

Janusz Ganczarski

OpenGL

Podstawy programowania grafiki 3D



Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji w jakiejkolwiek postaci jest zabronione. Wykonywanie kopii metodą kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie książki na nośniku filmowym, magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

Wszystkie znaki występujące w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi bądź towarowymi ich właścicieli.

Autor oraz Wydawnictwo HELION dołożyli wszelkich starań, by zawarte w tej książce informacje były kompletne i rzetelne. Nie biorą jednak żadnej odpowiedzialności ani za ich wykorzystanie, ani za związane z tym ewentualne naruszenie praw patentowych lub autorskich. Autor oraz Wydawnictwo HELION nie ponoszą również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Opieka redakcyjna: Ewelina Burska

Projekt okładki: Studio Gravite/Olsztyn

Obarek, Pokoński, Pazdrijowski, Zaprucki

Materiały graficzne na okładce zostały wykorzystane za zgodą Shutterstock.

Wydawnictwo HELION

ul. Kościuszki 1c, 44-100 GLIWICE

tel. 32 231 22 19, 32 230 98 63

e-mail: helion@helion.pl

WWW: <http://helion.pl> (księgarnia internetowa, katalog książek)

Drogi Czytelniku!

Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres

<http://helion.pl/user/opinie/opglwp>

Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

ISBN: 978-83-283-0193-1

Copyright © Helion 2015

Printed in Poland.

- [Kup książkę](#)
- [Poleć książkę](#)
- [Oceń książkę](#)

- [Księgarnia internetowa](#)
- [Lubię to! » Nasza społeczność](#)

Spis treści

Rozdział 1. Od autora	7
Rozdział 2. Wprowadzenie do OpenGL	11
Co to jest OpenGL?	11
Historia OpenGL	13
Potok renderingu	15
Kontekst renderingu	16
Typy danych	18
Zmienne stanu	18
Obsługa błędów	20
OpenGL ES i WebGL	21
OpenGL NG	21
Kwestie techniczne	21
Rozdział 3. Pierwszy program	23
Obiekty bufora	23
Wierzchołki i ich atrybuty	26
Prymitywy geometryczne	30
Scena 3D i jej przekształcenia	32
Podstawy GLSL	37
Shadery wierzchołków	38
Shadery fragmentów	38
Obsługa shaderów	40
Pierwszy program	45
Rozdział 4. Rzutowanie i transformacje	69
Zmienne jednorodne w shaderach	69
Przekształcenia modelu-widoku i rzutowanie	73
Dodatkowe płaszczyzny obcinania i płaszczyzny usuwania	91
Selekcja obiektu	97

Rozdział 5. Cieniowanie i oświetlenie	105
RGB	105
Cieniowanie wielokątów	106
Nazwane bloki jednorodne	113
Oświetlenie	120
Model oświetlenia Lamberta	130
Model oświetlenia Blinna-Phonga	135
Model oświetlenia Phong'a	152
Rozdział 6. Tekstury	163
Tablice pikseli	163
Podstawy teksturowania	168
Tekstury dwuwymiarowe	184
Tekstury trójwymiarowe	203
Tablice tekstur 2D	208
Tekstury sześciennie	212
Tekstury skompresowane	216
Sprajty punktowe	223
Tekstury buforowe	228
Rozdział 7. Operacje na fragmentach i przetwarzanie końcowe	231
Bufory ramki	231
Rendering pozaekranowy	237
Rendering do tekstury	241
Wiele buforów renderingu	246
Rendering wielowarstwowy	258
Operacje na fragmentach	266
Test szablonu	267
Test głębokości	272
Mieszanie kolorów	276
Test zasłaniania	285
Rozdział 8. Antyaliasing	295
Wielopróbkowanie	296
Wielopróbkowanie w obiektach bufora ramki	307
Nadpróbkowanie	312
Rozdział 9. Zaawansowane przekształcanie geometrii	313
Prymitywy rozszerzone i shadery geometrii	313
Teselacja	318
Krzywe i powierzchnie parametryczne	341
Transformacje sprzężone zwrotnie	360

Rozdział 10. Cienie	369
Rzutowanie cieni	369
Bryły cieni	376
Mapy cieni	390
Rozdział 11. Odwzorowanie środowiska i nierówności powierzchni	415
Techniki odwzorowania nierówności powierzchni	415
Odwzorowanie środowiska	431
Rozdział 12. Rozszerzenia	449
Podstawowe informacje o rozszerzeniach	449
Obsługa rozszerzeń API OpenGL	451
Obsługa rozszerzeń GLSL	456
Dodatek A Macierze i wektory	463
Macierze	463
Wektory	468
Dodatek B Język GLSL	473
Podstawy składni	473
Preprocesor	474
Zmienne, typy i konwersje	478
Operatory i wyrażenia	493
Kwalifikatory	496
Instrukcje i struktura programu	515
Wbudowane zmienne	520
Wbudowane funkcje	523
Skorowidz	539

Rozdział 3.

Pierwszy program

Po wstępnych informacjach dotyczących biblioteki OpenGL przyszedł czas na napisanie pierwszego programu, który z niej korzysta. Nie jest to zadanie banalne, ponieważ wymaga zapoznania się z kilkoma fundamentalnymi elementami OpenGL, bez których praktycznie nie ma programu w OpenGL. Po lekturze tego rozdziału Czytelnik powinien mieć już podstawową wiedzę, jak wygląda program korzystający z tej biblioteki.

Obiekty bufora

Biblioteka OpenGL grupuje większość funkcjonalności w obiektach. Obiekty w bibliotece OpenGL są oznaczane unikatowymi identyfikatorami reprezentowanymi przez liczby całkowite bez znaku. Każdy obiekt w bibliotece OpenGL posiada swój własny zestaw zmiennych stanu, który jest inicjowany podczas tworzenia obiektu.

Obiekty bufora (ang. *buffer object*) służą do przechowywania różnego rodzaju danych w pamięci (a dokładniej w przestrzeni adresowej) serwera OpenGL. Tworząc nowy obiekt, w pierwszej kolejności musimy wygenerować jego identyfikator, a następnie dokonać tzw. **powiązania** (ang. *bind*) wybranego typu obiektu z jego identyfikatorem. Czynność ta tworzy wybrany rodzaj obiektu. OpenGL przechowuje dane w obiekcie bufora jako dane binarne o nieokreślonej strukturze. Dopiero podczas użycia obiektu bufora odpowiednie polecenia OpenGL określają, jak należy interpretować dane w nich zawarte.

Tworzenie i usuwanie obiektów bufora

Do generowania identyfikatorów obiektów bufora służy funkcja:

```
void glGenBuffers( GLsizei n, GLuint *buffers );
```

która umożliwia jednoczesne utworzenie n identyfikatorów umieszczanych w tablicy wskazywanej w parametrze `buffers`. W analogiczny sposób można grupowo usuwać obiekty bufora (nie tylko same identyfikatory), do czego służy funkcja:

```
void glDeleteBuffers( GLsizei n, const GLuint *buffers );
```

Utworzenie samego obiektu bufora wymaga wywołania funkcji:

```
void glBindBuffer( GLenum target, GLuint buffer );
```

która w pierwszym parametrze określa rodzaj obiektu bufora, a w drugim parametrze zawiera jego wcześniej utworzony identyfikator. W programach będziemy wykorzystywać **obiekty bufora wierzchołków VBO** (ang. *vertex buffer object*), których zadaniem jest przechowywanie atrybutów wierzchołków. Aby utworzyć obiekty typu VBO, parametr `target` musi przyjąć wartość równą `GL_ARRAY_BUFFER`. Następne wywołania funkcji `glBindBuffer` z danym identyfikatorem pozwalają na przełączanie się pomiędzy różnymi obiektami bufora, a ostatnio tak wybrany obiekt bufora jest nazywany bieżącym obiektem bufora.

Obiekty bufora można także tworzyć jednocześnie z generowaniem ich identyfikatorów, do czego służy funkcja:

```
void glGenBuffers( GLsizei n, GLuint *buffers );
```

Tak utworzone obiekty bufora nie mają określonego rodzaju, który jest ustalany przy pierwszym wywołaniu funkcji `glBindBuffer`.

Ładowanie danych do obiektu bufora

Nowo utworzony obiekt bufora nie zawiera żadnych danych. Ładowanie danych do obiektów bufora można realizować różnie, ale najczęściej wykonuje się jedną z poniższych operacji:

- ◆ kopiowanie całości lub części danych z przestrzeni adresowej klienta, np. z tablicy lub innej struktury danych;
- ◆ kopiowanie danych z innego obiektu bufora;
- ◆ zmapowanie danych bufora do przestrzeni adresowej klienta OpenGL poprzez pobranie wskaźnika.

Dane obiektu bufora mogą również być ładowane bezpośrednio z potoku renderingu na etapie transformacji sprzężonych zwrotnie, a także zapisywane z poziomu shadera.

