWindow(), 94
- glutDisplayFunc(), 94
- glutInit(), 93
- glutInitDisplayMode(), 93, 128, 143
- glutInitWindowSize(), 94
- glutMainLoop(), 94
- glutPostRedisplay(), 103
- glutReshapeFunc(), 94, 96

glutSpecialFunc(), 101
 glutSwapBuffers(), 101
 glVertexAttribDivisor(), 496, 497, 498, 499
 glVertexAttribPointer(), 479, 480, 481, 482, 483,
 484, 485, 496, 611
 glViewport(), 96, 352, 604
 glWaitSync(), 525, 526, 527
 glXChooseFBConfig(), 594, 595
 glXChooseFBConfigs(), 595
 glXCopyContext(), 600
 glXCreateContextAttribsARB(), 598, 599
 glXCreateNewContext(), 598
 glXCreateWindow(), 596
 glXDestroyContext(), 600
 glXDestroyWindow(), 596
 glXGetClientString(), 597
 glXGetCurrentContext(), 602
 glXGetCurrentDisplay(), 602
 glXGetCurrentDrawable(), 602
 glXGetCurrentReadDrawable(), 602
 glXGetFBConfigAttrib(), 594
 glXGetFBConfigs(), 592
 glXGetProcAddress(), 597
 glXGetServerString(), 597
 glXGetVisualFromFBConfig(), 595, 603
 glXIsDirect(), 600
 glXMakeContextCurrent(), 601
 glXQueryContext(), 602
 glXQueryDrawable(), 602
 glXQueryExtensionsString(), 597
 glXSwapBuffers(), 601, 605
 glXWaitGL(), 601
 glXWaitX(), 601
 greaterThan(), 269
 greaterThanEqual(), 269
 intBitsToFloat(), 272, 453
 inverse(), 268, 453
 inversesqrt(), 266
 isinf(), 271
 isnan(), 271
 length(), 267, 453
 lessThan(), 269
 lessThanEqual(), 269, 453
 lgFrontFace(), 122
 LoadTGATexture(), 219, 220, 297
 LoadTGATextureRect(), 297
 log(), 266, 453
 log2(), 266
 m3dCrossProduct3(), 152
 m3dDotProduct3(), 151
 m3dGetAngleBetweenVectors3(), 151
 m3dLoadIdentity44(), 162
 m3dMakeOrthographicMatrix(), 298
 m3dMatrixMultiply44(), 165, 166, 177
 m3dRotationMatrix(), 163
 m3dRotationMatrix44(), 163, 177
 m3dScaleMatrix44(), 164
 m3dTransformVector4(), 192, 193
 m3dTranslationMatrix44(), 162, 165, 177
 main(), 93
 MakePyramid(), 220
 malloc(), 205
 matrixCompMult(), 268, 453
 max(), 270, 276
 min(), 270
 mix(), 271
 mod(), 270
 modf(), 270
 MultiTexCoord2f(), 221
 normalize(), 267, 453
 not(), 269
 notEqual(), 269, 453
 outerProduct(), 268, 453
 PopMatrix(), 180
 pow(), 266
 PushMatrix(), 180
 radians(), 266
 reflect(), 267, 453
 refract(), 267, 453
 round(), 270
 roundEven(), 270
 SetPixelFormat(), 546
 SetupRC(), 233
 SetupWindow(), 550
 sign(), 269, 270
 sin(), 266
 sinh(), 266
 smoothstep(), 271, 453
 SpecialKeys(), 102
 sqrt(), 266
 step(), 271, 453
 SwapBuffers(), 556, 557
 tan(), 266
 tanh(), 266
 texelFetch(), 380
 transpose(), 268, 453
 trunc(), 270
 uintBitsToFloat(), 272
 wglChoosePixelFormat(), 540
 wglChoosePixelFormatARB(), 540, 545, 546, 556
 wglCreateContext(), 549
 wglCreateContextAttribsARB(), 547, 548, 549

funkcje

- wglDeleteContext(), 549, 554
- wglGetExtensionsStringARB(), 536
- wglGetPixelFormatAttribARB(), 544, 546
- wglGetPixelFormatAttribfvARB(), 541, 545
- wglGetPixelFormatAttribivARB(), 541, 545, 546
- wglGetPixelFormatAttributeivARB(), 544
- wglGetProcAddress(), 535, 536, 544, 627
- wglMakeCurrent(), 549, 554
- wglSwapIntervalEXT(), 557
- WinMain(), 93
- XCreateWindow(), 595, 596
- XDestroyWindow(), 597
- XOpenDisplay(), 603
- funkcje GLSL, 243, 265, 267
 - funkcje geometryczne, 267
 - funkcje macierzowe, 267, 268
 - funkcje porównywania wektorów, 267, 269
 - funkcje trygonometryczne, 265
 - funkcje wykładnicze, 266
- funkcje mieszania, 401
- funkcje shaderów, 448
- funkcje trygonometryczne, 453
- funkcje wycofywane, 69

G

- GDI, 54, 538
- GDI+, 538
- general-purpose computing on graphics
 - processing units, 384
- generowanie
 - dane obrazu w shaderze fragmentów, 442
 - geometria w shaderze geometrii, 427
 - grafika trójwymiarowa, 48
 - poziomy mipmap, 226
- geometry shader, 108
- GetCameraMatrix(), 189
- GetDC(), 554
- GetMatrix(), 179, 186
- GetModelViewProjectionMatrix(), 183
- GetNormalMatrix(), 275
- gimbal lock, 188
- GL Extension Wrangler, 537, 589
- GL_ADD, 141
- GL_ALL_ATTRIB_BITS, 600
- GL_ALPHA, 209
- GL_ALPHA_SATURATE, 402
- GL_ALREADY_SIGNALED, 525
- GL_ALWAYS, 398
- GL_AMD_debug_context, 548, 549, 600

- GL_AND, 406
- GL_AND_INVERTED, 406
- GL_AND_REVERSE, 406
- GL_ANY_SAMPLES_PASSED, 472
- GL_ARB_compatibility, 70
- GL_ARB_texture_compression, 237
- GL_ARRAY_BUFFER, 327, 478, 479, 481, 482, 509
- GL_BACK, 128, 130, 251, 556
- GL_BACK_LEFT, 203
- GL_BACK_RIGHT, 203
- GL_BGR, 201
- GL_BGR_INTEGER, 201
- GL_BGRA, 201
- GL_BGRA_INTEGER, 201
- GL_BLEND, 138, 400
- GL_BLUE, 201
- GL_BLUE_INTETER, 201
- GL_BUFFER_TEXTURE, 415
- GL_BYTE, 202
- GL_CCW, 122
- GL_CLAMP, 217, 218
- GL_CLAMP_TO_BORDER, 217, 218
- GL_CLAMP_TO_EDGE, 217, 218, 615
- GL_CLEAR, 406
- gl_Clip_Distance, 519, 520
- GL_CLIP_DISTANCE0, 519
- GL_COLOR_ATTACHMENT0, 344
- GL_COLOR_BUFFER_BIT, 347
- GL_COLOR_LOGIC_OP, 405
- GL_COMPILE_STATUS, 256
- GL_COMPRESSED_RED, 237, 386
- GL_COMPRESSED_RED_RGTC1, 386
- GL_COMPRESSED_RG, 237, 386
- GL_COMPRESSED_RG_RGTC1, 386
- GL_COMPRESSED_RG_RGTC2, 237
- GL_COMPRESSED_RGB, 237, 240, 386
- GL_COMPRESSED_RGB_S3TC_DXT1, 239
- GL_COMPRESSED_RGBA, 237, 386
- GL_COMPRESSED_RGBA_S3TC_DXT1, 239
- GL_COMPRESSED_RGBA_S3TC_DXT3, 239
- GL_COMPRESSED_RGBA_S3TC_DXT5, 239
- GL_COMPRESSED_SIGNED_RED_RGTC1, 237, 386
- GL_COMPRESSED_SIGNED_RG_RGTC1, 386
- GL_COMPRESSED_SIGNED_RG_RGTC2, 237
- GL_COMPRESSED_SRGB, 237, 386
- GL_COMPRESSED_SRGB_ALPHA, 237, 386
- GL_COMPRESSED_TEXTURE_FORMATS, 238
- GL_CONDITION_SATISFIED, 525
- GL_CONSTANT_ALPHA, 137, 140, 402
- GL_CONSTANT_COLOR, 137, 140, 402
- GL_COORD_REPLACE, 613

GL_COPY, 406
 GL_COPY_INVERTED, 406
 GL_COPY_READ_BUFFER, 327, 336, 362
 GL_COPY_WRITE_BUFFER, 327, 362
 GL_CULL_FACE, 128
 GL DECR, 398
 GL DECR_WRAP, 398
 GL_DEPTH_ATTACHMENT, 353
 GL_DEPTH_BUFFER_BIT, 347
 GL_DEPTH_CLAMP, 379, 400, 521
 GL_DEPTH_COMPONENT, 200, 201
 GL_DEPTH_STENCIL, 200, 201, 341
 GL_DEPTH_STENCIL_ATTACHMENT, 341
 GL_DEPTH_TEST, 78, 129
 GL_DITHER, 404
 GL_DRAW_BUFFER0, 400
 GL_DRAW_BUFFER1, 400
 GL_DRAW_FRAMEBUFFER, 339, 341, 347, 353
 GL_DST_ALPHA, 137, 402
 GL_DST_COLOR, 137, 402
 GL_DYNAMIC_COPY, 329, 615
 GL_DYNAMIC_DRAW, 328, 329
 GL_DYNAMIC_READ, 329, 615
 GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, 327, 482, 484
 GL_EQUAL, 398, 451
 GL_EQUIV, 406
 GL_ETC1_RGB8_OES, 615
 GL_EXT_texture_compression_s3tc, 238, 239, 240
 GL_EXT_texture_filter_anisotropic, 235
 GL_FALSE, 256, 406
 GL_FASTEST, 143
 GL_FILL, 130
 GL_FIRST_VERTEX_CONVENTION, 259
 GL_FLOAT, 202
 GL_FLOAT_32_UNSIGNED_INT_24_8_REV, 202
 gl_FragColor, 362
 gl_FragData, 362
 gl_FragDepth, 447
 GL_FRAGMENT_SHADER, 255
 GL_FRAMEBUFFER_ATTACHMENT_COLOR_ENCODING, 385
 GL_FRAMEBUFFER_COMPLETE, 345, 346
 GL_FRAMEBUFFER_INCOMPLETE_ATTACHMENT, 346
 GL_FRAMEBUFFER_INCOMPLETE_DRAW_BUFFER, 346
 GL_FRAMEBUFFER_INCOMPLETE_LAYER_TARGETS, 346
 GL_FRAMEBUFFER_INCOMPLETE_MISSING_ATTACHMENT, 346
 GL_FRAMEBUFFER_INCOMPLETE_MULTISAMPLE, 346
 GL_FRAMEBUFFER_INCOMPLETE_READ_BUFFER, 346
 GL_FRAMEBUFFER_SRGB, 385
 GL_FRAMEBUFFER_UNDEFINED, 346
 GL_FRAMEBUFFER_UNSUPPORTED, 346
 GL_FRONT, 128, 130, 556
 GL_FRONT_AND_BACK, 128, 130, 399
 GL_FRONT_LEFT, 203
 GL_FRONT_RIGHT, 203
 GL_FUNC_ADD, 139, 401
 GL_FUNC_REVERSE_SUBTRACT, 139, 401
 GL_FUNC_SUBTRACT, 139, 401
 GL_GEOMETRY_SHADER, 419
 GL_GEQUAL, 398
 GL_GREATER, 398
 GL_GREEN, 201
 GL_GREEN_INTEGER, 201
 GL_HALF_FLOAT, 202
 GL_INCR, 398
 GL_INCR_WRAP, 398
 gl_InstanceID, 492, 493, 495
 GL_INT, 202
 GL_INTERLEAVED_ATTRIB, 505
 GL_INTERLEAVED_ATTRIBS, 502, 503
 GL_INTERLEAVED_BUFFER, 505
 GL_INVALID_ENUM, 76
 GL_INVALID_FRAMEBUFFER_OPERATION, 347
 GL_INVALID_OPERATION, 76
 GL_INVALID_VALUE, 76
 GL_INVERT, 398, 406
 GL_KEEP, 398
 GL_LAST_VERTEX_CONVENTIONS, 259
 GL_LEFT, 203
 GL_LEQUAL, 398
 GL_LESS, 398
 GL_LINE, 130
 GL_LINE_LOOP, 116, 120, 420
 GL_LINE_SMOOTH, 141
 GL_LINE_STRIP, 116, 119
 GL_LINE_STRIP_ADJACENCY, 433, 434
 GL_LINEAR, 215, 224, 225, 234, 297
 GL_LINEAR_MIPMAP_LINEAR, 225
 GL_LINEAR_MIPMAP_NEAREST, 225, 236
 GL_LINES, 116, 420, 506
 GL_LINES_ADJACENCY, 433, 434
 GL_LOWER_LEFT, 314
 GL_LUMINANCE, 209, 237
 GL_LUMINANCE_ALPHA, 209, 237

GL_LUMINANCE8, 207
 GL_MAJOR_VERSION, 599
 GL_MAP_FLUSH_EXPLICIT_BIT, 361
 GL_MAP_INVALIDATE_BUFFER_BIT, 361
 GL_MAP_INVALIDATE_RANGE_BIT, 361
 GL_MAP_READ_BIT, 361
 GL_MAP_UNSYNCHRONIZED_BIT, 361
 GL_MAP_WRITE_BIT, 361
 GL_MAX, 139, 401
 GL_MAX_3D_TEXTURE_SIZE, 321
 GL_MAX_CLIP_DISTANCES, 520
 GL_MAX_COLOR_ATTACHMENTS, 340
 GL_MAX_CUBE_MAP_TEXTURE_SIZE, 321
 GL_MAX_DRAW_BUFFERS, 344
 GL_MAX_DUAL_SOURCE_DRAW_BUFFERS, 402
 GL_MAX_FRAGMENT_UNIFORM_BUFFERS, 461
 GL_MAX_GEOMETRY_OUTPUT_VERTICES, 422
 GL_MAX_GEOMETRY_UNIFORM_BUFFERS, 461
 GL_MAX_RENDERBUFFER_SIZE, 340
 GL_MAX_SERVER_WAIT_TIMEOUT, 526
 GL_MAX_TEXTURE_MAX_ANISOTROPY_EXT, 235
 GL_MAX_TRANSFORM_FEEDBACK_↪
 INTERLEAVED_COMPONENTS, 505
 GL_MAX_UNIFORM_BUFFER_BINDINGS, 462
 GL_MAX_UNIFORM_BUFFERS, 461
 GL_MAX_VERTEX_UNIFORM_BUFFERS, 461
 GL_MIN, 139, 401
 GL_MINOR_VERSION, 599
 GL_MULTISAMPLE, 143, 144
 GL_NAND, 406
 GL_NEAREST, 215, 217, 224, 225, 234, 297
 GL_NEAREST_MIPMAP_LINEAR, 225
 GL_NEAREST_MIPMAP_NEAREST, 225, 236
 GL_NEVER, 398
 GL_NICEST, 143
 GL_NO_ERROR, 76
 GL_NONE, 203
 GL_NOOP, 406
 GL_NOR, 406
 GL_NOTEQUAL, 398
 GL_NUM_COMPRESSED_TEXTURE_FORMATS, 238
 GL_ONE, 137, 402
 GL_ONE_MINUS_CONSTANT_ALPHA, 137, 140, 402
 GL_ONE_MINUS_CONSTANT_COLOR, 137, 140, 402
 GL_ONE_MINUS_DST_ALPHA, 137, 402
 GL_ONE_MINUS_DST_COLOR, 137, 402
 GL_ONE_MINUS_SRC_ALPHA, 137, 402
 GL_ONE_MINUS_SRC_COLOR, 137, 402
 GL_ONE_MINUS_SRC1_ALPHA, 402
 GL_ONE_MINUS_SRC1_COLOR, 402
 GL_OR, 406
 GL_OR_INVERTED, 406
 GL_OR_REVERSE, 406
 GL_OUT_OF_MEMORY, 76
 GL_PACK_ALIGNMENT, 199
 GL_PACK_IMAGE_HEIGHT, 199
 GL_PACK_LSB_FIRST, 199
 GL_PACK_ROW_LENGTH, 199
 GL_PACK_SKIP_IMAGES, 199
 GL_PACK_SKIP_PIXELS, 199
 GL_PACK_SKIP_ROWS, 199
 GL_PACK_SWAP_BYTES, 199
 GL_PIXEL_PACK_BUFFER, 327, 329, 332, 333, 336
 GL_PIXEL_UNPACK_BUFFER, 327, 330, 333
 GL_POINT, 130
 GL_POINT_SIZE_GRANULARITY, 117
 GL_POINT_SIZE_RANGE, 117
 GL_POINT_SMOOTH, 141
 GL_POINT_SPRITE_COORD_ORIGIN, 314
 GL_POINTS, 116, 420, 506
 GL_POLYGON_OFFSET_FILL, 133
 GL_POLYGON_OFFSET_LINE, 133
 GL_POLYGON_OFFSET_POINT, 133
 GL_POLYGON_SMOOTH, 141, 143
 GL_PRIMITIVE_RESTART, 488
 GL_PRIMITIVES_GENERATED, 507, 508
 GL_PROGRAM_POINT_SIZE, 117, 310
 GL_PROXY_TEXTURE_1D, 208, 321
 GL_PROXY_TEXTURE_2D, 208
 GL_PROXY_TEXTURE_3D, 208, 321
 GL_PROXY_TEXTURE_CUBE_MAP, 321
 GL_QUERY_NO_WAIT, 474
 GL_QUERY_RESULT_AVAILABLE, 474
 GL_QUERY_WAIT, 473
 GL_R11_G11_B10F, 366
 GL_R16F, 366
 GL_R32F, 366
 GL_RASTERIZER_DISCARD, 415, 506, 507, 510
 GL_READ_FRAMEBUFFER, 339, 341, 347, 353
 GL_RED, 201
 GL_RED_INTEGER, 201
 GL_RENDERBUFFER, 340
 GL_REPEAT, 217, 218, 297
 GL_REPEAT_MIRRORED, 297
 GL_REPLACE, 398
 GL_RG, 201
 GL_RG_INTEGER, 201
 GL_RG16F, 366

GL_RG32F, 366
 GL_RGB, 201, 209
 GL_RGB_8, 404
 GL_RGB_INTEGER, 201
 GL_RGB16I, 400
 GL_RGB32I, 400
 GL_RGB8, 207
 GL_RGB9_E5, 387
 GL_RGBA, 201, 209
 GL_RGBA_INTEGER, 201
 GL_RGBA16F, 366
 GL_RGBA32F, 366
 GL_RGBA8, 207
 GL_RIGHT, 203
 GL_SAMPLE_ALPHA_TO_COVERAGE, 144, 391
 GL_SAMPLE_ALPHA_TO_ONE, 144, 391
 GL_SAMPLE_COVERAGE, 144, 392
 gl_SampleMask, 393
 GL_SAMPLES, 379
 GL_SAMPLES_PASSED, 468, 472
 GL_SCISSOR_TEST, 134, 390
 GL_SEPARATE_ATTRIBS, 502, 504, 505
 GL_SET, 406
 GL_SHORT, 202
 GL_SIGNALED, 524
 GL_SRC_ALPHA, 137, 402, 403
 GL_SRC_ALPHA_SATURATE, 137
 GL_SRC_COLOR, 137, 402
 GL_SRC_ONE_MINUS_ALPHA, 403
 GL_SRC1_ALPHA, 402
 GL_SRC1_COLOR, 402
 GL_SRGB8_ALPHA8, 385
 GL_STATIC_COPY, 329
 GL_STATIC_DRAW, 329, 510
 GL_STATIC_READ, 329, 615
 GL_STENCIL_ATTACHMENT, 353
 GL_STENCIL_BUFFER_BIT, 347, 399
 GL_STENCIL_INDEX, 200, 201
 GL_STENCIL_TEST, 397
 GL_STREAM_COPY, 329, 615
 GL_STREAM_DRAW, 329, 482, 615
 GL_STREAM_READ, 329, 615
 GL_SYNC_FLUSH_COMMANDS, 525
 GL_SYNC_FLUSH_COMMANDS_BIT, 525, 526
 GL_SYNC_GPU_COMMANDS_COMPLETE, 523, 524
 GL_SYNC_STATUS, 524
 GL_TEXTURE_1D, 208, 215, 226, 296
 GL_TEXTURE_1D_ARRAY, 226, 317
 GL_TEXTURE_2D, 208, 215, 226, 296, 380
 GL_TEXTURE_2D_ARRAY, 226, 317, 318
 GL_TEXTURE_2D_MULTISAMPLE, 380
 GL_TEXTURE_2D_MULTISAMPLE_ARRAY, 380
 GL_TEXTURE_3D, 208, 215, 226, 296
 GL_TEXTURE_BASE_LEVEL, 224
 GL_TEXTURE_BORDER_COLOR, 218
 GL_TEXTURE_BUFFER, 327, 336, 337, 362
 GL_TEXTURE_COMPRESSED, 238
 GL_TEXTURE_COMPRESSED_IMAGE_SIZE, 238
 GL_TEXTURE_COMPRESSION_HINT, 238
 GL_TEXTURE_CUBE_MAP, 215, 226
 GL_TEXTURE_CUBE_MAP_NEGATIVE_X, 301
 GL_TEXTURE_CUBE_MAP_NEGATIVE_Y, 301
 GL_TEXTURE_CUBE_MAP_NEGATIVE_Z, 301
 GL_TEXTURE_CUBE_MAP_POSITIVE_X, 301
 GL_TEXTURE_CUBE_MAP_POSITIVE_Y, 301
 GL_TEXTURE_CUBE_MAP_POSITIVE_Z, 301
 GL_TEXTURE_INTERNAL_FORMAT, 238, 322
 GL_TEXTURE_MAG_FILTER, 215
 GL_TEXTURE_MAX_ANISOTROPY_EXT, 235
 GL_TEXTURE_MAX_LEVEL, 224
 GL_TEXTURE_MAX_LOD, 224
 GL_TEXTURE_MIN_FILTER, 215
 GL_TEXTURE_MIN_LOD, 224
 GL_TEXTURE_RECTANGLE, 296, 297
 GL_TEXTURE_WRAP_R, 217
 GL_TEXTURE_WRAP_S, 217
 GL_TEXTURE_WRAP_T, 217
 GL_TEXTURE1, 307
 GL_TIME_ELAPSED, 475
 GL_TIMEOUT_EXPIRED, 525
 GL_TIMEOUT_IGNORED, 525, 526
 GL_TIMESTAMP, 476
 GL_TRANSFORM_FEEDBACK_BUFFER, 327, 337, 503, 504, 505
 GL_TRANSFORM_FEEDBACK_PRIMITIVES_↪WRITTEN, 507, 508, 509
 GL_TRIANGLE_ADJACENCY, 417
 GL_TRIANGLE_FAN, 101, 116, 123, 125, 420, 426
 GL_TRIANGLE_STRIP, 116, 123, 420, 426, 437, 489
 GL_TRIANGLE_STRIP_ADJACENCY, 417, 433, 435
 GL_TRIANGLES, 116, 420, 426, 506
 GL_TRIANGLES_ADJACENCY, 433, 435
 GL_UNIFORM_ARRAY_STRIDE, 456, 457, 458
 GL_UNIFORM_BLOCK_INDEX, 457
 GL_UNIFORM_BUFFER, 327, 337, 462
 GL_UNIFORM_IS_ROW_MAJOR, 457
 GL_UNIFORM_MATRIX_STRIDE, 456, 457
 GL_UNIFORM_NAME_LENGTH, 457

GL_UNIFORM_OFFSET, 456, 457, 458
 GL_UNIFORM_SIZE, 457
 GL_UNIFORM_TYPE, 457
 GL_UNPACK_ALIGNMENT, 199
 GL_UNPACK_IMAGE_HEIGHT, 199
 GL_UNPACK_LSB_FIRST, 199
 GL_UNPACK_ROW_LENGTH, 199
 GL_UNPACK_SKIP_IMAGES, 199
 GL_UNPACK_SKIP_PIXELS, 199
 GL_UNPACK_SKIP_ROWS, 199
 GL_UNPACK_SWAP_BYTES, 199
 GL_UNSIGNALED, 524
 GL_UNSIGNED_BYTE, 202
 GL_UNSIGNED_BYTE_2_3_3_REV, 201, 202
 GL_UNSIGNED_BYTE_3_2_2, 202
 GL_UNSIGNED_BYTE_3_3_2, 201
 GL_UNSIGNED_INT, 202
 GL_UNSIGNED_INT_10_10_10_2, 202
 GL_UNSIGNED_INT_10F_11F_11F_REV, 202
 GL_UNSIGNED_INT_2_10_10_10_REV, 202
 GL_UNSIGNED_INT_24_8, 202
 GL_UNSIGNED_INT_8_8_8_8, 202
 GL_UNSIGNED_INT_8_8_8_8_REV, 202
 GL_UNSIGNED_SHORT, 202
 GL_UNSIGNED_SHORT_1_5_5_5_REV, 202
 GL_UNSIGNED_SHORT_4_4_4_4, 202
 GL_UNSIGNED_SHORT_4_4_4_4_REV, 202
 GL_UNSIGNED_SHORT_5_5_5_1, 202
 GL_UNSIGNED_SHORT_5_6_5, 202
 GL_UNSIGNED_SHORT_5_6_5_REV, 202
 GL_UPPER_LEFT, 314, 613
 GL_VERSION, 548, 599
 GL_VERTEX_SHADER, 255
 GL_WAIT_FAILED, 525
 GL_XOR, 406
 GL_ZERO, 137, 398, 402
 glActiveTexture(), 306, 307, 337
 glAttachShader(), 256, 419, 612
 GLBatch, 100, 101, 124, 125, 221, 249, 255, 258, 298
 Begin(), 124, 306
 CopyColorData4f(), 125
 CopyNormalData(), 477
 CopyNormalDataf(), 125
 CopyTexCoordData2f(), 125, 306
 CopyVertexData(), 477
 End(), 125
 MultiTexCoord2f(), 221, 306
 MultiTexCoord2fv(), 306
 glBegin(), 608
 glBeginConditionalRender(), 473
 glBeginQuery(), 468, 469, 475, 507
 glBeginTransformFeedback(), 505, 506
 glBindAttribLocation(), 256, 257, 613
 glBindBuffer(), 327, 328, 337, 479, 481, 484, 485, 503, 504
 glBindBufferBase(), 462, 503, 504
 glBindBufferRange(), 504
 glBindFragDataLocation(), 363
 glBindFragDataLocationIndexed(), 364, 402
 glBindFramebuffer(), 339, 341
 glBindRenderbuffer(), 340
 glBindTexture(), 211, 219, 220, 222, 234, 292, 297, 306, 307, 337
 glBindVertexArray(), 478, 485
 GLbitfield, 75
 glBlendColor(), 140, 402
 glBlendEquation(), 139, 401
 glBlendEquationSeparate(), 401
 glBlendFunc(), 137, 138, 139, 140, 401
 glBlendFuncSeparate(), 140, 401
 glBlitFramebuffer(), 347, 351
 GLboolean, 75
 glBufferData(), 328, 331, 337, 360, 455, 478, 482, 503
 glBufferSubData(), 328, 329, 478
 GLbyte, 75
 GLchar, 75
 glCheckFramebufferStatus(), 345
 GLclampd, 75
 GLclampf, 75, 98
 glClear(), 100, 604
 glClearBufferiv(), 384
 glClearBufferuiv(), 384
 glClearColor(), 98, 604
 glClearStencil(), 399
 glClientWaitSync(), 525, 526
 glColorMask(), 406, 470
 glColorMaski(), 406
 glCompileShader(), 256, 419, 612
 glCompressedTexImage1D(), 239, 387
 glCompressedTexImage2D(), 239, 387, 615
 glCompressedTexImage3D(), 239, 387
 glCompressedTexSubImage(), 239
 glCopyBuffer(), 478
 glCopyBufferSubData(), 362
 glCopyTexImage1D(), 210
 glCopyTexImage2D(), 210
 glCopyTexImage3D(), 211
 glCopyTexSubImage1D(), 210
 glCopyTexSubImage2D(), 211
 glCopyTexSubImage3D(), 211