Najprostszym i w praktyce najczęściej wykorzystywanym sposobem załadowania danych do bieżącego obiektu bufora jest ich skopiowanie bezpośrednio z pamięci aplikacji OpenGL. Służy do tego funkcja:

```
void glBufferData( GLenum target, GLsizeiptr size, const GLvoid *data,  
↳GLenum usage );
```

Parametr `target` określa rodzaj obiektu bufora i powinien przyjąć taką samą wartość jak w funkcji `glBindBuffer`. Drugi parametr — `size` — ustala rozmiar danych obiektu bufora w bajtach, a trzeci parametr — `data` — jest wskaźnikiem na źródło danych bufora znajdujące się w pamięci klienta. Jeśli parametr `data` nie jest pusty, to funkcja `glBufferData` kopiuje wskazane dane do obiektu bufora. W przeciwnym wypadku zawartość danych obiektu bufora jest niezdefiniowana. W każdym przypadku usuwane są wszelkie istniejące dane znajdujące się w obiekcie bufora.



Uwaga

Przy określaniu rozmiarów pamięci, odstępów pomiędzy elementami pamięci i podobnych wielkościach operujących na pamięci specyfikacja OpenGL używa pojęcia **podstawowych jednostek maszyny BMU** (ang. *basic machine unit*), które w pewnym uproszczeniu będziemy w niniejszym tekście utożsamiać z pojęciem 8-bitowego bajta.

Ostatni parametr `usage` jest wskazówką wydajności, informującą OpenGL o spodziewanym sposobie wykorzystania danych obiektu bufora (faktyczny sposób wykorzystania bufora może być inny). Dostępne są następujące wartości tego parametru:

- ♦ `GL_STREAM_DRAW` — zawartość danych obiektu bufora zostanie określona raz przez aplikację i będzie używana co najwyżej kilka razy jako źródło dla poleceń OpenGL do rysowania i specyfikacji obrazu.
- ♦ `GL_STREAM_READ` — zawartość danych obiektu bufora zostanie określona raz przez pobranie danych z OpenGL i będzie pobierana co najwyżej kilka razy przez aplikację.
- ♦ `GL_STREAM_COPY` — zawartość danych obiektu bufora zostanie określona raz przez pobranie danych z OpenGL i będzie używana co najwyżej kilka razy jako źródło dla poleceń OpenGL do rysowania i specyfikacji obrazu.
- ♦ `GL_STATIC_DRAW` — zawartość danych obiektu bufora zostanie określona raz przez aplikację i będzie używana wiele razy jako źródło dla poleceń OpenGL do rysowania i specyfikacji obrazu.
- ♦ `GL_STATIC_READ` — zawartość danych obiektu bufora zostanie określona raz przez pobranie danych z OpenGL i będzie pobierana wiele razy przez aplikację.

- ◆ `GL_STATIC_COPY` — zawartość danych obiektu bufora zostanie określona raz przez pobranie danych z OpenGL i będzie używana wiele razy jako źródło dla poleceń OpenGL do rysowania i specyfikacji obrazu.
- ◆ `GL_DYNAMIC_DRAW` — zawartość danych obiektu bufora będzie określana wielokrotnie przez aplikację i używana wiele razy jako źródło dla poleceń OpenGL do rysowania i specyfikacji obrazu.
- ◆ `GL_DYNAMIC_READ` — zawartość danych obiektu bufora będzie określana wielokrotnie poprzez pobranie danych z OpenGL i pobierana wiele razy przez aplikację.
- ◆ `GL_DYNAMIC_COPY` — zawartość danych obiektu bufora będzie określana wielokrotnie poprzez pobranie danych z OpenGL i używana wiele razy jako źródło dla poleceń OpenGL do rysowania i specyfikacji obrazu.

Wybrany obszar danych bieżącego obiektu bufora można także modyfikować przy użyciu funkcji:

```
void glBufferSubData( GLenum target, GLintptr offset,  
    ↪GLsizeiptr size, const void *data );
```

która określa początek (`offset`) i rozmiar (`size`) modyfikowanych danych obiektu bufora typu określonego w parametrze `target`. Modyfikowane dane przechowywane są w tablicy w pamięci klienta wskazywanej w ostatnim parametrze `data`.



Transfer danych pomiędzy programem korzystającym z OpenGL a pamięcią GPU jest procesem stosunkowo wolnym. Częsty transfer dużych ilości danych może być jednym z tzw. wąskich gardeł aplikacji graficznych, zatem należy takie operacje w programie dobrze zoptymalizować.

Wierzchołki i ich atrybuty

Jak wspomnieliśmy w poprzednim rozdziale, OpenGL operuje na prymitywach geometrycznych, które są opisane przez wierzchołki i ich atrybuty. Każdy wierzchołek prymitywu jest określony przez jeden lub większą liczbę atrybutów, z kolei każdy atrybut jest określony przez wartość skalarną bądź wektor dwu-, trzy- lub czteroelementowy. Skalary oraz składowe wektora mogą być: liczbami zmiennoprzecinkowymi (pojedynczej lub podwójnej precyzji), liczbami stałoprzecinkowymi (typ `GLfixed`) lub liczbami całkowitymi o różnej liczbie bitów. Możliwe jest także definiowanie atrybutów zawierających macierze, ale w tym wypadku OpenGL traktuje taki atrybut jak zbiór atrybutów wektorowych liczący tyle atrybutów, ile kolumn ma macierz. Typowymi atrybutami wierzchołków są: współrzędne położenia, składowe kolorów, wektory normalne i współrzędne tekstury.

Atrybuty wierzchołków przechowywane są w obiektach bufora wierzchołków VBO, skąd pobierane są i przetwarzane przez shadery wierzchołków w celu wykorzystywania w późniejszych etapach potoku renderingu.

Tablice wierzchołków

Tablice wierzchołków VA (ang. *vertex arrays*) opisują, w jaki sposób są zorganizowane dane atrybutów wierzchołków zawarte w obiektach VBO. Każda tablica wierzchołków zawiera m.in. unikatowy numer indeksu atrybutu wierzchołka (początek numeracji indeksów zaczyna się od 0), przy czym maksymalnie dostępnych jest `GL_MAX_VERTEX_ATTRIBS` indeksów atrybutów wierzchołków. Stała ta jest zależna od implementacji biblioteki OpenGL, ale nie może być mniejsza niż 16.

Definiowanie tablic wierzchołków

Typowo do zdefiniowania tablicy wierzchołków z atrybutami zmiennoprzecinkowymi pojedynczej precyzji używana jest funkcja:

```
void glVertexAttribPointer( GLuint index, GLint size, GLenum type,  
    ↪ GLboolean normalized, GLsizei stride, const GLvoid *pointer );
```

Parametr `index` zawiera numer indeksu definiowanego atrybutu wierzchołka. Numery indeksów wierzchołków generowane są automatycznie przez OpenGL lub mogą być wskazane wprost w shaderze wierzchołków albo w samym programie. Drugi parametr `size` określa, ile składowych ma pojedynczy atrybut wierzchołka przechowywany w obiekcie VBO. Możliwe są wartości 1, 2, 3 i 4, które oznaczają odpowiednio atrybut w postaci skalara oraz dwu-, trzy- lub czteroelementowego wektora. Poszczególne atrybuty wierzchołków pobierane są kolejno z pamięci obiektu VBO, w przypadku atrybutów wektorowych składowe wektorów są także pobierane kolejno z pamięci obiektu.

Następny parametr `type` określa typ danych atrybutów wierzchołka przechowywanych w obiekcie VBO. Najważniejsze wartości parametru `type` i ich powiązanie z typami danych dostępnymi w bibliotece OpenGL zawiera tabela 3.1. Poza typami prezentowanymi w tabeli atrybuty wierzchołków mogą także występować w tzw. formatach upakowanych, których jednak nie będziemy używać w przykładowych programach.

Kolejny parametr `normalized` wskazuje, czy dane zawarte w obiekcie VBO będące liczbami całkowitymi (`GL_BYTE`, `GL_UNSIGNED_BYTE`, `GL_SHORT`, `GL_UNSIGNED_SHORT`, `GL_INT` i `GL_UNSIGNED_INT`) mają być konwertowane do liczb zmiennoprzecinkowych przez normalizowanie do przedziału $\langle 0;1 \rangle$ dla typów bez znaku

Tabela 3.1. Wybrane typy danych atrybutów w tablicach wierzchołków i odpowiadające im typy danych OpenGL

Parametr type	Odpowiadający typ OpenGL
GL_BYTE	GLbyte
GL_UNSIGNED_BYTE	GLubyte
GL_SHORT	GLshort
GL_UNSIGNED_SHORT	GLushort
GL_INT	GLint
GL_UNSIGNED_INT	GLuint
GL_FIXED	GLfixed
GL_FLOAT	GLfloat
GL_HALF_FLOAT	GLhalf
GL_DOUBLE	GLdouble

lub przedziału $\langle -1;1 \rangle$ dla typów ze znakiem (wartość parametru równa GL_TRUE). Możliwe jest także bezpośrednie przeliczenie wartości takiego atrybutu do liczby zmiennoprzecinkowej (wartość parametru równa GL_FALSE). Normalizacja jest typową operacją wykonywaną w grafice komputerowej na liczbach całkowitych przechowujących np. składowe RGB(A) kolorów w plikach graficznych. Na przykład dla składowej koloru opisaney 8-bitową liczbą całkowitą bez znaku 0 przyjmuje po normalizacji wartość 0,0, a 255 przyjmuje po normalizacji wartość 1,0.