glCopyTexImage3D(), 210
 glCreateProgram(), 256, 612
 glCreateShader(), 255, 419, 612
 glCullFace(), 128
 glDeleteBuffers(), 328
 glDeleteFramebuffers(), 339
 glDeleteProgram(), 257
 glDeleteQueries(), 467
 glDeleteSync(), 527
 glDeleteTextures(), 212, 219
 glDeleteVertexArrays(), 484, 485
 glDepthMask(), 406
 glDisable(), 78, 143, 379
 GLdouble, 75, 76
 glDrawArrays(), 415, 426, 437, 477, 484, 486, 488, 490, 608, 611
 glDrawArraysInstanced(), 490, 491, 495
 glDrawBuffer(), 569
 glDrawBuffers(), 251, 343, 344, 556
 glDrawElement(), 483
 glDrawElements(), 415, 426, 428, 477, 482, 484, 486, 488, 490, 611
 glDrawElementsBaseVertex(), 483
 glDrawElementsInstanced(), 490, 491, 495
 glDrawElementsInstancedBaseVertex(), 483
 glDrawRangeElements(), 482, 611
 glDrawRangeElementsBaseVertex(), 483
 glElementPointer(), 482
 glEnable(), 78, 117, 143, 303
 glEnd(), 608
 glEndConditionalRender(), 473
 glEndQuery(), 468, 469, 475, 508
 glEndTransformFeedback(), 506, 526
 GLenum, 75, 205, 343
 GLEW, 66, 73, 79, 94, 536, 537, 573, 589
 inicjalizacja biblioteki, 94
 Linux, 590
 glewInit(), 94, 537
 glExt.h, 536
 glFenceSync(), 523, 524, 526
 glFinish(), 523
 GLfloat, 75, 117, 261
 glFlush(), 523, 568
 glFlushMappedBufferRange(), 361
 GLFrame, 180, 186, 191, 356
 glFramebufferRenderbuffer(), 341
 glFramebufferTexture1D(), 353
 glFramebufferTexture2D(), 353
 glFramebufferTexture3D(), 353
 glFrontFace(), 122
 GLFrustum, 111, 172, 173, 175, 181, 182
 SetOrthographic(), 111, 172
 SetPerspective(), 112, 173
 glGenBuffers(), 327, 478
 glGenerateMipmap(), 226
 glGenFramebuffers(), 339
 glGenQueries(), 467, 507
 glGenRenderbuffers(), 340
 glGenTextures(), 211, 212, 219, 233, 292
 glGenVertexArrays(), 478, 484, 485
 GLGeometryTransform, 180, 181, 183
 glGetActiveUniformsiv(), 456, 457
 glGetBooleanv(), 79, 614
 glGetBufferParameteriv(), 614
 glGetBufferSubData(), 500
 glGetCompressedTexImage(), 239, 329, 387
 glGetDoublev(), 79
 glGetError(), 76, 347, 467
 glGetFloatv(), 79, 117, 235, 614
 glGetFramebufferAttachmentParameteriv(), 385
 glGetInteger64v(), 526
 glGetIntegerv(), 65, 79, 305, 321, 340, 344, 379, 422, 505, 548, 599, 614
 glGetMultisamplefv(), 379, 380, 391
 glGetQueryObjectuiv(), 468, 469, 475, 508
 glShader(), 256
 glGetShaderInfoLog(), 256
 glGetShaderiv(), 256
 getString(), 77, 536, 544, 548, 599
 getStringi(), 65
 glGetSynciv(), 524
 glGetTexImage(), 239, 329
 glGetTexLevelParameter(), 322
 glGetTexParameter(), 387
 glGetUniformLocation(), 461, 462
 glGetUniformIndices(), 456
 glGetUniformLocation(), 260, 261, 287
 GLhalf, 75
 glHint(), 77, 238
 GLint, 65, 75
 GLint64, 75
 GLintptr, 75
 glIsEnabled(), 78
 glIsTexture(), 212, 614
 glLineWidth(), 119
 glLinkProgram(), 257, 363, 502, 613
 glLogicOp(), 405
 glMapBuffer(), 360, 361, 455, 478, 500, 615
 glMapBufferRange(), 360

- GLMatrixStack, 179, 180, 181, 187
 - GetMatrix(), 179
 - LoadIdentity(), 179
 - LoadMatrix(), 179, 187
 - MultiMatrix(), 187
 - MultMatrix(), 179
 - PopMatrix(), 180
 - PushMatrix(), 180, 187
- glMultiDrawArrays(), 486, 487
- glMultiDrawElements(), 486
- glMultiDrawElementsBaseVertex(), 483
- glPixelStore(), 199
- glPixelStoref(), 199
- glPixelStorei(), 199
- glPointSize(), 314
- glPointSize(), 116, 117, 310
- glPolygonMode(), 130, 132, 192, 263
- glPolygonOffset(), 121, 133
- glPopAttrib(), 600
- glPrimitiveRestartIndex(), 488
- glProvokingVertex(), 259
- glPushAttrib(), 600
- glQueryCounter(), 476
- glReadBuffer(), 203, 210, 331, 344, 347
- glReadPixels(), 200, 203, 327, 329, 330, 331, 332, 333
 - asynchroniczne wywołania, 330
- glRenderbufferStorage(), 340, 366
- glRenderbufferStorageMultisample(), 340, 380
- glRotate(), 180
- glSampleCoverage(), 144, 392
- glSampleMaski(), 392
- glScissor(), 135, 390
- glShaderBinaryOES(), 612
- GLShaderManager, 99, 113, 124, 179, 248
 - UseStockShader(), 113, 114, 165
- GLShaderManager.h, 92
- glShaderSource(), 612
- GLshort, 75, 76
- GLsizei, 75
- GLsizei_ptr, 75
- GLSL, 108, 242, 612
 - #version, 249
 - anulowanie przetwarzania fragmentów, 289
 - atrybuty, 249
 - centroid, 247
 - const, 246, 247
 - deklaracja atrybutów, 249
 - deklaracja danych wyjściowych, 250
 - dołączanie, 256
 - funkcje, 243, 265, 267
 - in, 246, 247
 - in centroid, 247
 - inout, 247
 - interpolacja nieperspektywiczna, 247
 - kompilacja, 252, 256
 - konsolidacja shaderów, 257
 - kwalifikatory zmiennych, 246, 247
 - liczby całkowite, 243
 - liczby zmiennoprzecinkowe, 243
 - macierze, 245
 - macierze uniform, 262
 - mnożenie macierzowego typu danych
 - przez wektorowy, 264
 - noperspective, 247, 250
 - odwołanie do elementów wektora, 244
 - określanie atrybutów, 254
 - out, 246, 247
 - out centroid, 247
 - płaski shader, 262
 - pobieranie kodu źródłowego, 255
 - przetwarzanie fragmentów, 250
 - przetwarzanie wierzchołków, 250
 - rgba, 244
 - shader fragmentów, 250
 - shadery, 248
 - smooth, 250
 - stpq, 244, 245
 - swizzling, 245
 - tablice uniform, 261
 - teksturowanie w stylu kreskówkowym, 292
 - tekstury, 285
 - typy danych, 243
 - typy macierzowe, 245
 - typy wbudowane, 244
 - typy wektorowe, 244
 - uniform, 246, 247, 259, 260
 - użycie shadera, 258
 - wartości logiczne, 243
 - wektory, 244
 - wersje języka, 249
 - wiązanie, 252, 256
 - wiązanie lokalizacji atrybutów, 257
 - wierzchołek prowokujący, 259
 - xyzw, 244
 - zmiennie, 243
 - zmiennie uniform, 259
 - zmiennie uniform skalarne, 260
 - zmiennie uniform wektorowe, 260
 - zmiennie wektorowe, 244
 - zmiennie wyjściowe, 246
 - znajdowanie danych uniform, 260

- GLSL 1.3, 249
- GLSL 1.4, 249
- GLSL 1.5, 249
- glStencilFunc(), 399
- glStencilFuncSeparate(), 397, 399
- glStencilOp(), 399
- glStencilOpSeparate(), 397, 399
- GLsync, 75
- GLT_ATTRIBUTE_COLOR, 113, 114
- GLT_ATTRIBUTE_NORMAL, 113, 114, 115
- GLT_ATTRIBUTE_TEXTURE0, 113, 115, 302
- GLT_ATTRIBUTE_TEXTURE1, 113
- GLT_ATTRIBUTE_VERTEX, 113, 114, 115, 257
- GLT_SHADER_ATTRIBUTE, 255
- GLT_SHADER_IDENTITY, 101
- GLT_SHADER_TEXTURE_POINT_LIGHT_DIFF, 223
- glTexBuffer(), 337, 415
- glTexImage(), 208, 210, 224, 236, 237, 239
- glTexImage1D(), 208, 387
- glTexImage2D(), 208, 301, 321, 322, 387, 637
- glTexImage2DMultisample(), 380
- glTexImage3D(), 208, 318
- glTexImage3DMultisample(), 380
- glTexParameterf(), 214
- glTexParameterfv(), 215
- glTexParameteri(), 214
- glTexParameteriv(), 215
- glTexParameter(), 214
- glTexParameterf(), 235
- glTexParameterfv(), 218
- glTexParameteri(), 215, 216, 224, 234, 318
- glTexSubImage(), 210, 239
- glTexSubImage1D(), 210
- glTexSubImage2D(), 210
- glTexSubImage3D(), 210
- glTexImage(), 211
- glTexImage2D(), 296, 333
- glTexParameter(), 211
- glTextSubImage(), 211
- glGetProcAddress(), 65
- glIsExtSupported(), 65, 235
- glLoadShaderFile(), 255
- glLoadShaderPairWithAttributes(), 252, 254, 255, 258
- gltMakeCube(), 302
- gltMakeCylinder(), 169
- gltMakeDisk(), 170
- gltMakeSphere(), 168
- gltMakeTorus(), 169
- GLTools, 65, 73, 79, 80, 84, 203, 249, 569, 632
- GLTools.h, 92
- GLTransformationPipeline, 275
- glTransformFeedbackVaryings(), 501, 502, 505
- glTreadTGABits(), 205
- GLTriangleBatch, 167, 255, 258
 - AddTriangle(), 167
- gltSetWorkingDirectory(), 93, 636
- gltWriteTGA(), 203
- GLubyte, 75
- GLuint, 75, 219
- GLuint64, 75
- glUniform(), 260, 613
- glUniform1f(), 260, 261
- glUniform1fv(), 261, 262
- glUniform1i(), 260, 261
- glUniform1iv(), 261
- glUniform2f(), 260
- glUniform2fv(), 261
- glUniform2i(), 260
- glUniform2iv(), 261
- glUniform3f(), 260
- glUniform3fv(), 261
- glUniform3i(), 261
- glUniform3iv(), 261
- glUniform4f(), 260, 261
- glUniform4fv(), 261, 262
- glUniform4i(), 261
- glUniform4iv(), 261
- glUniformBlockBinding(), 462
- glUniformMatrix(), 613
- glUniformMatrix2fv(), 262
- glUniformMatrix3fv(), 262
- glUniformMatrix4fv(), 262
- glUnmapBuffer(), 360, 361, 615
- glupMainLoop(), 538
- glUseProgram(), 258, 613
- GLushort, 75
- GLUT, 72, 86, 87, 93, 532, 539, 560, 586
 - bufor szablonu, 93
 - inicjalizacja biblioteki, 93
 - klawisze specjalne, 101
 - konfiguracja ustawień, 98
 - Linux, 589
 - odświeżanie ekranu, 103
 - pętla komunikatów, 94
 - testy głębi, 93
 - tryb wyświetlania, 93
 - wymiary okna, 94