W pojedynczym obiekcie VBO można przechowywać dane wielu atrybutów wierzchołków. Dane te możemy np. całkowicie od siebie oddzielić, np. umieszczając kolejno: współrzędne wszystkich wierzchołków, współrzędne wektorów normalnych i na końcu składowe kolorów. Można także umieścić w obiekcie VBO dane atrybutów z przeplotem: współrzędne położenia pierwszego wierzchołka, współrzędne wektora normalnego pierwszego wierzchołka, składowe koloru pierwszego wierzchołka, współrzędne położenia drugiego wierzchołka itd. Sposób ułożenia danych atrybutów w obiekcie VBO określa kolejny parametr `stride`, który definiuje określone w bajtach odstępy pomiędzy danymi poszczególnych atrybutów wierzchołków. Jeżeli `stride` jest równy zero, to dane definiowanej tablicy atrybutu są kolejno zapisane w obiekcie VBO, w przeciwnym wypadku dane kolejnych atrybutów są odpowiednio od siebie oddzielone.

Ostatni parametr `pointer` określa w bajtach położenie w pamięci obiektu bufora VBO (wskaźnik) pierwszego atrybutu definiowanej tablicy wierzchołków. Wskaźnik ten odnosi się do danych bieżącego obiektu VBO, czyli obiektu wybranego przy ostatnim wywołaniu funkcji `glBindBuffer`. Odpowiednie wykorzystanie tego parametru umożliwia wspomniane wyżej przechowywanie danych różnych atrybutów wierzchołków w odrębnych częściach jednego obiektu VBO.

Jeżeli posiadamy atrybuty zawierające liczby całkowite, to typowo przy definiowaniu tablicy wierzchołków używamy funkcji:

```
void glVertexAttribIPointer( GLuint index, GLint size, GLenum type,  
    ↪ GLsizei stride, const GLvoid *pointer );
```

która w stosunku do funkcji `glVertexAttribPointer` ma listę dopuszczalnych wartości parametru `type` ograniczoną do liczb całkowitych: `GL_BYTE`, `GL_UNSIGNED_BYTE`, `GL_SHORT`, `GL_UNSIGNED_SHORT`, `GL_INT` i `GL_UNSIGNED_INT`. W przypadku użycia tej funkcji dane atrybutów wierzchołków zawsze przekazywane są bezpośrednio w wartościach całkowitych.

Biblioteka OpenGL zawiera jeszcze funkcję:

```
void glVertexAttribLPointer( GLuint index, GLint size, GLenum type,  
    ↪ GLsizei stride, const GLvoid *pointer );
```

która służy wyłącznie do definiowania tablic wierzchołków atrybutów zawierających liczby zmiennoprzecinkowe podwójnej precyzji (`GLdouble`). Jedyną dopuszczalną wartość parametru `type` powyższej funkcji to `GL_DOUBLE`. Zauważmy, że analogiczny typ danych obsługuje także funkcja `glVertexAttribPointer`, ale przy jej użyciu dane zmiennoprzecinkowe podwójnej precyzji będą konwertowane do liczb zmiennoprzecinkowych pojedynczej precyzji (`GLfloat`).

Włączanie i wyłączanie tablicy wierzchołków

Pojedyncza tablica atrybutów wierzchołków jest włączana lub wyłączana przez wywołanie jednego z poniższych poleceń:

```
void glEnableVertexAttribArray( GLuint index );  
void glDisableVertexAttribArray( GLuint index );
```

których parametr `index` określa numer indeksu atrybutu w tablicy wierzchołków.

Domyślne bieżące atrybuty wierzchołków

Gdy tablica wierzchołków zawierająca wartości atrybutów wierzchołka nie jest aktywna, OpenGL stosuje domyślne bieżące wartości ogólnych atrybutów wierzchołków. Początkowe wartości domyślne dla wszystkich atrybutów ogólnych wierzchołka wynoszą odpowiednio: 0 dla atrybutów skalarnych, (0,0) dla wektorów dwuelementowych, (0,0,0) dla wektorów trójelementowych i (0,0,0,1) dla wektorów czteroelementowych.

OpenGL umożliwia zmianę wartości domyślnych atrybutów wierzchołków. Służy do tego bardzo obszerna grupa funkcji `glVertexAttrib`, które wskazują wartości

domyślnych atrybutów dla wybranego indeksu atrybutu. Przykładowo do określenia wartości domyślnych dla atrybutu będącego wektorem czteroelementowym z liczbami zmiennoprzecinkowymi pojedynczej precyzji najlepiej użyć jednej z następujących funkcji:

```
void glVertexAttrib4f( GLuint index, GLfloat x, GLfloat y, GLfloat z,  
    ↪ GLfloat w );  
void glVertexAttrib4fv( GLuint index, const GLfloat *v );
```

OpenGL zapewnia odpowiednią wersję funkcji `glVertexAttrib` dla każdej możliwej kombinacji rodzaju atrybutu wierzchołka i typu danych przechowujących wartości atrybutów.

Obiekty tablic wierzchołków

Tablice wierzchołków grupowane są w zbiorczych **obiekтах tablic wierzchołków VAO** (ang. *Vertex Array Objects*). Obiekty tablic wierzchołków przechowują informacje o danych tablic wierzchołków i wszystkich związanych z nimi zmiennych stanu używanych w procesie renderingu.

Obsługa obiektów VAO jest analogiczna do obsługi innych obiektów biblioteki OpenGL. Każdy obiekt VAO zawiera unikatowy identyfikator, który należy wygenerować, a następnie utworzyć sam obiekt. Niepotrzebny obiekt VAO należy usunąć. Całość realizują trzy funkcje:

```
void glGenVertexArrays( GLsizei n, GLuint *arrays );  
void glDeleteVertexArrays( GLsizei n, const GLuint *arrays );  
void glBindVertexArray( GLuint array );
```

Po wywołaniu funkcji `glBindVertexArray` określony w funkcji obiekt VAO jest bieżącym obiektem tablic wierzchołków i wszystkie operacje związane z tablicami wierzchołków (np. `glVertexAttribPointer` i `glEnableVertexAttribArray`) oraz polecenia renderingu, które korzystają z tablic wierzchołków (np. `glDrawArrays` i `glDrawElements`), odnoszą się do wybranego obiektu VAO. Z poleceniami renderingu zapoznamy się bliżej w dalszej części niniejszego rozdziału.

Prymitywy geometryczne

Biblioteka OpenGL obsługuje siedem podstawowych typów prymitywów geometrycznych: punkty, łamane, łamane zamknięte, odcinki, paski trójkątów, wachlarze trójkątów i trójkąty. Każdy rodzaj prymitywu jest identyfikowany przez stałą używaną w poleceniach renderingu. Są to odpowiednio: `GL_POINTS`, `GL_LINE_STRIP`, `GL_LINE_LOOP`, `GL_LINES`, `GL_TRIANGLE_STRIP`, `GL_TRIANGLE_FAN` i `GL_TRIANGLES`.

Skorowidz

A

accumulation buffer, *Patrz:*
 bufor akumulacyjny
adjacency vertice, *Patrz:*
 wierzchołek przyległy
algorytm
 Carmack's Reverse,
 Patrz: algorytm
 depth-fail
 depth-fail, 380, 388, 389,
 390
 depth-pass, 379, 380, 384,
 386
 dynamicznego
 generowania cieni, 369
 mapy cieni, 390, 391
 najbliższego sąsiada, 177
 odzworowania środowiska,
 212
 PN Triangles, 331, 333,
 335, 337
 rzutowania cieni, *Patrz:* cień
 rzutowanie
 teselacji Phonga, 333, 334,
 335, 339
 VSM, 410
 z-fail, *Patrz:* algorytm
 depth-fail
 z-pass, *Patrz:* algorytm
 depth-pass
aliasing, 295
ambient, 121, 124
ambient light, *Patrz:* światło
 otoczenia
 ambientne occlusion,
 Patrz: okluzja otoczenia
AMD, 12, 21
Android, 21
anisotropic filter, *Patrz:* filtr
 anizotropowy
antialiasing, 295
 linia, 295
 punkt, 295
 trójkąt, 295
aplikacja podsystem, *Patrz:*
 podsystem aplikacji
Apple, 12
ARB, 11
Assimp, 22, 419, 422
asynchronous query, *Patrz:*
 zapytanie asynchroniczne
atlas tekstury, 209
atraktor IFS, 363
attenuation, *Patrz:* światło
 punktowe współczynnik
 tłumienia
auxiliary storage qualifier,
 Patrz: kwalifikator
 przechowywania
 pomocniczy

B

Béziera
 krzywa, *Patrz:* krzywa
 Béziera
 powierzchnia, *Patrz:*
 powierzchnia Béziera
biblioteka
 Assimp, *Patrz:* Assimp
 Direct3D, 14
 DirectX, 36
 GLM, *Patrz:* GLM
 Mantle, *Patrz:* Mantle
 Mesa 3D, 12
 OpenGL, *Patrz:* OpenGL
 pomocnicza, 22, 45, 450
 Vulkan, *Patrz:* Vulkan
 WGL, *Patrz:* WGL
bind, *Patrz:* obiekt
 identyfikator wiązanie
binormal vector, *Patrz:* wektor
 binormalny
blend color, *Patrz:* kolor
 mieszania
blend equation, *Patrz:*
 równanie mieszania
blend function, *Patrz:* funkcja
 mieszania
block compression, *Patrz:*
 kompresja blokowa
blok
 interfejsu, 499
 jednorodny
 domyślny, 69
 nazwany, 69, 105, 113,
 119, 120, 499
 pamięci shadera, 499

- błąd
 GL_CONTEXT_LOST, 20
 GL_INVALID_ENUM, 20
 GL_INVALID_FRAME
 ↳ BUFFER_OPERATION, 20
 GL_INVALID_OPERATION, 20
 GL_INVALID_VALUE, 20
 GL_NO_ERROR, 20
 GL_OUT_OF_MEMORY, 20
 GL_STACK_OVERFLOW, 20
 GL_STACK_UNDERFLOW, 20
 kod, 20
 obsługa, *Patrz:* obsługa błędów
- BMU, 25
- bounding volume, *Patrz:* bryła ograniczająca
- bryła
 cienia, 369, 376, 377, 378, 384, 386, 388
 nieskończona, 378
 rendering, 379, 380, 384, 386, 388, 389, 390, 395, 410
 skończona, 378
- domknięcie
 przednie, 378, 380, 388, 390
 tylne, 378, 388
- obcinania, 32
 domyślna, 32, 35
 ograniczająca, 288
 widoku kanoniczna, 35
- buffer object, *Patrz:* obiekt bufora
- bufor
 akumulacyjny, 260
 czyszczenie, 250, 251
 głębokości, 108, 232, 266, 272, 273, 286, 379, 390
 czyszczenie, 108
 dane podniesione do kwadratu, 410
 maskowanie zapisu składowych, 249
 koloru, 232, 247
 czyszczenie, 108
 do odczytu, 253, 254
- obiekt, *Patrz:* obiekt bufora
- ramki, 52, 108, 231, 296
 do odczytu, 232, 236
 do zapisu, 232, 236
 domyślny, 231, 232, 237
 pobieranie pikseli, 251
- renderingu, 232
 wielokrotny, *Patrz:* MRT
- szablonu, 232, 267, 269
 maskowanie zapisu składowych, 249
 wielopróbkowania, 296
- bump mapping, *Patrz:* odwzorowanie nierówności powierzchni
- ## C
- callback function,
Patrz: funkcja wywoływana zwrrotnie
- canonical view volume, *Patrz:* bryła widoku kanoniczna
- centroid, 535
- CGL, 17
- cieniowanie, 105
 gładkie, *Patrz:* cieniowanie Gourauda
 Gourauda, 106, 107, 109, 140, 142
 Phonga, 113, 140, 143
 płaskie, 106, 107, 110
- cień
 bryła, *Patrz:* bryła cieni dynamiczny, 369
 mapa, *Patrz:* mapa cieni
- objętościowy, 369,
Patrz: bryła cieni
- płaski, 371
 przezroczystość, 376
 rzutowanie, 369
 statyczny, 369
- clip coordinates, *Patrz:* współrzędne obcinania
- clip plane, *Patrz:* płaszczyzna obcinania
- clip volume, *Patrz:* bryła obcinania
- color blending, *Patrz:* mieszanie kolorów
- color picking, *Patrz:* wybieranie kolorów
- compatibility profile,
Patrz: profil kompatybilny
- conditional rendering,
Patrz: rendering warunkowy
- cone light, *Patrz:* światło stożek
- convolve filter, *Patrz:* filtr splotowy
- Core OpenGL, *Patrz:* CGL
- core profile, *Patrz:* profil podstawowy
- cube map texture, *Patrz:* tekstura sześcienna
- culling plane, *Patrz:* płaszczyzna usuwania
- curved point-normal triangles,
Patrz: algorytm PN Triangles
- czajnik z Utah, 137, 349
- czworokąt, 321, 324
- ## D
- dane typ, *Patrz:* typ
- de Casteljau Paul, 343
- default uniform block, *Patrz:* blok jednorodny domyślny
- depth buffer, *Patrz:* bufor głębokości

depth of field, *Patrz:* głębia ostrości

depth offset, *Patrz:*

przesunięcie wartości
głębokości

diffuse, 121, 124

diffuse light, *Patrz:* światło rozproszone

directional light, *Patrz:* światło kierunkowe

DirectX, 84, 217

displacement mapping, *Patrz:* mapowanie przemieszczeń,
Patrz: mapowanie przemieszczeń