- GLUT_DEPTH, 93, 128
- GLUT_DOUBLE, 93, 128
- GLUT_MULTISAMPLE, 143
- GLUT_RGBA, 93, 128
- GLUT_STENCIL, 93
- glutCreateWindow(), 94
- glutDisplayFunc(), 94
- glutInit(), 93
- glutInitDisplayMode(), 93, 128, 143
- glutInitWindowSize(), 94
- glutMainLoop(), 94
- glutPostRedisplay(), 103
- glutReshapeFunc(), 94, 96
- glutSpecialFunc(), 101
- glutSwapBuffers(), 101
- glVertexAttribDivisor(), 496, 497, 498, 499
- glVertexAttribPointer(), 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 496, 611
- glViewport(), 96, 352, 604
- glWaitSync(), 525, 526, 527
- GLX, 587, 591
 - aplikacje, 602
 - atrybuty konfiguracji, 593
 - ekrany, 592
 - instalacja, 591
 - konteksty debugowania, 600
 - łańcuchy, 597
 - obiekty widoku, 592
 - okna, 595, 596, 603
 - powierzchnie renderingu, 595
 - rozszerzanie, 597
 - stosowanie kontekstów, 600
 - synchronizacja rysowania, 601
 - tworzenie kontekstów, 598
 - tworzenie okna, 596
 - usuwanie okna, 596
 - wersje, 603
 - zapytania, 602
 - zarządzanie konfiguracjami, 592
 - zarządzanie kontekstem, 597
- GLX_ACCUM_ALPHA_SIZE, 594
- GLX_ACCUM_BLUE_SIZE, 594
- GLX_ACCUM_GREEN_SIZE, 594
- GLX_ACCUM_RED_SIZE, 594
- GLX_ALPHA_SIZE, 593
- GLX_AUX_BUFFERS, 594
- GLX_BAD_ATTRIBUTE, 594
- GLX_BLUE_SIZE, 593
- GLX_BUFFER_SIZE, 593, 595
- GLX_COLOR_INDEX_TYPE, 598
- GLX_CONFIG_CAVEAT, 593, 595
- GLX_CONTEXT_COMPATIBILITY_PROFILE_BIT_ARB, 599
- GLX_CONTEXT_CORE_PROFILE_BIT_ARB, 599
- GLX_CONTEXT_FLAGS_ARB, 599
- GLX_CONTEXT_MAJOR_VERSION_ARB, 599
- GLX_CONTEXT_MINOR_VERSION_ARB, 599
- GLX_CONTEXT_PROFILE_MASK_ARB, 599, 600
- GLX_DEPTH_SIZE, 593
- GLX_DOUBLEBUFFER, 593, 595
- GLX_DRAWABLE_TYPE, 593, 595
- GLX_EXTENSIONS, 597
- GLX_FBCONFIG_ID, 593, 602
- GLX_GREEN_SIZE, 593
- GLX_HEIGHT, 602
- GLX_LARGEST_PBUFFER, 602
- GLX_LEVEL, 593
- GLX_RESERVED_CONTENTS, 602
- GLX_RED_SIZE, 593
- GLX_RENDER_TYPE, 593, 595, 602
- GLX_RGBA_TYPE, 598
- GLX_SAMPLE_BUFFERS, 593
- GLX_SAMPLES, 593
- GLX_SCREEN, 602
- GLX_STENCIL_SIZE, 593
- GLX_STEREO, 593
- GLX_TRANSPARENT_ALPHA_VALUE, 594
- GLX_TRANSPARENT_BLUE_VALUE, 594
- GLX_TRANSPARENT_GREEN_VALUE, 594
- GLX_TRANSPARENT_INDEX_VALUE, 594
- GLX_TRANSPARENT_RED_VALUE, 594
- GLX_TRANSPARENT_TYPE, 593
- GLX_VENDOR, 597
- GLX_VERSION, 597
- GLX_VISUAL_ID, 593
- GLX_WIDTH, 602
- GLX_WINDOW_BIT, 595
- GLX_X_RENDERABLE, 593
- GLX_X_VISUAL_TYPE, 593
- GLXBadMatch, 600
- GLXBadProfileARB, 600
- glXChooseFBConfig(), 594, 595
- glXChooseFBConfigs(), 595
- glXCopyContext(), 600
- glXCreateContextAttribsARB(), 598, 599
- glXCreateNewContext(), 598
- glXCreateWindow(), 596
- glXDestroyContext(), 600
- glXDestroyWindow(), 596
- glXGetClientString(), 597
- glXGetCurrentContext(), 602
- glXGetCurrentDisplay(), 602

glXGetCurrentDrawable(), 602
 glXGetCurrentReadDrawable(), 602
 glXGetFBConfigAttrib(), 594
 glXGetFBConfigs(), 592
 glXGetProcAddress(), 597
 glXGetServerString(), 597
 glXGetVisualFromFBConfig(), 595, 603
 glXinfo, 587
 glXIsDirect(), 600
 glXMakeContextCurrent(), 601
 glXQueryContext(), 602
 glXQueryDrawable(), 602
 glXQueryExtensionsString(), 597
 glXSwapBuffers(), 601, 605
 glXWaitGL(), 601
 glXWaitX(), 601
 głębia, 42, 521
 Gouraud shading, 274
 GPGPU, 384
 GPU, 50, 384
 grafika dwuwymiarowa, 41, 63
 grafika komputerowa, 40
 grafika komputerowa czasu rzeczywistego, 41
 grafika trójwymiarowa, 41, 47, 48
 grafika trójwymiarowa czasu rzeczywistego, 47
 Graphics Device Interface, 538
 graphics processing unit, 50
 grawitacja, 413
 greaterThan(), 269
 greaterThanEqual(), 269
 grubość linii, 119
 grupowanie w stada, 511

- etapy wykonywania algorytmu, 512
- inicjalizacja atrybutów, 514
- inicjalizacja struktur danych, 513
- pętla renderująca, 515
- przekształcenie zwrotne, 514, 516
- shader wierzchołków, 516, 518

 gry OpenGL ES, 615
 GUI, 48

H

HDR, 366, 367, 382
 hdr_adaptive, 373
 hdr_exposure, 376
 hdr_imaging, 372
 heads-up display, 475
 hidden surface removal, 45
 high dynamic range, 366
 HUD, 475

I

IBM_, 66
 ICD, 533
 IDE, 84
 identity shader, 114
 if-else, 452
 ignorowanie zadań w shaderze fragmentów, 445
 iloczyn skalarny, 151, 453
 iloczyn wektorowy, 152, 453
 iloczyn zewnętrzny wektorów, 453
 iluzja głębi, 42
 immediate mode, 221
 immersive environment, 189
 implementacja OpenGL, 64, 67
 implementacje OpenGL w systemie Windows, 532

- GLEW, 537
- ICD, 533
- OpenGL firmy Microsoft, 533
- opengl32.dll, 532
- rozszerzenia OpenGL, 534
- rozszerzenia WGL, 536
- sterowniki graficzne, 533
- Windows 7, 534
- Windows Vista, 534

 in, 110, 246, 247, 249
 in centroid, 247
 indeksowanie tablicy tekstur, 319
 indeksy wierzchołków, 482
 inicjalizacja

- biblioteka GLEW, 94
- biblioteka GLUT, 93
- bufor pikseli, 332
- kontekst renderingu, 554
- obiekt VBO, 479

 InitializeStockShaders(), 99, 113
 inout, 247
 instalacja

- GLUT, 590
- GLX, 591

 instalowalny sterownik klienta, 533
 instanced array, 491, 496
 instanced rendering, 490
 intBitsToFloat(), 272, 453
 interface block, 421
 Interface Builder, 562, 563
 interfejs Cocoa, 561
 interleaved, 505
 interleaved attributes, 480

interpolacja, 448
 interpolacja bez korekty perspektywy, 247, 451
 interpolacja liniowa, 452
 interpolacja z korektą perspektywiczną, 452
 inverse(), 268, 453
 inversesqrt(), 266
 iPad, 629
 iPhone, 629
 iPod Touch, 629
 IRIS GL, 63, 586
 isinf(), 271
 iskrzenie, 223
 isnan(), 271
 ivec2, 244
 ivec3, 244
 ivec4, 244

J

jednostka grupy Khronos, 65
 język GLSL, 108, 242
 język OpenGL ES Shading Language, 612

K

kalkowanie, 132
 kamera, 185
 obsługa, 188
 kanał alfa, 297
 kartezyjański układ współrzędnych, 95
 katalog roboczy, 93
 kąty Eulera, 187
 kCGLCESurfaceBackingSize, 583
 kCGLEMPEngine, 583
 Khronos Group, 64, 609
 kineskop, 41
 klasy
 GLBatch, 101, 124, 125, 221, 249
 GLFrame, 186, 191
 GLFrustum, 111, 172
 GLGeometryTransform, 180, 181
 GLMatrixStack, 179, 180, 181, 187
 GLShaderManager, 113, 124, 248
 GLTransformationPipeline, 275
 GLTriangleBatch, 167
 klawisze specjalne, 101
 klient, 107
 klient-serwer, 107
 kod shaderów, 242
 kody błędów, 76

kolorowanie zbioru Julii, 445
 kolory, 98, 99
 kompilacja shadera, 252, 256
 kompletność bufora obrazu, 344, 346
 bufor odczytu obrazu, 347
 kompletność dowiązaniowa, 344
 ogólna kompletność bufora, 345
 sprawdzanie bufora obrazu, 345
 kompletność dowiązaniowa, 344
 kompresja tekstur, 236, 386
 ETC1, 386
 formaty kompresji, 239, 386
 formaty tekstur, 237
 formaty tekstur o wspólnym wykładniku, 387
 GL_EXT_texture_compression_s3tc, 239
 GL_TEXTURE_COMPRESSED, 238
 ładowanie tekstur, 239, 387
 RGTC, 386
 S3TC, 386
 stosowanie, 387
 komunikacja aplikacji OpenGL z X Window, 591
 konfiguracja atrybutów egzemplarzowych, 498
 konfiguracja Mesa3D, 588
 konfiguracja środowiska programistycznego
 system Mac OS X, 84
 system Windows, 79
 konfiguracja układu współrzędnych, 110
 konkatencja, 165
 konsolidacja shaderów, 257
 kontekst bieżący, 549
 kontekst CGL, 581
 kontekst debugowania, 548
 kontekst renderingu, 94, 538
 inicjalizowanie, 554
 WGL, 547
 wyłączenie, 554
 kontekst urządzenia GDI, 538, 554
 kontekst urządzenia okna, 540
 kontener FBO, 339
 kontener porcji danych, 124
 kontrola głębi poszczególnych fragmentów, 447
 konwersja HDR na LDR, 369, 371
 konwersja kolorów, 385
 kopiowanie buforów, 361
 kopiowanie danych w buforach obrazu, 347
 blit, 347
 korekcja kolorów, 438
 korzystanie z biblioteki OpenGL, 71
 kula, 168
 kurz, 367

kwalfikatory pamięci, 448
 centroid, 448
 flat, 448
 noperspective, 452
 kwalfikatory układu shadera geometrii, 418
 kwalfikatory zmiennych, 246
 kwaterniony, 188

L

LDR, 369
 length(), 267, 453
 lens flare, 367
 lessThan(), 269
 lessThanEqual(), 269, 453
 licencjonowanie implementacji biblioteki OpenGL, 67
 liczby
 całkowite, 243, 383
 zmiennoprzecinkowe, 243
 liczenie wierzchołków przy użyciu zapytań obiektów
 podstawowych, 507
 light bloom, 367, 374
 lines, 420
 lines_adjacency, 420
 linie, 116, 118
 Linux, 586
 aplikacje OpenGL, 587, 590, 602
 fre glut, 589
 GLEW, 589, 590
 GLUT, 589
 GLX, 591
 instalacja biblioteki GLEW, 590
 instalacja biblioteki GLUT, 590
 konfiguracja biblioteki GLEW, 589
 konfiguracja biblioteki GLUT, 589
 konfiguracja Mesa3D, 588
 konfiguracja sterowników sprzętowych, 589
 Mesa3D, 588
 OpenGL, 586
 sesje X Window, 586
 sprawdzanie obsługi OpenGL, 587
 X Window, 586
 XFree86, 587
 LitTexture, 288
 LoadIdentity(), 179
 LoadMatrix(), 179
 LoadTGATexture(), 219, 220, 297
 LoadTGATextureRect(), 297
 log(), 266
 log2(), 266
 luminancja, 200
 Lunar Lander, 41

Ł

ładowanie
 tablica tekstur dwuwymiarowych, 317
 tekstury, 208
 tekstury skompresowane, 239, 387
 trójkąty, 100
 łamane zamknięte, 119
 łańcuchy EGL, 627
 łańcuchy GLX, 597
 łączenie funkcji rysujących, 486
 łączenie geometrii poprzez restart
 obiektów podstawowych, 487
 łączenie kolorów, 136
 łączenie przekształceń, 164
 łączenie punktów, 47, 115
 łąka, 492

M

m3dCrossProduct3(), 152
 m3dDegToRad(), 164
 m3dDotProduct3(), 151
 m3dGetAngleBetweenVectors3(), 151
 m3dLoadIdentity44(), 162
 m3dMakeOrthographicMatrix(), 298
 M3DMatrix33f, 153
 M3DMatrix44f, 153, 180
 m3dMatrixMultiply44(), 165, 166, 177
 m3dRotationMatrix(), 163
 m3dRotationMatrix44(), 163, 177
 m3dScaleMatrix44(), 164
 m3dTransformVector4(), 192, 193
 m3dTranslationMatrix44(), 162, 165, 177
 M3DVector3f, 150
 M3DVector4f, 150
 Mac OS X, 84, 560
 buforowanie, 568
 CGL, 581
 Cocoa, 561
 GLTools, 569
 GLUT, 560
 interfejsy OpenGL, 560
 Objective-C++, 569
 OpenGL, 561
 renderowanie pełnoekranowe, 573
 SphereWorld, 569, 570
 tworzenie aplikacji Cocoa, 561
 macierz model-widok, 157, 160, 276
 łączenie przekształceń, 164
 macierz jednostkowa, 162

- macierz model-widok
 - obrót, 163
 - przesunięcie, 162
 - skalowanie, 164
 - stosowanie, 165
 - tworzenie, 160
- macierz rzutowania, 44, 166, 171
 - macierz rzutowania model-widok, 174
 - modyfikacja potoku, 180
 - potok przekształceń wierzchołków, 178
 - rzutowanie perspektywiczne, 172
 - rzutowanie prostopadłe, 171, 298
 - stos macierzy, 179
- macierze, 152
 - GLSL, 245
 - M3DMatrix33f, 153
 - M3DMatrix44f, 153
 - macierz dwuwymiarowa, 154
 - macierz jednostkowa, 162, 246
 - macierz kamery, 189
 - macierz normalna, 193, 275, 424
 - macierz obrotu, 163
 - macierz przekształcenia, 44
 - macierz przekształcenia kolorów, 439
 - macierz przesunięcia, 162
 - macierz rozmycia gaussowskiego, 375
 - macierz skalowania, 164
 - macierz uniform, 262
 - operacje, 153
 - porządek kolumnowy macierzy, 154
 - transponowanie, 160
 - typy danych, 245
- magnification filter, 215
- main(), 93
- make, 590
- MakePyramid(), 220
- maksymalny rozmiar tekstu, 321
- malloc(), 205
- mapowanie buforów, 360, 615
 - sposoby mapowania, 361
- mapowanie cieni, 213, 338
- mapy bitowe, 196
- mapy sześcienne, 300
- maska próbki, 392
- maski, 407
- maskowanie wyniku, 405
 - maskowanie buforów szablonu, 407
 - maskowanie głębi, 406
 - maskowanie koloru, 406
 - stosowanie masek, 407
- maszyna stanów OpenGL, 78
- mat2, 246
- mat2x2, 246
- mat2x3, 246
- mat2x4, 246
- mat3, 246
- mat3x2, 246
- mat3x3, 246
- mat3x4, 246
- mat4, 246
- mat4x2, 246
- mat4x3, 246
- mat4x4, 246
- matematyka, 149
- Math3D, 111
- math3d.cpp, 153
- math3d.h, 153
- matrix stack, 179
- matrixCompMult(), 268, 453
- max(), 270, 276
- Maya, 365
- mechanizm rozszerzeń, 64
- mechanizm wielopróbkowania, 143
- Mesa3D, 588
- mierzenie czasu wykonywania poleceń, 475
- mieszanie addytywne, 312
- mieszanie kolorów, 47, 71, 135, 400
 - funkcja mieszania, 401
 - łączenie kolorów, 136
 - równanie mieszania, 136, 401
 - tryby równań mieszania kolorów, 139
 - włączanie, 136
 - współczynniki mieszania, 137
 - zmiana równania mieszania, 139
- min(), 270
- minification filter, 215
- mipmapowanie, 224
- mipmappy, 223
 - filtrowanie mipmap, 224
 - generowanie poziomów mipmap, 226
 - poziomy, 223
 - stosowanie, 226
- mix(), 271
- mnożenie macierzowego typu danych przez wektorowy, 264
- mnożenie macierzy, 179
- mod(), 270
- model oświetlenia ADS, 278
 - shader ADS, 280
 - światło odbicia zwierciadlanego, 279

światło otaczające, 278
 światło rozproszone, 279
 modele użycia buforów, 329
 modeling, 154
 modelowanie, 154

- przekształcenia geometryczne, 156

 modelview, 157
 ModelviewProjection, 174
 model-widok, 157, 160
 modf(), 270
 modyfikacja geometrii w shaderze geometrii, 426
 modyfikacja potoku, 180
 MSAA, 380, 391
 MultiMatrix(), 179
 multisample antyaliasing, 380
 multisampling, 143, 379
 multiteksturowanie, 305, 306

- interpolacja współrzędnych tekstur, 306
- shader odbicia, 308
- wiele współrzędnych tekstur, 306

 MultiTexCoord2f(), 221
 Multitexture, 307

N

nachylenie, 187
 nadawanie punktom kształtów, 314
 nagłówki, 92
 nakładanie tekstur, 212

- dopasowanie tekstury do obiektu geometrycznego, 214
- filtrowanie, 215
- parametry tekstur, 214
- współrzędne tekstury, 212
- zawijanie tekstury, 217

 nakładki HUD, 475
 napełnianie buforów, 328
 narzędzia pomocnicze, 72
 nawinięcie, 121

- nawinięcie przeciwne do ruchu wskazówek zegara, 122
- nawinięcie zgodne z ruchem wskazówek zegara, 122

 nazwany blok zmiennych jednorodnych, 454
 nazwy rozszerzeń OpenGL, 66
 New Project, 85
 New Project Assistant, 561
 NEXTSTEP Interface Builder, 561
 NIB, 561
 niechciana geometria, 126

- algorytm malarza, 126
- bufor głębi, 128
- testowanie głębi, 128
- tryby wielokątów, 130
- usuwanie płaszczyzn, 127
- usuwanie płaszczyzn przednich, 128
- usuwanie płaszczyzn tylnych, 127

 nierównomierne skalowanie sześcianu, 164
 niskopoziomowe API, 52
 noperspective, 247, 250, 448, 452
 normal matrix, 275
 Normal3f(), 221
 normalizacja wektorów, 150, 453
 normalize(), 267, 453
 normalna do powierzchni, 273, 275
 not(), 269
 notEqual(), 269, 453
 NSBorderlessWindowMask, 579
 NSOpenGL, 560
 NSOpenGLPFAAccelerated, 576
 NSOpenGLPFAAcceleratedCompute, 577
 NSOpenGLPFAAccumSize, 576
 NSOpenGLPFAAAllowOffLineRenderers, 577
 NSOpenGLPFAAAllRenderers, 575
 NSOpenGLPFAlphaSize, 575
 NSOpenGLPFAAuxBuffers, 575
 NSOpenGLPFAAuxDepthStencil, 576
 NSOpenGLPFABackingStore, 576
 NSOpenGLPFAClosestPolicy, 576
 NSOpenGLPFAColorFloat, 576
 NSOpenGLPFAColorSize, 575
 NSOpenGLPFACompliant, 577
 NSOpenGLPFADepthSize, 575
 NSOpenGLPFADoubleBuffer, 575
 NSOpenGLPFAScreenMask, 577, 579
 NSOpenGLPFASampleAlpha, 576
 NSOpenGLPFASampleBuffers, 576
 NSOpenGLPFASamples, 576
 NSOpenGLPFAScreenMask, 577, 579
 NSOpenGLPFASingleRenderer, 576
 NSOpenGLPFAStereo, 575
 NSOpenGLPFAStereo, 575

NSOpenGLPFASupersample, 576
 NSOpenGLPFAVirtualScreenCount, 577
 NSOpenGLPFAWindow, 577
 NSOpenGLPixelFormat, 574
 NSOpenGLView, 562, 565, 579
 nTextureUnit, 115
 NV_, 66

O

obcinanie głębi, 521
 obiekt bufora bloku zmiennych jednorodnych, 454
 obiekt bufora obrazu, 338, 353

- sposób użycia, 339
- tworzenie, 339, 353
- usuwanie, 339

 obiekt bufora pikseli, 329
 obiekt bufora renderowania, 339, 340, 353

- dołączanie obiektów, 340
- rozmiar obiektów, 341
- tworzenie, 340
- wiązanie, 340

 obiekt buforowy wierzchołków, 478
 obiekt synchronizacji, 523

- limit czasu, 525
- oczekiwanie na obiekt synchronizacji, 524
- stan niezasygnalizowany, 523
- stan zasygnalizowany, 523, 524
- usuwanie, 527

 obiekt tablicy wierzchołków, 478, 483, 484
 obiekt TBO, 337
 obiekt tekstur, 211
 obiekt zapytaniowy, 467
 obiekty podstawowe, 56, 71, 106, 116

- ciągi linii, 119
 - GL_LINE_LOOP, 116, 120
 - GL_LINE_STRIP, 116, 119
 - GL_LINES, 116
 - GL_POINTS, 116
 - GL_TRIANGLE_FAN, 116, 123
 - GL_TRIANGLE_STRIP, 116, 123
 - GL_TRIANGLES, 116
- linie, 118
 - łamane zamknięte, 119
 - punkty, 116

 Objective-C++, 569
 obracanie punktów, 315
 obraz komputerowy, 43
 obrazy HDR, 367
 obrót, 163
 obsługa kamery, 188
 occlusion query, 358, 466
 oczekiwanie na obiekt synchronizacji, 524
 odbicia światła, 367
 odbicie, 47, 304
 odbłysek światła od soczewek, 367
 odbłyски, 279
 odchylenie, 187
 odczytywanie danych pikseli z bufora, 331
 odświeżanie ekranu, 103
 odwiązanie bufora od punktu wiązania, 328
 odwrotność macierzy, 453
 odwzorowywanie buforów, 343
 odwzorowywanie danych wyjściowych shadera

- na bufory, 343

 odwzorowywanie fragmentów wyjściowych, 362
 odwzorowywanie tekstur, 196
 odwzorowywanie tonów, 369, 382
 OES_compressed_ETC1_RGB8_texture, 615
 OES_element_index_uint, 615
 OES_fragment_precision_high, 615
 OES_mapbuffer, 615
 OES_texture_3D, 615
 OES_texture_float, 614
 OES_texture_float_linear, 614
 OES_texture_half_float, 614
 OES_texture_half_float_linear, 614
 OES_vertex_half_float, 614
 ogólna kompletność bufora, 345
 ograniczanie wartości głębi, 400
 ograniczanie współrzędnych, 53
 OIT, 393
 okna, 550

- GLX, 596

 okrawanie, 390
 określanie wiązań dla bloków zmiennych

- jednorodnych, 463

 określanie wierzchołków, 100
 określanie współrzędnych tekstury, 220
 OpenEXR, 367, 368
 OpenGL, 23, 31, 38, 40, 48, 52, 56, 62, 87, 196

- funkcje wycofywane, 69
- implementacje w systemie Windows, 532
- mechanizm rozszerzeń, 64
- przyszłość, 67

 OpenGL 1.1, 535
 OpenGL 1.5, 610
 OpenGL 2.0, 67
 OpenGL 3.0, 70, 79
 OpenGL 3.1, 70, 249
 OpenGL 3.2, 70, 249
 OpenGL 3.3, 73

- OpenGL ARB, 63, 64, 66
 - OpenGL ES, 608, 620
 - działania na liczbach stałoprzecinkowych, 617
 - kwestie projektowe, 616
 - rozszerzenia producentów, 628
 - rozwiązywanie problemów z ograniczeniami, 616
 - środowiska układów wbudowanych, 615
 - wersje, 609, 610
 - wybór wersji, 611
 - OpenGL ES 1.0, 609
 - OpenGL ES 2.0, 610, 611
 - bufory obrazu, 614
 - całkowitoliczbowe indeksy elementów
 - bez znaku, 615
 - dotatki do rdzenia, 614
 - kolorowanie wierzchołków, 611
 - mapowanie buforów, 615
 - OES_compressed_ETC1_RGB8_texture, 615
 - OES_element_index_uint, 615
 - OES_fragment_precision_high, 615
 - OES_mapbuffer, 615
 - OES_texture_3D, 615
 - OES_texture_float, 614
 - OES_texture_half_float, 614
 - OES_vertex_half_float, 614
 - platformy przenośne firmy Apple, 629
 - przetwarzanie wierzchołków, 611
 - rasteryzacja, 613
 - shadery, 612
 - skompresowany format teksturowy Ericssona, 615
 - stan, 614
 - teksturowanie, 613
 - tekstury trójwymiarowe, 615
 - tekstury zmiennoprzecinkowe, 614
 - wartości całkowite wysokiej precyzji
 - w shaderach fragmentów, 615
 - wartości zmiennoprzecinkowe wysokiej precyzji
 - w shaderach fragmentów, 615
 - zmiennoprzecinkowy format wierzchołków
 - połowy precyzji, 614
 - OpenGL ES Application, 629
 - OpenGL ES SC 1.0, 610
 - OpenGL ES Shading Language, 612
 - OpenGL extension wrangler, 73
 - OpenGL firmy Microsoft, 533
 - OpenGL GLU, 74
 - OpenGL Shading Language, 242
 - OpenGL Shading Language Specification, 242
 - OpenGL Specification, 64
 - OpenGL Utility Library, 72
 - OpenGL Utility Toolkit, 72
 - OpenGL Working Group, 65
 - opengl32.dll, 532, 533, 534
 - OpenVG, 620
 - operacja rozwiązywania, 379
 - operacje logiczne, 405, 406
 - operacje na fragmentach, 390
 - maskowanie wyniku, 405
 - mieszanie kolorów, 400
 - operacje logiczne, 405
 - rozsiewanie kolorów, 404
 - test nożyc, 390
 - test szablonu, 397
 - testowanie głębi, 400
 - wielopróbkowanie, 391
 - operacje na pikselach, 390
 - operacje na szablonach, 397
 - operacje testu szablonu, 398
 - operatory, 453
 - oprogramowanie ogólnodostępne, 72
 - optymalizacja renderowania, 134
 - rysowanie dużych ilości geometrii, 486
 - order independent transparency, 393
 - organizowanie buforów, 483
 - Orthographic, 171
 - ortogonalne rzutowanie, 57
 - orzekanie, 473
 - osie, 53
 - oświetlenie, 192, 272
 - oświetlenie tekstei, 287
 - oświetlenie wierzchołków, 273, 274
 - out, 110, 246, 247, 365
 - out centroid, 247
 - outerProduct(), 268, 453
 - ożywianie sceny, 101
- P**
- painter's algorithm, 126
 - pakowanie pikseli, 196
 - pamięć tekstur, 320
 - parametry punktów, 314
 - parametry tekstur, 214
 - particle, 309
 - path tracing, 453
 - PBO, 329, 330, 335
 - Perspective, 171
 - perspective projection, 58
 - perspektywa, 42, 43, 158
 - pętla programu głównego, 94
 - pętle, 452
 - Phong shading, 282