dyrektywa

#, 475

#define, 475, 478

#elif, 475

#else, 475

#endif, 475

#error, 475

#extension, 456, 475, 477

#if, 475

#ifdef, 475

#ifndef, 475

#include, 457

#line, 475, 476

#pragma, 475, 476

#undef, 475, 478

#version, 57, 459, 475, 476

dyspersja, 444, 447

dzielenie perspektywiczne, 34

dziennik informacyjny, 43, 59, 475

E

efekt Fresnела, 444

EGL, 17

elipsoida, 356

teselacja, 358

environment mapping, *Patrz:* środowisko odwzorowanie

eye coordinates, *Patrz:*

współrzedne oka

F

FBO, 231, 232, 238, 241, 242, 307

przyłączanie RBO, 237

tworzenie, 233

filtr

anizotropowy, 196, 198

bezszwowy, 213

dolnoprzepustowy

splotowy, 312

Gaussa, 312, 411

izotropowy, 198

Laplace'a, 312

liniowy, 177

PCF, 401, 402, 404

3×3, 404

5×5, 405, 409

pomniejszający, 177, 189, 196

powiększający, 178

splotowy, 199, 200, 201

trójliniowy, 196, 198

flat shading, *Patrz:*

cieniowanie płaskie

format, 165

BC1, 217

BC2, 217

BC3, 217

BC4, 216

BC5, 216

BC7, 217

BPTC, 216, 217, 220

DDS, 188

ETC, 216

format

KTX, 188

LATC/RGTC, 220

RGTC, 216

S3TC/DXTC, 217, 220

tekstur skompresowanych,
216, 217, 220

FPS, 291

fragment, 13, 15, 231, 266

fragment shader, *Patrz:* shader fragmentów

fraktal, 363

frames per second, *Patrz:* FPS

FreeGLUT, 22, 46, 51, 52, 54, 55

FreeImage, 22, 188

Fresnела efekt, *Patrz:* efekt

Fresnела

front cap, *Patrz:* bryła

domknięcie przednie

funkcja, 525

argumentów, 516

barrier, 536

bitfieldExtract, 299

bitfieldInsert, 299

BlinnPhongDirectional

↪Light, 136

całkowita, 529

definiowanie, 516

deklarowanie, 516

DeleteDrawText, 112

DeleteScene, 45, 54, 64

DepthFailShadow, 389

DepthPassShadow, 386

DisplayFloor, 270

DisplayScene, 45, 54, 290

DisplayWord, 272

DisplayWorld, 270

DrawBoundingBox, 289

DrawObject, 289

DrawRoom, 386

DrawShadowVolume, 386

DrawTeapot, 386

DrawText8x16, 112

EmitBackCap, 388

EmitFrontCap, 388

EmitQuad, 384

EmitStreamVertex, 536

EmitVertex, 536

EndPrimitive, 536

EndStreamPrimitive, 536

EyePosition, 128

GenerateShadowMap, 395

geometryczna, 527

funkcja

- glActiveShaderProgram, 71
- glAttachShader, 42
- glBeginConditionalRender, 292, 293
- glBeginQuery, 287
- glBeginTransformFeedback, 361
- glBindAttribLocation, 62
- glBindBuffer, 24
- glBindBufferRange, 119
- glBindFragDataLocation
 - ↳ Indexed, 280
- glBindFramebuffer, 233
- glBindRenderbuffer, 234
- glBindSamplers, 181
- glBindTexture, 175, 176
- glBindTransformFeedback, 361
- glBindVertexArray, 30
- glBlendEquation, 277
- glBlendEquationSeparate, 277
- glBlendFunci, 278
- glBlendFuncSeparate, 277
- glBlitFramebuffer, 236
- glBlitNamedFramebuffer, 237
- glBufferData, 25
- glBufferSubData, 26, 147
- glCheckFramebufferStatus, 239
- glClear, 108, 250
- glClearBuffer, 250, 251
- glClearColor, 62
- glClearNamedFramebuffer, 251
- glClipControl, 36
- glColorMaski, 249
- glCompileShader, 41
- glCompressedTexImage2D, 219
- glCompressedTexSub
 - ↳ Image2D, 219
- glCopyTexImage2D, 185
- glCopyTexSubImage2D, 186
- glCreateBuffers, 24
- glCreateFramebuffers, 233
- glCreateProgram, 42
- glCreateRenderbuffers, 234
- glCreateShader, 40, 41
- glCreateTextures, 175
- glCullFace, 283
- glDeleteBuffers, 24
- glDeleteFramebuffers, 233
- glDeleteNamedStringARB, 458
- glDeleteProgram, 42
- glDeleteRenderbuffers, 234
- glDeleteSamplers, 181
- glDeleteShader, 41
- glDeleteTextures, 175
- glDeleteTransformFeed
 - ↳ backs, 361
- glDeleteVertexArrays, 30
- glDepthFunc, 273
- glDetachShader, 43
- glDisable, 213
- glDisablei, 276
- glDisableVertexAttribArray, 29
- glDrawArrays, 30, 63, 67
- glDrawBuffer, 247, 248
- glDrawBuffers, 247
- glDrawElements, 30, 67, 355
- glDrawElementsBaseVertex, 355
- glDrawElementsInstanced, 351
- glEnable, 213, 270
- glEnablei, 276
- glEnableVertexAttribArray, 29, 30, 65
- glEndConditionalRender, 292
- glEndTransformFeedback, 361
- GLenum, 20
- glwInit, 53
- glFramebufferTexture, 242
- glFramebufferTextureLayer, 259, 260
- glFrontFace, 31, 271
- glGenBuffers, 23
- glGenerateMipmap, 174
- glGenFramebuffers, 233
- glGenRenderbuffers, 234
- glGenSamplers, 181
- glGenTextures, 175
- glGenTransformFeedbacks, 361
- glGenVertexArrays, 30
- glGet, 18
- glGetActiveUniformBlockiv, 120
- glGetActiveUniformsiv, 116, 117
- glGetAttribLocation, 61, 65
- glGetBooleanv, 18
- glGetCompressedTexImage, 252
- glGetDoublev, 18
- glGetError, 20
- glGetFloatv, 18
- glGetFragDataLocation, 246
- glGetInteger64v, 18
- glGetIntegerv, 18
- glGetMultisamplefv, 311
- glGetnUniform, 73
- glGetProgramInfoLog, 43, 44
- glGetProgramiv, 43, 44
- glGetProgramResource
 - ↳ Index, 116, 119, 156
- glGetProgramResourceiv, 117, 120
- glGetProgramResource
 - ↳ Location, 62, 70, 157
- glGetShaderInfoLog, 44
- glGetShaderiv, 44

- glGetSubroutineIndex, 156, 157
- glGetSubroutineUniform
 - ↳ Location, 156
- glGetTexImage, 252
- glGetUniform, 73
- glGetUniformIndices, 116
- glGetUniformLocation, 70, 157
- glHint, 220
- glLinkProgram, 43
- glMinSampleShading, 298
- glNamedFramebufferDraw
 - ↳ Buffer, 248
- glNamedFramebufferDraw
 - ↳ Buffers, 248
- glNamedFramebuffer
 - ↳ Texture, 242
- glNamedFramebuffer
 - ↳ TextureLayer, 259, 260
- glNamedRenderbufferStorage, 235
- glNamedStringARB, 457
- glPatchParameterfv, 322, 325
- glPatchParameteri, 322
- glPauseTransformFeedback, 362
- glPixelStore, 164, 252
- glPointParameteri, 223
- glPointSize, 112
- glPolygonMode, 275
- glProgramUniform, 72
- glProgramUniformMatrix, 72
- glProvokingVertex, 106
- glReadPixels, 251, 252
- glRenderbufferStorage, 235
- glRenderbufferStorage
 - ↳ Multisample, 307
- glResumeTransform
 - ↳ Feedback, 362
- glSampleCoverage, 302
- glSampleMaski, 302
- glSamplerParameter, 182
- glShaderSource, 41
- glStencilFunc, 268
- glStencilFuncSeparate, 268, 269
- glStencilMask, 249
- glStencilMaskSeparate, 249
- glStencilOp, 268
- glStencilOpSeparate, 268, 269
- glTexBuffer, 228
- glTexImage2D, 184, 185, 219
- glTexImage2DMultisample, 308
- glTexImage3D, 203, 204
- glTexImage3DMultisample, 308
- glTexParameter, 175, 176, 182
- glTexStorage2D, 187
- glTexSubImage2D, 186
- glTransformFeedback
 - ↳ Varyings, 362
- glUniform, 71, 72
- glUniformMatrix, 72
- glUniformSubroutinesuiv, 156, 157
- glUseProgram, 44
- glutCreateWindow, 53
- glutInit, 52
- glutInitContextProfile, 53
- glutInitContextVersion, 53
- glutInitDisplayMode, 52
- glutInitWindowSize, 53
- glValidateProgram, 43
- glVertexAttrib4f, 30
- glVertexAttrib4fv, 30
- glVertexAttribIPointer, 29
- glVertexAttribLPointer, 29
- glVertexAttribPointer, 27, 30, 65
- glViewport, 35, 36
- groupMemoryBarrier, 537
- InitDrawText, 112
- InitScene, 45, 54, 108, 459
- interpolacyjna, 535
- kontroli pamięci shadera, 537
- kontroli wywołania shadera, 536
- LambertDirectionalLight, 131, 133
- LambertPointLight, 133
- licznika atomowego, 532
- LinkValidateProgram, 59, 60
- LoadShader, 58, 59, 60
- LoadTextures, 205
- LocalAmbientLight, 133
- logarytmiczna, 525
- lookAt, 90
- macierzowa, 528
- main, 51, 517
- memoryBarrier, 537
- memoryBarrierAtomic
 - ↳ Counter, 537
- memoryBarrierBuffer, 537
- memoryBarrierImage, 537
- memoryBarrierShared, 537
- MeshRendering, 424
- MeshRenderingOpacity, 425
- mieszania, 276
- MouseButton, 103
- MouseMotion, 103
- nazwa przyrostek v, 19
- obrazu tekstury, 533
- odpytująca teksturę, 529
- ortho, 79
- pakowania liczb zmiennoprzecinkowych, 526
- pamięci, 532
- PhongDirectionalLight, 153
- PhongPointLight, 153
- PickObject, 101
- pierwiastkowa, 525
- porównywania wektorów, 528
- potęgowa, 525
- próbująca teksturę, 530

funkcja

przeładowanie nazwy, 516
 przestarzała, 13
 reflect, 433
 Reshape, 45, 54, 80
 rozbłyску, 121, 135
 rozkładu odbicia, 121
 rozpakowywania liczb
 zmiennoprzecinkowych,
 526
 różniczkowa, 534
 shadera geometrii, 536
 teksturowa, 529
 TranslateObject, 102
 trygonometryczna, 524
 unProject, 100
 wbudowana, 299, 523
 wielopróbkująca teksturę,
 531
 wykładnicza, 525
 zdefiniowana przez
 rozszerzenie, 450

G

generator prymitywów,
 Patrz: teselator
 geometria instancyjna, 205,
 344, 349
 geometry instancing,
 Patrz: geometria instancyjna
 geometry shader,
 Patrz: shader geometrii
 GLEW, 22, 46
 glFramebufferRenderbuffer, 237
 GLI, 22, 188
 GLM, 22, 45, 74
 glNamedFramebufferRenderb
 uffer, 238
 GLSL, 13, 14, 155, 299, 473
 kompilator, 476
 preprocesor, 474
 program, 515
 rozszerzenie, 456, 477

GL_ARB_shading_
 language_include, 457,
 458, 459, 461
 składnia, 37, 473
 słowo zarezerwowane, 474
 wersja, 37, 57, 476
 zmienna, *Patrz:* zmienna
 GLUT, 22, 296, 297
 GLX, 17, 232, 450
 głębia ostrości, 264
 Gouraud shading, *Patrz:*
 cieniowanie Gourauda

H

half vector, *Patrz:* wektor
 połówkowy
 height map, *Patrz:* mapa
 wysokości
 hiperboloida, 356
 homogeneous coordinates,
 Patrz: współrzędne
 jednorodne

I

immutable format, *Patrz:*
 tekstura o stałym formacie
 implementacja, 12
 indexed buffer object, *Patrz:*
 obiekt bufora indeksowany
 Intel, 12
 iOS, 21
 IRIS, 11
 iterated function system,
 Patrz: IFS

J

jednostka
 podstawowa maszyny,
 Patrz: BMU
 teksturująca, 174
 język
 cieniowania GLSL,
 Patrz: GLSL
 IRIS GL, 11