- piksele, 115
- piksmapy, 199
- pipeline stall, 108
- pitch, 187
- pix_buffs, 332
- pixel buffer, 100
- pixel buffer object, 329
- PIXELFORMATDESCRIPTOR, 544, 546
- platforma .NET, 538
- platformy przenośne firmy Apple, 629
- pliki make, 590
- płaski shader, 262
- płaszczyzna, 53
- płaszczyzna kartezjańska, 53
- płaszczyzny obcinania, 519
 - definiowanie, 519
 - gl_Clip_Distance, 519, 520
 - obcinanie głębi, 521
- pobieranie wskazówek, 77
- pobieranie wyników zapytania, 468
- pochylenie, 187
- początek układu kartezjańskiego, 53
- podejmowanie decyzji, 472
- podpiksele, 379
- podstawowe shadery, 113
- podwójne buforowanie, 93, 539, 556
 - Mac OS X, 568
 - WGL, 556
 - Windows, 556
- podwójny bufor, 93
- point light shader, 115
- point sprite, 309
- points, 420
- PointSprite, 311
- pojedynczy trójkąt, 120
- położenie światła, 192
- położenie w przestrzeni, 56
- pomocnicza biblioteka OpenGL, 72
- Pong, 41
- PopMatrix(), 180, 183
- poprawianie wydajności renderowania, 134
- porządek kolumnowy macierzy, 154, 160, 161
- porządek wierszowy macierzy, 160
- poświata, 367, 374, 376
- potok graficzny, 106
 - klient, 107
 - programy do cieniowania, 108
 - serwer, 107
 - zator potoku, 108
- potok przekształceń wierzchołków, 178
- pow(), 266
- powierzchnia pokrycia próbki, 391
- poziomy mipmap, 223
- prawa Newtona, 412
- prawo Hooke'a, 412, 413
- predication, 473
- primitive restart, 488
- primitives, 56, 71, 106
- proces renderowania trójkąta, 107
- procesor GPU, 384
- profil rdzenny, 23
- profil zgodnościowy, 23
- programowalne cieniowanie, 50
- programowanie grafiki trójwymiarowej, 38, 52
- programy do cieniowania, 23, 46, 50, 99, 108, 112
 - atrybuty, 109, 113
 - attribute, 109
 - domyślny shader oświetlenia, 114
 - GLSL, 242
 - in, 110
 - kod shaderów, 242
 - out, 110
 - shader cieniowany, 114
 - shader jednostkowy, 114
 - shader modulacji tekstury, 115
 - shader oświetlenia punktowego, 115
 - shader płaski, 114
 - shader punktowego oświetlenia tekstury, 115
 - shader tożsamościowy, 114
 - shader wymiany tekstury, 115
 - shadery, 242
 - tekstury, 110
 - uniform, 109, 113
- programy do cieniowania geometrii, 108
- projection, 57, 154
- projection matrix, 44, 166, 171
- projekt, 81, 85
 - aplikacje dla iPhone'a, 629
 - Xcode, 566
- promienie zmierzchu, 367
- promienistość, 338
- prostokąt okrawający, 134, 135
- provoking vertex, 259
- próbkowanie tekstury, 285
- próbkowanie z uwzględnieniem środka masy, 448
 - wykrywanie krawędzi, 450
- przechowywanie danych w buforach danych wierzchołków, 478
- przechowywanie danych w pamięci GPU, 477
- przechowywanie indeksów wierzchołków w buforach, 482

- przechowywanie przekształconych wierzchołków, 500
 - przechowywanie przeplatanych atrybutów, 480
 - przekształcanie, 44
 - przekształcenia afiniczne, 180
 - przekształcenia geometryczne, 148, 154
 - dwoistość model-widok, 157
 - macierz model-widok, 157
 - modelowanie, 154, 156
 - punkt widzenia, 154, 155
 - rzutowanie, 154, 158
 - skrót perspektywiczny, 158
 - widok, 159
 - współrzędne oka, 154
 - przekształcenia światła, 192
 - przekształcenia widoku, 159
 - przekształcenie zwrotne, 500, 501
 - algorytmy rekurencyjne, 510
 - grupowanie w stada, 511
 - stosowanie, 509
 - zapisywanie wyników pośrednich, 509
 - przelotowy shader wierzchołków, 428
 - przestrzeń kartezjańska, 96
 - przestrzeń kolorów
 - RGB, 98
 - sRGB, 384
 - przestrzeń międzygwiazdowa, 312
 - przestrzeń ograniczająca, 97
 - przestrzeń widoczna, 57
 - przesunięcie, 162
 - przesuwanie wielokątów, 131
 - przetwarzanie fragmentów, 250
 - przetwarzanie końcowe, 438
 - korekcja kolorów, 438
 - splot, 439
 - przetwarzanie wierzchołków, 250
 - przeznaczanie wartości alfa na wartość pokrycia, 391
 - przezroczystość, 138
 - przezroczystość niezależna od kolejności obiektów, 393
 - przycinanie, 518
 - przycinanie geometrii na wymiar, 390
 - przygotowywanie zapytania, 467
 - przypisanie punktu wiązania do bufora zmiennych jednorodnych, 462
 - przyspieszanie operacji wypełniania, 582
 - przeszłość OpenGL, 67
 - public domain, 72
 - puddło nieba, 189, 202
 - punkt świetlny, 192
 - punkt widzenia, 154
 - przekształcenia, 155
 - przekształcenia geometryczne, 155
 - punktowe źródło światła, 194
 - punkty, 116
 - punkty wiązania obiektów buforowych, 327
 - PushMatrix(), 180, 183
 - Pyramid, 219
- ## Q
- quad, 309, 436
 - quaternions, 188
 - query, 466
 - query object, 467
- ## R
- radians(), 266
 - radiosity, 338
 - rasterization, 45
 - rasteryzacja, 45, 97
 - ray tracer, 49
 - ray tracing, 51
 - RBO, 339, 350, 353
 - RC, 94
 - rdzeń biblioteki, 71
 - realizm, 196
 - Red-Green Texture Compression, 386
 - reflect(), 267, 453
 - refract(), 267, 453
 - region ograniczający, 53, 54
 - relacje między punktami wiązania przekształcenia zwrotnego, 504
 - renderbuffer object, 339
 - rendering context, 94
 - renderowanie, 44, 100
 - renderowanie danych wierzchołków, 330
 - renderowanie do FBO, 351
 - renderowanie do tekstur, 353
 - efekt lustra, 354
 - tworzenie obiektu FBO, 353
 - renderowanie egzemplarzowe, 498
 - renderowanie egzemplarzy obiektu, 490
 - renderowanie HDR, 366, 370
 - konwersja HDR na LDR, 369, 371
 - odwzorowywanie tonów, 369
 - OpenEXR, 367, 368
 - poświata, 374
 - RGBAInputFile, 368

- renderowanie pełnoekranowe w Mac OS X, 573
 - applicationDidFinishLaunching(), 577
 - CGDisplayHideCursor(), 579
 - Cocoa, 574
 - formaty pikseli, 574
 - klasa widoku, 580
 - NSBorderlessWindowMask, 579
 - NSOpenGLPFADepthSize, 575
 - NSOpenGLPFADoubleBuffer, 575
 - NSOpenGLPFAScreenMask, 579
 - NSOpenGLPixelFormat, 574
 - NSOpenGLView, 579
 - rdzeń aplikacji, 577
 - rozmiar pulpitu, 579
 - renderowanie pełnoekranowe w Windows, 555
 - konfiguracja pełnoekranowego okna, 555
 - renderowanie trójkąta, 107
 - renderowanie w systemie Windows, 537
 - renderowanie warunkowe, 471, 473
 - renderowanie zbioru Julii, 444
 - renderowanie zbioru Mandelbrota, 443
 - RenderRealObject(), 473
 - RenderScene(), 94, 103, 165, 191
 - RenderSimplifiedObject(), 470, 472, 473
 - resolve shader, 381
 - resolving, 379
 - restart obiektów podstawowych, 487, 488
 - RGB, 98
 - rgba, 244
 - RGBA, 93, 384
 - RGBAInputFile, 368
 - RGTC, 386
 - roll, 187
 - Rotate(), 180, 183
 - round(), 270
 - roundEven(), 270
 - rozmiar obiektów RBO, 341
 - rozmiar punktu, 117, 310
 - rozmycie gaussowskie, 375
 - rozmycie obiektów w ruchu, 332
 - rozsiewanie kolorów, 390, 404
 - zastosowanie, 404
 - rozszerzenia EGL, 627
 - rozszerzenia GLX, 597
 - rozszerzenia OpenGL, 66, 534
 - rozszerzenia WGL, 536
 - równania
 - konwersja kolorów, 385
 - mieszanie kolorów, 136, 401
 - rysowanie, 116
 - rysowanie danych zapisanych w buforze przekształcenia zwrotnego, 509
 - rysowanie dużych ilości geometrii, 486
 - rysowanie linii normalnych, 432
 - rysowanie normalnej do powierzchni, 433
 - rysowanie obiektów, 97
 - rysowanie obiektów za pomocą samych linii, 45
 - rysowanie prostokątów za pomocą prostokąta okrawającego, 135
 - rysowanie pułda nieba, 302
 - rysowanie punktów w trzech wymiarach, 106
 - rysowanie wielu egzemplarzy jednego obiektu, 489
 - rysowanie z perspektywy lustra, 356
 - rysowanie trójkątów w trzech wymiarach, 120
 - niechciana geometria, 126
 - pojedynczy trójkąt, 120
 - trójkąty sklepane, 123
 - wachlarze trójkątów, 123
 - rzutowanie, 44, 57, 154
 - przekształcenia geometryczne, 158
 - rzutowanie ortogonalne, 57, 111, 158
 - rzutowanie perspektywiczne, 58, 112, 158, 172
 - rzutowanie prostopadłe, 158, 171
 - rzutowanie współrzędnych kartezjańskich na piksele, 97
 - rzutowanie współrzędnych na rzeczywiste współrzędne ekranu, 96
 - rzutowanie współrzędnych rysowania na współrzędne okna, 54
 - rzutowanie z trzech w dwa wymiary, 56
- ## S
- S3TC, 386
 - Safety Critical, 610
 - Scale(), 180
 - schemat układu wbudowanego, 619
 - schodkowe krawędzie, 140
 - scintillation, 223
 - scissor box, 135
 - scissor rectangle, 134
 - scissor test, 390
 - Seeker, 51
 - serwer, 107
 - sesje X Window, 586
 - setFrameBuffer(), 368
 - SetMatrixStacks(), 183
 - SetOrthographic(), 111, 172

- SetPerspective(), 112, 173
- SetPixelFormat(), 546
- SetupRC(), 98, 233, 264
- SetupWindow(), 550
- SGI, 63, 586
- SGI_, 66
- ShadedTriangle, 249, 258
- shader fragmentów, 242, 250, 436
 - ADSPhong, 284
 - anulowanie przetwarzania fragmentów, 289
 - czworokąt, 436
 - czworokąt pokrywający cały ekran, 436
 - discard, 446
 - generowanie danych obrazu, 442
 - gl_FragDepth, 447
 - ignorowanie zadań, 445
 - kontrola głębi poszczególnych fragmentów, 447
 - korekcja kolorów, 438
 - macierze przekształcania kolorów, 439
 - przetwarzanie końcowe, 438
 - splot, 439
 - testowanie alfa, 446
- shader geometrii, 242, 417
 - algorytm usuwania płaszczyzn tylnych, 424
 - blok interfejsu, 421
 - EmitVertex(), 422
 - EndPrimitive(), 422
 - generowanie geometrii, 427
 - kwalifikatory układu, 418
 - modyfikacja geometrii, 426
 - normalna do powierzchni, 424
 - rozmiary tablic, 422
 - rozsadzanie modelu, 426
 - rysowanie linii normalnych, 432
 - rysowanie normalnej do powierzchni, 433
 - shader przepuszczający dane, 417
 - stosowanie w programie, 419
 - teselacja, 428, 430
 - tryb triangle_strip, 418
 - tryb triangles, 418
 - tryby rysowania trybów wejściowych, 420
 - tworzenie, 419
 - typy obiektów podstawowych, 433
 - usuwanie geometrii, 423
 - warunkowe tworzenie geometrii, 425
 - wizualizacja normalnych, 432
 - wzmacnianie, 417
 - zmiana typu obiektu podstawowego, 431
- shader wierzchołków, 242, 248, 410, 428, 510
 - ADSPhong, 283
 - fizyczne symulacje, 410
 - shaders, 46, 108
 - shadery, 23, 46, 242, 248
 - architektura, 243
 - dane uniform, 259
 - kompilacja, 256
 - konsolidacja, 257
 - OpenGL ES 2.0, 612
 - shader ADS, 280
 - shader cieniowany, 114
 - shader jednostkowy, 114
 - shader modulacji tekstury, 115
 - shader oświetlenia punktowego, 115
 - shader płaski, 114, 262
 - shader punktowego oświetlenia tekstury, 115
 - shader rozwiązywania, 381
 - shader światła rozproszonego, 274
 - shader tożsamościowy, 114
 - shader wymiany tekstury, 115
 - wiązanie, 256
 - wykorzystanie, 258
 - shading, 45
 - shadow mapping, 213
 - shadow volume, 378
 - shared layout, 455
 - sign(), 269, 270
 - siła, 413
 - sin(), 266
 - sinh(), 266
 - skalar, 153
 - skalowanie, 156, 164
 - skompresowany format teksturowy Ericssona, 615
 - skrót perspektywiczny, 44, 158
 - skybox, 189, 302
 - smooth, 250
 - Smoother, 140
 - smoothstep(), 271, 453
 - Snow Leopard, 573
 - Solution Explorer, 82
 - sortowanie stanów, 144
 - SpecialKeys(), 102
 - specular highlight, 279
 - specular light, 279
 - sphere_world_redux, 550
 - SphereWorld, 181, 184, 240, 569, 570
 - aplikacja dla iPhone'a, 633
 - SphereWorld2, 184, 189
 - SphereWorld3, 191
 - SphereWorldFS, 581
 - splot, 439
 - sposoby mapowania buforów, 361

sposoby przechowywania danych pikselowych
 w pamięci, 199
 sprajty, 309
 sprajt punktowy, 309
 teksturowanie punktów, 309
 sprawdzanie bufora obrazu, 345
 sprawdzanie wartości logicznych, 79
 sprawdzanie wersji biblioteki OpenGL, 77
 sqrt(), 266
 sRGB, 384, 385
 stan OpenGL, 350
 stan OpenGL ES 2.0, 614
 stan potoku, 78
 stan tekstur, 208, 211
 standard layout, 459
 standardowe programy do cieniowania, 112
 step(), 271, 453
 sterowniki graficzne, 533
 sterowniki ICD, 533
 stos macierzy, 179
 ładowanie macierzy, 179
 ładowanie macierzy jednostkowej, 179
 mnożenie macierzy, 179
 pobieranie macierzy, 180
 przekształcenia afiniczne, 180
 wstawianie macierzy, 180
 stosowanie mipmap, 226
 stosowanie tekstur prostokątnych, 297
 stożek, 169
 stpq, 244, 245
 strumieniowe modyfikowanie tekstur, 330
 subpixel, 379
 surowe dane obrazów, 196
 SwapBuffers(), 556, 557
 swizzling, 245
 symulacja fizyczna, 410
 symulacja punktów połączonych sprężynami, 416
 symulacja systemu cząsteczkowego, 510
 symulacja światła, 272
 cieniowanie Phong'a, 281
 model oświetlenia ADS, 278
 normalne do powierzchni, 273
 oświetlenie wierzchołków, 273
 shader światła rozproszonego, 274
 światło rozproszone, 272
 sync objects, 523
 synchronizacja pionowa, 557
 synchronizacja rysowania, 523
 CGL, 581
 EGL, 626

GLX, 601
 WGL, 557
 system cząsteczkowy, 510
 system DCE, 534
 szarpanie obrazu, 557, 581
 sześcian trójwymiarowy, 42
 szkielety, 87

Ś

śledzenie promieni, 49, 51
 śledzenie ścieżek promieni, 453
 śliskie kąty, 187
 środowiska układów wbudowanych, 615, 628
 Apple, 629
 rozszerzenia producentów, 628
 system operacyjne, 628
 środowisko programistyczne w systemie Mac OS X,
 84
 biblioteki, 87
 dodawanie ścieżki GLTools do projektu, 89
 Frameworks, 87
 nagłówki, 87
 szkielety, 87
 tworzenie projektu, 85
 ustawienia kompilacji, 85
 Xcode, 84
 środowisko programistyczne w systemie Windows,
 79
 dodawanie plików, 82
 dodawanie ścieżek, 79
 Solution Explorer, 82
 Tools, 79
 tworzenie projektu, 81
 środowisko z zanurzeniem, 189
 światło kierunkowe, 272
 światło odbicia zwierciadlanego, 279
 światło otaczające, 278
 światło rozproszone, 272, 279
 shader, 274

T

tablica wierzchołków, 485
 tablice egzemplarzowe, 491, 496
 tablice tekstur, 317
 dostęp do tablic tekstur, 320
 indeksowanie, 319
 ładowanie tablicy tekstur dwuwymiarowych, 317
 TextureArray, 319, 320

- tablice uniform, 261
- tan(), 266
- tanh(), 266
- Targa, 198, 205
- TBO, 337, 410, 415, 512
- tearing, 557, 581
- technika HDR, 367
- technika odwzorowywania tonów, 369
- technika wielopróbkowania, 379
- teksele, 196, 285
- teksturowanie, 46
- teksturowanie kreskówkowe, 292
- teksturowanie punktów, 309
 - efekt przestrzeni międzygwiazdnej, 312
 - nadawanie punktom kształtów, 314
 - obracanie punktów, 315
 - parametry punktów, 314
 - PointSprite, 311
 - rozmiar punktów, 310
 - shader fragmentów obrotowych sprajtów punktowych, 316
 - shader wierzchołków obrotowych sprajtów punktowych, 316
- teksturowanie sprajtu punktowego, 310
- tekstury, 110, 196
 - aktualizacja tekstur, 210
 - bufor kolorów, 209
 - dowiązanie do stanów, 211
 - filtrowanie, 215
 - filtrowanie anizotropowe, 234
 - formaty tekstur, 209
 - generowanie poziomów mipmap, 226
 - GLSL, 285
 - kompresja, 236, 386
 - ładowanie tekstur, 208
 - mipmapy, 223
 - multiteksturowanie, 305
 - nakładanie, 212
 - obiekty tekstur, 211
 - oświetlenie teksele, 287
 - parametry, 214
 - piksmapy, 199
 - próbki, 285
 - renderowanie do tekstur, 353
 - stan tekstur, 208, 211
 - szerokość obramowania, 209
 - tablice tekstur, 317
 - teksele, 196
 - teksturowanie w stylu kreskówkowym, 292
 - uchwyt obiektu tekstury, 212
 - upakowane formaty pikseli, 200
 - usuwanie obiektu tekstury, 212
 - wczytywanie pikseli, 205
 - wczytywanie tekstury, 219
 - wierzchołki, 213
 - współrzędne tekstury, 212
 - wymiary, 209
 - zapisywanie pikseli, 203
- tekstury buforowe, 336
- tekstury MSAA, 380, 381
- tekstury prostokątne, 296
 - stosowanie, 297
 - TextureRect, 298
 - wczytywanie, 297
 - współrzędne tekstury, 298
- tekstury sRGB, 385
- tekstury sześciennie, 300
 - Cubemap, 300
 - rysowanie pudła nieba, 302
 - shader fragmentów, 303
 - shader wierzchołków, 303
 - shader wierzchołków odbicia, 304
 - tworzenie efektu odbicia, 304
 - tworzenie pudła nieba, 302
 - wczytywanie, 301
- tekstury trójwymiarowe, 615
- tekstury zastępcze, 320, 321
- tekstury zmiennoprzecinkowe, 614
- teselacja, 428, 430
 - teselacja przy użyciu pasów trójkątów, 430
- test alfa, 289
- test nożyc, 390
- test okrawania, 390
- test przesłonięć, 358
- test szablonu, 397, 398
 - funkcje, 398
 - operacje, 398
- testowanie głębi, 78, 93, 128, 129, 400
 - ograniczanie wartości głębi, 400
- texel, 196
- texelFetch(), 380
- texture filtering, 215
- texture mapping, 46, 196
- texture proxy, 321
- texture replace shader, 115
- texture state, 208, 211
- texture wrapping mode, 217
- TEXTURE_BRICK, 233
- TEXTURE_CEILING, 233
- TEXTURE_FLOOR, 233

- TextureArray, 319, 320
 - TexturedTriangle, 285, 286
 - shader fragmentów, 286
 - shader wierzchołków, 286
 - TextureRect, 298
 - shader fragmentów, 299
 - TGA, 198
 - tone mapping, 369
 - toon shading, 292
 - ToonShader, 293
 - shader wierzchołków, 293
 - torus, 131, 169, 183
 - transform feedback, 500
 - transform feedback buffer, 500
 - transformation matrix, 44
 - Translate(), 180, 183
 - translation matrix, 162
 - transponowanie, 160
 - transpose(), 268, 453
 - transpozycja macierzy, 453
 - trawa, 493
 - triangle_strip, 418, 426
 - triangles, 418, 420
 - triangles_adjacency, 420
 - trójkąty, 90, 100, 120
 - trójkąty sklejjane, 123
 - trójwymiarowy, 41
 - trójwymiarowy układ współrzędnych
 - kartezjańskich, 56
 - trunc(), 270
 - tryb kolorów RGBA, 93
 - tryb natychmiastowy, 221
 - tryb przekształcenia zwrotnego, 505
 - tryb przepłotu, 505
 - tryb szkieletowy, 263
 - tryb wyświetlania, 93
 - tryb zawijania tekstur, 217
 - tryby równań mieszania kolorów, 139
 - tryby wielokątów, 130
 - Tunnel, 226
 - tworzenie
 - aplikacje Cocoa, 561
 - aplikacje konsolowe, 81
 - blok zmiennych jednorodnych, 455
 - bufor wierzchołków, 478
 - bufory, 327
 - efekt odbicia, 304
 - frusta, 112
 - kontekst renderingu OpenGL, 547
 - kontekst urządzenia, 554
 - kontener FBO, 339
 - macierz model-widok, 160
 - obiekt bufora renderowania, 340
 - obiekt FBO, 348, 353
 - obiekt VAO, 484
 - okna, 550
 - okna EGL, 621
 - okna GLX, 596
 - okna X, 603
 - projekt, 81, 85
 - projekt aplikacji dla iPhone'a, 629
 - pudło nieba, 302
 - seria danych trójkątów, 221
 - shader geometrii, 419
 - tekstury buforowe, 337
 - tekstury MSA, 381
 - teselowane wierzchołki, 429
 - typ in, 110
 - typ out, 110
 - typ uniform, 109, 113
 - typy danych, 74
 - GLSL, 243
 - język C, 75
 - M3DMatrix33f, 153
 - M3DMatrix44f, 153
 - M3DVector3f, 150
 - M3DVector4f, 150
 - OpenGL, 75
 - typy macierzowe, 245
 - typy obiektów podstawowych, 433
- ## U
- UBO, 454
 - uchwyt obiektu tekstury, 212
 - uintBitsToFloat(), 272
 - UIView, 639
 - układ ciężarków i sprężyn, 413
 - układ kartezjański, 52
 - układ odniesienia aktora, 186
 - układ standardowy, 459
 - układ wspólny, 455
 - układ współrzędnych, 52, 95
 - konfiguracja, 110
 - układy wbudowane, 615, 619
 - uniform, 109, 113, 242, 246, 247, 259, 260, 384, 457
 - uniform buffer object, 454
 - unsigned byte, 75
 - upakowane formaty pikseli, 200
 - uruchamianie biblioteki GLUT, 93
 - urządzenia przenośne, 608

UseStockShader(), 101, 113, 114, 126, 165, 178, 183, 222

ustawianie

- format pikseli, 546
- rozmiar punktu, 117
- stan OpenGL, 350
- warstwy według głębi, 394

ustawienia kompilacji, 85

usuwanie

- bufor, 328
- geometria w shaderach geometrii, 423
- obiekt synchronizacji, 527
- obiekt tekstury, 212
- obiekt FBO, 339
- obiekt VAO, 484
- okno GLX, 596
- płaszczyzny, 127
- płaszczyzny przednie, 128
- płaszczyzny tylne, 127, 424
- powierzchnie ukryte, 45
- program cieniujący, 257

uvec2, 244

uvec3, 244

uvec4, 244

użycie shadera GLSL, 258

V

VAO, 415, 478, 484

- liczba stanów, 485
- tworzenie obiektów, 484
- usuwanie obiektów, 485

varying, 365

VBO, 410, 415, 478

- alokacja, 479
- inicjalizacja, 479
- przechowywanie kilku atrybutów wierzchołków, 480
- przechowywanie przeplatanych atrybutów, 480
- rozmieszczenie danych w buforach, 481

vec2, 244

vec3, 244, 460

vec4, 244, 245, 365, 460

vertex, 44, 56

vertex array object, 478

vertex buffer object, 478

vertex lighting, 274

vertex shader, 108

Vertex3f(), 221

view frustum, 519

viewing, 154

viewing volume, 57

viewport, 54

viewport transformation, 159

Visual C++, 79

Visual C++ 2008 Express Edition, 79

void, 243

V-sync, 557

W

wachlarze trójkątów, 123

walec, 169

wartości logiczne, 243

wczytywanie

- piksele, 205
- pliki Targa, 205
- tekstury, 219
- tekstury prostokątne, 297
- tekstury sześciennie, 301

wektorowe typy danych, 244, 245

wektory, 149

- GLSL, 244
- iloczyn skalarny, 151
- iloczyn wektorowy, 152
- M3DVector3f, 150
- M3DVector4f, 150
- normalizacja, 150
- typy danych, 244
- wektor jednostkowy, 150
- wektor normalny, 273

wersje języka GLSL, 249

wersor, 150

WGF, 538

WGL, 532, 536, 537

- atrybuty formatów pikseli, 541, 542
- formaty pikseli, 539
- kontekst bieżący, 549
- kontekst debugowania, 548
- kontekst renderingu OpenGL, 547
- kontekst urządzenia, 538
- PIXELFORMATDESCRIPTOR, 544
- podwójne buforowanie, 556
- rendering pełnoekranowy, 555
- rodzaje zamian buforów, 543
- synchronizacja rysowania, 557
- tworzenie kontekstu renderingu OpenGL, 547
- ustawianie formatu pikseli, 546
- wybór formatu pikseli, 546
- wyliczenia formatów pikseli, 545
- zamiana buforów, 556
- zapobieganie poszarpaniu obrazu, 557