K

kafelkowanie, 14
 kamera, *Patrz:* obserwator
 karta graficzna, 21, 292
 Khronos Group, 12
 klient-serwer, 15
 Kocha krzywa, *Patrz:* krzywa
 Kocha
 kolor
 mieszania, 276, 279
 mieszanie, *Patrz:* mieszanie
 kolorów
 próbki, *Patrz:* próbka kolor
 komentarz, 473
 kompresja
 blokowa, 216
 obrazów HDR, 216
 obrazów
 monochromatycznych,
 216
 konsolidator, 49
 konstruktor, 482
 kontekst renderingu, 13,
 Patrz też: rendering kontekst
 krawędź szkieletowa, 377, 378
 krzywa
 Béziara, 343, 345, 348
 punkt kontrolny, 343
 rendering, 343
 stopień, 343
 teselacja, 346
 Kocha, 363
 kwadryka, 356
 kwalifikator, 496, 501, 502,
 503, 504, 505
 formatu
 bloku, 507, 508
 liczników atomowych, 511
 obrazów tekstury, 510
 transformacji
 sprzężonych zwrotnie,
 511
 interpolacji, 513
 inwariancji, 514

pamięci, 514, 515
 parametru funkcji, 517
 precyzji, 514
 przechowywania, 496, 497, 498
 wejściowego, 505, 506
 wyjściowego, 505

L

Laplace'a wzór, 466
 layout qualifier, *Patrz:*
 kwalifikator formatu
 level of detail, *Patrz:* LOD
 libktx, 22, 188
 licznik atomowy, 489, 511, 532
 light map, *Patrz:* mapa
 światlna
 light source, *Patrz:* źródło
 światła
 lighting equation, *Patrz:*
 równanie oświetlenia
 lighting model, *Patrz:* model
 oświetlenia
 linia
 przecięcie z obiektem, 100, 101
 przecięcie z płaszczyzną, 97
 przecięcie z trójkątem, 99
 local tangent plane, *Patrz:*
 przestrzeń lokalna styczna
 LOD, 179, 356

Ł

łamana, 30

M

macierz, 72, 463
 diagonalna, 465
 element, 488
 główna przekątna, 464
 inicjalizacja, 487
 jednostkowa, 464

kwadratowa, 468
 mnożenie, 464, 495, 528
 przez skalar, 465
 modelu, 89
 modelu-widoku, 34, 88, 89, 90
 przekształcenia, 73
 nieodwracalna, *Patrz:*
 macierz osobliwa
 nieosobliwa, 467
 niezdegenerowana, 467
 odwracanie, 528
 odwrotna, 467
 ortogonalna, 77, 468
 osobliwa, 467
 przekształcenia
 kamery, 90
 obiektu sceny, 90
 reprezentacja, 84
 rzutowana, 34
 cienia, 370, 371
 perspektywicznego, 85, 87, 88
 prostokątnego, 78, 79, 80
 skalowania, 76
 transformacji, 74
 translacji, 75
 transponowana, 468
 transponowanie, 466, 528
 układ, 84
 widoku, 89
 wyznacznik, 466, 528
 równy 0, 467
 zdegenerowana, 467
 magnification filter,
 Patrz: filtr powiększający
 makro, 478
 __FILE__, 478
 __LINE__, 478
 __VERSION__, 478
 Mantle, 21
 mapa, *Patrz też:* mapowanie
 cieni, 369, 390, 391, 392
 filtrowanie, 401
 wariancyjna, 410

przemieszczeń, 425, 427
 światlna, 369
 wektorów normalnych,
 415, 416, 417, 419
 wysokości, 415, 416
 mapowanie, *Patrz też:* mapa
 cieni, 390, 391
 otoczenia, 431, 433
 dynamiczne, 436
 przemieszczeń, 415, 425, 427
 UV, 168
 wektorów normalnych, 415, 417, 419, 420, 421
 maszyna stanów, 18, 19
 materiał, 121, 122
 błyszczący, 135
 Matrox, 12
 menu kontekstowe, 54
 mieszanie kolorów, 266, 269, 276, 277, 284, 285, 303, 376
 dwuźródłowe, 280
 minification filter, *Patrz:* filtr
 pomniejszający
 mipmapa, 168, 174, 179, 187, 192, 196, 241, 530
 poziom, 258
 współczynnik skalowania, 179
 MLAA, 295
 model
 materiału, 121
 oświetlenia, 120, 121
 Blinna-Phonga, 135, 136, 137, 145, 285, 420, 421, 422
 Lamberta, 130, 131, 133, 420, 422
 Phonga, 135, 152, 153, 154, 335, 420, 422
 przestrzeni barw RGB,
 Patrz: RGB
 model matrix, *Patrz:* macierz
 modelu

model-view matrix, *Patrz:*
 macierz modelu-widoku
 monitora synchronizacja
 pionowa, 291
 morphological anti-aliasing,
Patrz: MLAA
 motion blur, *Patrz:* rozmycie
 ruchu
 MRT, 246, 250, 254
 MSAA, 295, 296, 297, 299,
 307, 309
 multiple render targets,
Patrz: MRT
 multisample anti-aliasing,
Patrz: MSAA
 multisample buffer, *Patrz:*
 bufor wielopróbkowania
 multisample texture, *Patrz:*
 tekstura wielopróbkowania
 multisampling, *Patrz:* MSAA,
 wielopróbkowanie

N

nadpróbkowanie, 295, 312
 named interface block, *Patrz:*
 blok interfejsu nazwany
 named uniform block, *Patrz:*
 blok jednorodny nazwany,
Patrz: blok jednorodny
 nazwany
 Native Platform Graphics
 Interface, *Patrz:* EGL
 Newell Martin, 137, 349
 Next Generation,
Patrz: OpenGL NG
 nieciągłość, *Patrz:* szew
 normal map, *Patrz:* mapa
 wektorów normalnych
 normal mapping, *Patrz:*
 mapowanie wektorów
 normalnych
 normalized device coordinates,
Patrz: współrzędne
 znormalizowane urządzenia
 NVIDIA, 12

O

obiekt, 23
 bufora, 23
 bieżący, 24
 GL_TEXTURE_BUFFER,
 228
 indeksowany, 118
 jednorodnego,
Patrz: UBO
 ładowanie danych, 24
 odczytu pikseli, 163
 ramki, *Patrz:* FBO
 renderingu, *Patrz:* RBO
 transformacji
 sprzężonych zwrotnie,
 360
 tworzenie, 23, 24
 usuwanie, 24
 wierzchołków,
Patrz: VBO,
Patrz: obiekt VBO
 identyfikator, 23
 programu, 40
 konsolidacja, 43
 parametry, 44
 tworzenie, 42, 59
 usuwanie, 42
 próbkowania tekstury, 180,
 181, 182
 rzutowanie, *Patrz:*
 rzutowanie
 selekcja, 97
 shadera, 40
 kod źródłowy, 41
 parametry, 44
 tworzenie, 40
 usuwanie, 41
 synchronizacji, 19
 tablic wierzchołków, 30
 tekstury, 175
 transformacja,
Patrz: transformacja
 transformacji sprzężonych
 zwrotnie, 361

VBO, 24
 współrzędne,
Patrz: współrzędne
 zmienna stanu,
Patrz: zmienna stanu
 object coordinates,
Patrz: obiekt współrzędne
 obraz
 dwuskładnikowy, 216
 monochromatyczny, 216
 o wysokim zakresie jasności
 HDR, 216
 obrót, 77
 obserwator, 89, 128
 obsługa błędów, 20
 obszar renderingu, 35, 36
 modyfikacja, 63
 rozmiar, 35
 occlusion query,
Patrz: zasłaniania
 odbicie
 rozproszone, 135
 zwierciadlane światła,
Patrz: światło
 zwierciadlane
 odcinek, 30, 224
 odwzorowanie
 nierówności powierzchni,
 415
 środowiska,
Patrz: środowisko
 odwzorowanie
 off-screen rendering, *Patrz:*
 rendering pozaekranowy
 okluzja otoczenia, 369
 okna rozmiar, 55
 OpenGL, 11, 17
 implementacja,
Patrz: implementacja
 rozszerzenie, 12, 449
 funkcja, 450
 nazwa, 450
 obsługa, 451
 specyfikacja, 451
 stała, 450

specyfikacja, 18, 19
wersja, 12, 13, 14, 15
OpenGL ES, 12, 14, 15, 17, 21, 217
 rozszerzenie, 450
OpenGL Extension to the X Window System, *Patrz:* GLX
OpenGL Mathematics, *Patrz:* GLM
OpenGL NG, 21
OpenVG, 17
operator, 493
oświetlenie, 105, *Patrz też:* światło
 generowane
 na fragment, 140, 143
 na wierzchołek, 140, 141, 142
 model, *Patrz:* model oświetlenia
oversampling, *Patrz:* SSAA, nadpróbkowanie

P

packed pixel, *Patrz:* piksel
 typ upakowany
paraboloida, 356
particle system, *Patrz:* system cząstek
pasek
 czworokątów, 324
 trójkątów, 30, 31
pasma Macha, 107, 142
patch vertices, *Patrz:* płat wierzchołków
PCF, *Patrz:* filtr PCF
percentage closer filtering, *Patrz:* filtr PCF
perspective division, *Patrz:* dzielenie perspektywiczne
pick ray, *Patrz:* promień przecięcia
piksel, 165
 pobieranie z bufora ramki, 251
 tablica, *Patrz:* tablica pikseli
 typ, 166
 w buforze ramki, 232
pixel unpack buffer object, *Patrz:* obiekt bufora odczytu pikseli
plik
 blinn_phong.glsl, 137
 GL/gl.h, 450
 GL/glccorearb.h, 450
 GL/glex.h, 450
 GL/glx.h, 450
 GL/glxext.h, 450
 GL/wgl.h, 450
 GL/wglex.h, 450
 graficzny, 188
 lambert_light.glsl, 131
 materials.glsl, 122
 materials_static.glsl, 122
 nagłówkowy, 450
 newell_teacup.h, 137, 349
 newell_teapot.h, 137, 349
 newell_teaspoon.h, 137, 349
 shaders.cpp, 58, 59
płaszczyzna, 77
 obcinania, 32, 77
 definiowana przez użytkownika, 91, 93
 dodatkowa, 91, 93
 styczna, 417
 usuwania, 95
płat wierzchołków, 319, 326, 346
 wejściowy, 319
 wyjściowy, 319, 320
podprogram, 155, 518
podsystem aplikacji, 51
point light, *Patrz:* światło punktowe
point sprite, *Patrz:* sprajt punktowy
position, 124
post processing, *Patrz:* przetwarzanie końcowe

potok programów, 40
potok renderingu, *Patrz:* rendering potok
powierzchnia
 Béziera, 137, 331, 348
 płat, 348, 354
 punkt kontrolny, 348
 rendering, 349
 stopień, 348
 teselacja, 355
 współrzędne, 348
 drugiego stopnia, 356
prawo
 cosinusów, *Patrz:* prawo Lamberta
 Lamberta, 130
 załamania Snella, 442
preprocesor, 49
primitive clipping, *Patrz:* prymityw obcinanie
profil
 kompatybilny, 14
 podstawowy, 14
profilowanie kontekstu renderingu, 13
program, 40
 konsolowy, 51
 okienkowy, 51
 potok, *Patrz:* potok programów
 punkt startowy, 51
program object, *Patrz:* obiekt programu
program pipeline object, *Patrz:* obiekt:potoku programów
projected planar shadow, *Patrz:* cień rzutowanie
projection matrix, *Patrz:* macierz rzutowania
promień przecięcia, 100
próbka, 296
 kolor, 296
 maska pokrycia, 302
 wartość pokrycia, 296, 301, 302, 303, 304

prymityw

generator, *Patrz:* teselator
 geometryczny, 15, 26
 łamana, *Patrz:* łamana
 odcinek, *Patrz:* odcinek
 pasek trójkątów,
Patrz: pasek trójkątów
 punkt, *Patrz:* punkt
 trójkąt, *Patrz:* trójkąt
 wachlarz trójkątów,
Patrz: wachlarz
 trójkątów
 graficzny, 14
 obcinanie, 35
 rozszerzony, 31, 313
 generowanie indeksów, 382

prymityw

łamana, 314
 odcinek, 313
 pasek trójkątów, 314
 trójkąt, 314
 teselacja, *Patrz:* teselacja
 wejściowy, 314, 315, 316

przestrzeń

lokalna styczna, 417
 nazw, 496

przesunięcie, *Patrz:* translacja

wartości głębokości, 274

przetwarzanie końcowe, 241

przezroczystość, 280, 284

ptrbits, 18, 19

punkt, 30, 224

R

rasteryzacja, 15, 105, 106

RBO, 232, 234, 235, 236, 237, 238

przyłączanie do FBO, 237

tworzenie, 234

refrakcja światła,

Patrz: światło refrakcja

render to texture, *Patrz:*

rendering do tekstury

renderbuffer object,

Patrz: RBO

rendering, 13, 30, 52, 55, 63

do tekstury, 241, 242

instancyjny, 282

kontekst, 16, 51

monoskopowy, 232

utrata, 20

liczba ramek na sekundę,

Patrz: FPS

obszar, *Patrz:* obszar

renderingu

potok, 15, 16, 106, 107

pozaekranowy, 237, 238,

241, 242

profil, *Patrz:* profil

punktów, 223

sceny, 62

tekstu, 112

tekstury, 196

warstwowy, 241, 260

warunkowy, 292, 294

wieloinstancyjny, *Patrz:*

geometria instancyjna

wielowarstwowy, 258, 261,

262, 263, 264

wskazówki, 220

wydajność, 216

rendering hint, *Patrz:*

rendering wskazówki

RGB, 105, 165, 168, 222

sRGB, *Patrz:* sRGB

RGBA, 165, 171, 180, 303

rozdzielczość, 179

rozmycie ruchu, 260

równanie

kanoniczne elipsoidy, 356

mieszania, 276, 277, 303

oświetlenia, 121, 131, 135, 153

parametryczne elipsoidy, 356

wektorowe, 348

rzutowanie, 69, 77

cieni, *Patrz:* cień

rzutowanie

perspektywiczne, 85, 86

prostokątne, 77, 80

S

sample, *Patrz:* próbka

sample coverage, *Patrz:* próbka

wartość pokrycia

scena

3D, 32, 35

rendering, *Patrz:*

rendering sceny

seam, *Patrz:* szew

seamless filter, *Patrz:* filtr

bezszwowy

sfera, 356

shader, 13, 40

ewaluacji teselacji, 14, 34,

319, 320, 321, 322, 325,

335, 337, 339, 355, 360,

362, 427, 429

fragmentów, 13, 38, 231,

241, 266, 534

kontrola przepływu, 519

geometrii, 14, 34, 36, 241,

243, 260, 262, 314, 315,

316, 345, 360, 362, 363,

432, 536

kontroli teselacji, 14, 34,

319, 320, 325, 335, 339

przechowywanie, 58

wierzchołków, 13, 34, 38, 57,

65, 325, 360, 362

zmienna wejściowa,

Patrz: zmienna

wejściowa

zmienna wyjściowa,

Patrz: zmienna

wyjściowa

shader object, *Patrz:* obiekt

shadera

shader storage block, *Patrz:* blok

pamięci shadera

shadow, *Patrz:* cień

shadow map, *Patrz:* mapa cieni

shadow mapping,

Patrz: mapowanie cieni

shadow volume,
Patrz: bryła cieni
 shininess, 121
 silhouette edge, *Patrz:*
 krawędź szkieletowa
 skalowanie, 76
 skybox, 213, 439
 specular, 121, 124
 specular light, *Patrz:* światło
 zwierciadlane
 spot light, *Patrz:* światło
 reflektorowe
 sprajt
 animacja, 318
 generowany przez shader
 geometrii, 318
 punktowy, 223, 224, 225,
 318
 sRGB, 105, 222
 SSAA, 295
 ST, 168
 stacja graficzna IRIS, 11
 stała
 GL_ELEMENT_ARRAY_
 BUFFER, 66
 GL_LINE_LOOP, 30
 GL_LINE_STRIP, 30
 GL_LINES, 30
 GL_PATCHES, 319
 GL_POINTS, 30
 GL_TRIANGLE_FAN, 30
 GL_TRIANGLE_STRIP,
 30
 GL_TRIANGLES, 30
 określona przez
 rozszerzenie, 450
 wbudowana, 523
 state machine, *Patrz:* maszyna
 stanów
 stencil buffer, *Patrz:* bufor
 szablonu
 stencil test, *Patrz:* test
 szablonu
 storage qualifier, *Patrz:*
 kwalifikator przechowywania

stos, 20
 STPQ, 168
 STRQ, 168
 struktura, 489, 490, 493
 element, 490
 inicjalizacja, 490
 subroutine, *Patrz:* podprogram
 subroutine uniform variable,
 Patrz: zmienna jednorodna
 podprogramu
 super sampling anti-aliasing,
 Patrz: SSAA
 system
 częstek, 224, 319
 funkcji iterowanych,
 Patrz: IFS
 szew, 213, 274

Ś

środowiska odwzorowanie, 212,
 272, 415, 431
 świat, 270, 271
 światło, *Patrz też:* oświetlenie
 dyspersja, *Patrz:* dyspersja
 kierunkowe, 124, 154, 285
 implementacja, 131, 136,
 153
 odbicie, 432, 433, 435
 kąta padania, 432
 otoczenia, 121, 124
 globalne, 128
 lokalne, 128
 współczynnik odbicia, 121
 punktowe, 124, 145, 150
 implementacja, 131, 133,
 137
 współczynnik tłumienia,
 125
 reflektorowe, 124
 refrakcja, 442, 445
 rozproszone, 121, 124
 współczynnik odbicia, 121
 rozszczepienie
 chromatyczne,
 Patrz: dyspersja

stożek, 124
 współczynnik odbicia, 121
 zwierciadlane, 121, 124, 135
 współczynnik odbicia,
 121
 źródło, *Patrz:* źródło
 światła