- WGL
 - znaczniki rodzaju wsparcia sprzętowego, 543
 - znajdowanie formatów pikseli, 539, 544
- WGL_, 66
- WGL_ACCELERATION_ARB, 541, 542, 543
- WGL_ALPHA_BITS_ARB, 540, 543
- WGL_ALPHA_SHIFT_ARB, 543
- WGL_ARB_extensions_string, 536
- WGL_ARB_pixel_format, 539
- WGL_BLUE_BITS_ARB, 543
- WGL_BLUE_SHIFT_ARB, 543
- WGL_COLOR_BITS_ARB, 540, 543
- WGL_CONTEXT_COMPATIBILITY_PROFILE_
 - ↳BIT_ARB, 548
- WGL_CONTEXT_CORE_PROFILE_BIT_ARB, 548
- WGL_CONTEXT_DEBUG_BIT, 548
- WGL_CONTEXT_FLAGS_ARB, 548
- WGL_CONTEXT_MAJOR_VERSION_ARB, 547
- WGL_CONTEXT_MINOR_VERSION_ARB, 547
- WGL_CONTEXT_PROFILE_MASK_ARB, 548
- WGL_DEPTH_BITS_ARB, 542
- WGL_DOUBLE_BUFFER_ARB, 543, 556
- WGL_DRAW_TO_BITMAP_ARB, 542
- WGL_DRAW_TO_WINDOW_ARB, 540, 541, 542
- WGL_ERROR_INVALID_PROFILE_ARB, 548
- WGL_ERROR_INVALID_VERSION_ARB, 548
- WGL_EXT_swap_control, 557
- WGL_FULL_ACCELERATION_ARB, 543
- WGL_GENERIC_ACCELERATION_ARB, 543
- WGL_GREEN_BITS_ARB, 543
- WGL_GREEN_SHIFT_ARB, 543
- WGL_NEED_PALETTE_ARB, 542
- WGL_NEED_SYSTEM_PALETTE_ARB, 542
- WGL_NO_ACCELERATION_ARB, 543
- WGL_NUMBER_OVERLAYS_ARB, 542
- WGL_NUMBER_PIXEL_FORMATS_ARB, 542, 545
- WGL_NUMBER_UNDERLAYS_ARB, 542
- WGL_PIXEL_TYPE_ARB, 543
- WGL_RED_BITS_ARB, 543
- WGL_RED_SHIFT_ARB, 543
- WGL_SAMPLES_ARB, 542
- WGL_SHARE_ACCUM_ARB, 543
- WGL_SHARE_DEPTH_ARB, 542
- WGL_SHARE_STENCIL_ARB, 542
- WGL_STENCIL_BITS_ARB, 542
- WGL_STEREO_ARB, 543
- WGL_SUPPORT_GDI_ARB, 543
- WGL_SUPPORT_OPENGL_ARB, 541, 543
- WGL_SWAP_COPY_ARB, 543
- WGL_SWAP_EXCHANGE_ARB, 543
- WGL_SWAP_LAYER_BUFFERS_ARB, 542
- WGL_SWAP_METHOD, 540
- WGL_SWAP_METHOD_ARB, 542, 543
- WGL_SWAP_UNDEFINED_ARB, 543
- WGL_TRANSPARENT_ALPHA_VALUE_ARB, 542
- WGL_TRANSPARENT_ARB, 542
- WGL_TRANSPARENT_BLUE_VALUE_ARB, 542
- WGL_TRANSPARENT_GREEN_VALUE_ARB, 542
- WGL_TRANSPARENT_RED_VALUE_ARB, 542
- wglChoosePixelFormat(), 540
- wglChoosePixelFormatARB(), 540, 545, 546, 556
- wglCreateContext(), 549
- wglCreateContextAttribsARB(), 547, 548, 549
- wglDeleteContext(), 549, 554
- wglctx.h, 536
- wglGetExtensionsStringARB(), 536
- wglGetPixelFormatAttribARB(), 544, 546
- wglGetPixelFormatAttribfvARB(), 541, 545
- wglGetPixelFormatAttribivARB(), 541, 545, 546
- wglGetPixelFormatAttribuivARB(), 544
- wglGetProcAddress(), 535, 536, 544, 627
- wglMakeCurrent(), 549, 554
- wglSwapIntervalEXT(), 557
- while, 452
- wiązanie, 252, 256
- wiązanie lokalizacji atrybutów, 257
- wiązanie RBO, 340
- widoki, 54, 96
 - przekształcenia geometryczne, 159
- widzenie w trzech wymiarach, 43
- wielokąty, 130
- wielokrotne rysowanie tej samej geometrii, 490
- wielopróbkowanie, 143, 379, 391
 - kolejność próbek, 396
 - konfiguracja stanu maski, 393
 - liczba próbek, 380
 - maska próbki, 392
 - odwzorowywanie tonów, 382
 - operacja rozwiązywania, 379
 - podpiksele, 379
 - powierzchnia pokrycia próbki, 391
 - shader rozwiązywania, 381
 - tekstury MSAA, 380, 381
 - tworzenie kontenera na wielopróbkowany obiekt RBO, 380
- wielowątkowość, 583
- wierzchołki, 44, 56, 100, 259
 - wierzchołek prowokujący, 259
- wierzchołki tekstury, 213
- winding, 122

- Windows, 79, 532
 - formaty pikseli, 539
 - GDI, 538
 - implementacje OpenGL, 532
 - inicjalizowanie kontekstu renderingu, 554
 - kontekst renderingu, 538
 - kontekst urządzenia, 538, 554
 - OpenGL firmy Microsoft, 533
 - podwójne buforowanie, 556
 - rendering pełnoekranowy, 555
 - renderowanie, 537
 - rozszerzenia OpenGL, 534
 - rozszerzenia WGL, 536
 - tworzenie okna, 550
 - wyłączanie kontekstu renderingu, 554
 - Windows BMP, 198
 - Windows Graphics Foundation, 538
 - Windows Presentation Foundation, 538
 - Windows-GL, 532
 - WinMain(), 93
 - wireframe rendering, 45
 - wizualizacja normalnych, 432
 - włączanie
 - mieszanie kolorów, 136
 - test okrawania, 390
 - testowanie głębi, 129
 - wojny API, 23
 - WPF, 538
 - wrażenie trójwymiarowości, 43
 - wskazówki, 77
 - współczynnik tłumienia, 412
 - współczynniki mieszania, 137
 - współrzędne, 95
 - współrzędne globalne położenia światła, 192
 - współrzędne oka, 154
 - współrzędne okna, 54
 - współrzędne rysowania, 54
 - współrzędne tekstury, 212, 220
 - wybór formatu pikseli, 546
 - wycinanie nożycami, 134
 - wydajność wypełniania, 582
 - wygładzanie, 140
 - algorytmy antyaliasingu, 143
 - wielopróbkowanie, 143
 - wyjście z shadera, 342
 - wykorzystanie wyniku zapytania, 469
 - wykrywanie krawędzi, 450
 - wyliczenia formatów pikseli, 545
 - wyłączanie kontekstu renderingu, 554
 - wyłączanie rasteryzacji, 506
 - wymiary obiektów, 42
 - wymiary okna, 94
 - wyniki zapytania, 468, 469
 - wyniki zapytania obiektów podstawowych, 508
 - wypełnianie, 582
 - wysyłanie danych z shadera pikseli, 362
 - wysyłanie zapytania, 468
 - wzmacnianie, 417
- X**
- X Window, 586, 591
 - ekrany, 592
 - Xcode, 84, 560, 561, 566, 629, 630
 - XCreateWindow(), 595, 596
 - XDestroyWindow(), 597
 - XFree86, 587
 - XIB, 561
 - XOpenDisplay(), 592, 603
 - xyzw, 244
- Y**
- yaw, 187
- Z**
- zaawansowane shadery fragmentów, 436
 - zakres wypełniania, 129
 - zamiana buforów, 101
 - zapisywanie pikseli, 203
 - zapobieganie poszarpaniu obrazu, 557
 - zapytania czasowe, 475
 - zapytania GLX, 602
 - zapytania obiektów podstawowych, 507
 - liczenie wierzchołków, 507
 - wyniki, 508
 - zapytanie, 466
 - błędy, 467
 - obiekt zapytaniowy, 467
 - pobieranie wyników, 468
 - przygotowywanie, 467
 - rendering warunkowy, 471
 - wykorzystanie wyniku, 469
 - wysyłanie, 468
 - zapytanie o zasłanianie, 466
 - zwracanie zasobów, 467
 - zarządzanie geometrią, 465
 - zastosowanie grafiki trójwymiarowej, 47
 - zator potoku, 108
 - zatrzymanie działania shadera fragmentów, 289

zawijanie tekstury, 217
zbiór Julii, 442, 444
zbiór Mandelbrota, 442
zestaw trójkątów, 167
z-fighting, 132
zmiana równania mieszania, 139
zmiana sposobu przechowywania danych
 pikselowych w pamięci, 199
zmiennie, 243
 deklaracja, 243
 kwalifikatory, 246
 zmiennie stanu, 78
 zmiennie uniform, 113, 259

 zmiennie uniform skalarne, 260
 zmiennie uniform wektorowe, 260
 zmiennie wyjściowe, 246
zmiennoprzecinkowe bufory głębi, 378
znaczniki błędów, 76
znajdowanie danych uniform, 260
znajdowanie formatów pikseli, 539, 544
znaki ASCII, 41

Ż

źdźbła trawy, 493

OpenGL

Po prawie dwudziestu latach na rynku biblioteka OpenGL jest dziś wiodącym API w dziedzinie programowania grafiki trójwymiarowej, gier 3D, wizualizacji, symulacji, modelowania naukowego, a nawet edytowania obrazów i filmów dwuwymiarowych. Swoją sukces zawdzięcza nie tylko łatwości użycia, ale przede wszystkim kompatybilności z niemal wszystkimi platformami dostępnymi na rynku. Świetnie sprawdza się zarówno w komputerach PC z systemem Windows, jak i komputerach Mac, a także na stacjach uniwersalnych, w centrach rozrywki opartych na lokalizacji, na najbardziej znanych konsolach do gier, w kieszonkowych grach elektronicznych, a nawet w oprzyrządowaniu lotniczym czy samochodowym. Nie bez znaczenia dla spopularyzowania tej biblioteki był także fakt, że można ją rozszerzać, dzięki czemu ma ona wszystkie zalety otwartego standardu, a dodatkowo można wzbogacać jej implementację o własne dodatki.

„OpenGL. Księga eksperta. Wydanie 5” to nowe, zaktualizowane (specyfikacja OpenGL 3.3) wydanie znanego podręcznika dla wszystkich programistów, bez względu na poziom ich zaawansowania. Książka ta stanowi wyczerpujący kurs tworzenia niesamowitych wizualizacji 3D, gier oraz wszelkiego rodzaju grafik. Dzięki niej nauczysz się pisać programy wykorzystujące bibliotekę OpenGL, skonfigurować środowisko pracy do przetwarzania grafiki trójwymiarowej oraz tworzyć podstawowe obiekty, oświetlać je i cieniować. Następnie zgłębisz tajniki języka OpenGL Shading Language i zaczniesz sprawnie pisać własne programy, wprowadzać do nich rozmaite efekty wizualne oraz zwiększać ich wydajność. Poznasz wszystkie najnowsze techniki programowania przy użyciu biblioteki OpenGL, takie jak przekształcenia, nakładanie tekstur, cieniowanie, zaawansowane buforów czy zarządzanie geometrią. Przejdziesz także szczegółowy kurs programowania grafiki w urządzeniach iPhone, iPod touch oraz iPad!

W tym wyczerpującym podręczniku znajdziesz:

- praktyczne wprowadzenie do technik programowania grafiki trójwymiarowej czasu rzeczywistego
- rdzenne techniki OpenGL 3.3 w zakresie renderowania, przekształcania i teksturowania geometrii
- wiedzę na temat pisania programów cieniujących, popartą praktycznymi przykładami
- opis technik programowania na różnych platformach — Windows (także Windows 7), Mac OS X, GNU/Linux, Unix — oraz układach wbudowanych
- informacje na temat programowania przy użyciu biblioteki OpenGL aplikacji przeznaczonych dla urządzeń iPhone, iPod touch oraz iPad (kurs prowadzony krok po kroku i ilustrowany przykładowymi programami)
- zaawansowane techniki buforowania, renderowanie w pełnej rozdzielczości przy użyciu buforów i tekstur zmiennoprzecinkowych
- możliwości przetwarzania fragmentów, czyli zarządzania końcową częścią potoku przetwarzania grafiki
- zaawansowane techniki cieniowania i zarządzania geometrią

Kompletny przewodnik po najpopularniejszej na świecie bibliotece do programowania grafiki trójwymiarowej OpenGL 3.3!

Nr katalogowy: 5790

Księgarnia internetowa:
<http://helion.pl>

Zamówienia telefoniczne:
0 801 339900
0 601 339900



Helion

Sprawdź najnowsze promocje:
• <http://helion.pl/promocje>
Książki najchętniej czytane:
• <http://helion.pl/bestsellery>
Zamów informacje o nowościach:
• <http://helion.pl/nowości>

Helion SA
ul. Kołłątajki 1c, 44-100 Gliwice
tel.: 32 230 98 63
e-mail: helion@helion.pl
<http://helion.pl>

helion.pl
księgarnia
internetowa

Cena: 119,00 zł

ISBN 978-83-246-2976-3



Informatyka w najlepszym wydaniu