T

tablica, 19, 491, 494
 deklarowanie, 491
 indeksów wierzchołków, 66
 inicjalizacja, 492
 pikseli, 163
 format danych, 165
 prostokątna, 163
 tablica
 rozmiar, 492
 tekstur, 241
 dwuwymiarowych, 169,
 170, 171, 208, 209
 jednowymiarowych, 168,
 170
 sześciennych, 169, 171
 trójwymiarowych, 208
 wierzchołków, *Patrz:* VA
 tangent vector, *Patrz:* wektor
 styczny
 teksel, 168
 brzegowy, 183
 filtracja, 168
 tekstury, 183
 wartości składowe, 180
 tekst rendering, *Patrz:*
 rendering tekstu
 tekstura, 14, 163, 168, 232,
 241, 303, 529
 atlas, *Patrz:* atlas tekstury
 brzeg, 177
 buforowa, 169, 170, 228, 230
 definiowanie, 184, 185, 187
 dwuwymiarowa, 168, 169,
 182, 184, 185, 195, 241
 tworzenie, 188

- tekstura
 filtrowanie, 177, 178, 179, 190, 196, 198
 głębokości, 392, 393, 395
 jako bufor renderingu, 241
 jednowymiarowa, 168, 169, 182, 241
 kompresja, 14, 216, 217, 220, *Patrz też:* kompresja
 kubiczna, *Patrz:* tekstura sześcienna
 mapowanie, *Patrz:* mapowanie
 o stałym formacie, 186
 obiekt, *Patrz:* obiekt tekstury
 obraz, 489, 533
 prostokątna, 169, 170
 próbkowanie, 168, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 190, 530
 rendering, *Patrz:* rendering tekstury
 szczegółowość, 179
 sześcienna, 169, 170, 212, 213, 214, 241, 258, 432, 439
 mapowanie, 213
 trójwymiarowa, 168, 169, 182, 203, 241, 258
 typ danych, 171
 uchwyt, 168, 489
 wielopróbkowania, 308, 309, 310
 wielowarstwowa, 259
 współrzędne, 168, 169, 178, 182, 190
 znormalizowane, 183
 zawijanie, 178, 195
- teselacja, 14, 34, 319, 321, 322
 czworokątów
 na trójkąty, 321, 323, 324, 326
 na zbiór linii
 konturowych, 321, 329
- elipsoidy, *Patrz:* elipsoida
 teselacja
 ewaluacja, 14, 34
 interpolacja atrybutów
 wierzchołków, 330, 331, 333
 algorytm PN Triangles, *Patrz:* algorytm PN Triangles
 algorytm teselacji
 Phong, *Patrz:* algorytm teselacji
 Phong
 kontrola, 14, 34
 Phong, 333, 334, 335, 339
 teselator, 319, 321, 330, *Patrz też:* teselacja
 tessellation, *Patrz:* teselacja
 test
 bufora głębokości, 266, 272, 273, 286
 bufora szablonu, 379
 cienia, 401
 MSAA, 297, 299
 nożycowy, 266
 składowej alfa, 207, 303, 304
 szablonu, 266, 267
 własności piksela, 266
 zasłaniania, 266, 285, 287, 288, 292, 294
- texel, *Patrz:* tekssel
 texture buffer, *Patrz:* tekstura buforowa
 texture coordinates, *Patrz:* tekstura współrzędne
 texture handle, *Patrz:* tekstura uchwyt
 texture mapping, *Patrz:* mapowanie
 texture object, *Patrz:* obiekt tekstury
 texture sampler object, *Patrz:* obiekt próbkowania tekstury
 texture sampling, *Patrz:* tekstura próbkowanie
- texture unit, *Patrz:* jednostka teksturująca
 tomografia komputerowa, 207
 transform feedback, *Patrz:* transformacja sprzężona zwrotnie
 transformacja, 69
 obrót, *Patrz:* obrót obszaru renderingu, 35
 przesunięcie, *Patrz:* translacja
 skalowanie, *Patrz:* skalowanie
 sprzężona zwrotnie, 15, 360, 361, 362
 translacja, 75
 trójkąt, 30, 31
 orientacja, 31
 pasek, *Patrz:* pasek trójkątów
 wachlarz, *Patrz:* wachlarz trójkątów
 typ, 171, 479
 bool, 484
 całkowity, 484
 danych w języku, 18
 GLbitfield, 19
 GLboolean, 19
 GLbyte, 19, 28
 GLchar, 19
 GLdouble, 19, 28
 GLenum, 19
 GLfixed, 19, 28
 GLfloat, 19, 28
 GLhalf, 19, 28
 GLint, 18, 19, 28
 GLint64, 19
 GLintptr, 18, 19
 GLshort, 19, 28
 GLsizei, 19
 GLsizei, 18, 19
 GLsync, 18, 19
 GLubyte, 19, 28
 GLuint, 19, 28

GLuint64, 19
GLushort, 19, 28
GLvoid, 18
konwersja, 482
logiczny, 19
macierzowy, 487
void, 483
wektorowy, 485
zmiennoprzecinkowy, 485

U

UBO, 113, 118, 119, 146
format danych, 113, 114
układ współrzędnych, 73
przekształcanie, 154
przestrzeni stycznej, 420
uniform buffer object,
Patrz: UBO
uniform variable, *Patrz:*
zmienna jednorodna,
Patrz: zmienna jednorodna
user clipping plane, *Patrz:*
płaszczyzna obcinania
definiowana przez
użytkownika
UV, 168
UV mapping, *Patrz:*
mapowanie UV

V

VA, 27
VAO, 30, 61, 66
variance shadow map, *Patrz:*
mapa cienia wariacyjna
VBO, 27, 28, 61, 129
Vertex Array Objects,
Patrz: VAO
vertex arrays, *Patrz:* VA
vertex shader, *Patrz:* shader
wierzchołków

vertical synchronization, *Patrz:*
monitor synchronizacja
pionowa
view matrix, *Patrz:* macierz
widoku
viewport, *Patrz:* obszar
renderingu
viewport transformation,
Patrz: transformacja
obszaru renderingu
VSM, *Patrz:* mapa cienia
wariacyjna
Vulkan, 21

W

wachlarz trójkątów, 30, 31
warstwa, 258, 260
Web Graphics Library,
Patrz: WebGL
WebGL, 21
wektor, 75, 468, 485, 486, 494
binormalny, 349
bistyczny, 417, 418, 419
długość, 468, 469
dodawanie, 469
iloczyn
skalarny, 470
wektorowy, 471
jednostkowy, 470
kierunek, 468
kierunku światła, 139
mnożenie, 495
normalnej, 28
normalny, 113, 129, 131,
349, 415, 419, 420, 426
generowanie, 137
transformacja, 130, 139
uśredniony, 129, 130
odbicia, 153
odejmowanie, 469
połówkowy, 135, 153, 420
porównywanie, 528

styczny, 349, 417, 418, 419
zerowy, 469
zwrot, 468
WGL, 17, 232, 450
wielopróbkowanie, 266, 295,
296, 297, 299, 303, 531
bufor, *Patrz:* bufor
wielopróbkowania
tekstura, *Patrz:* tekstura
wielopróbkowania
w FBO, 307
wierzchołek, 13, 15, 26
atrybut, 26, 28
numer indeksu, 27, 65, 66
główny, 106
kolejność, 31, *Patrz też:*
trójkąt orientacja
płat, *Patrz:* płat
wierzchołków
przyległy, 313
tablica, *Patrz:* VA
tablica indeksów, 66
współrzędne, 28, 56, 57,
Patrz też: współrzędne
transformacja, 32
Wiggle, *Patrz:* WGL
window coordinates,
Patrz: współrzędne okna
współrzędne
barycentryczne, 98, 99, 321,
328
jednorodne, 32, 33
obcinania, 34
obserwatora, 34
oka, 34
okna, 35
transformacja, 32, 33
znormalizowane
urządzenia, 34, 35
wybieranie kolorów, 254
wydajność, 25
wyrażenie, 493
wzór Laplace'a, 466

Z

zapytanie

- asynchroniczne, 285, 286, 287, 288

- zasłaniania, *Patrz*: test zasłaniania

zmienna, 478

- dwustanowa, 18

- gl_InstanceID, 38

- gl_Layer, 260, 262

- gl_Position, 34, 38

- gl_VertexID, 38

- inPosition, 57

- interpolowana, 106, 107

- jednorodna, 37, 69, 71, 73, 113, 116

- inicjalizacja, 69

- macierz, 72

- podprogramu, 155

- położenie, 70, 71

- klienta OpenGL, 18

- przypisanie wartości, 493

- serwera OpenGL, 18

- stanu, 18, 23

- GL_UNIFORM_

- BUFFER_OFFSET_

- ALIGNMENT, 120

- GL_UNIFORM_

- MATRIX_STRIDE, 115

- GL_UNIFORM_OFFSET,

- 114

- odczyt, 18

- wbudowana, 38, 39, 115,

- 520, 521, 522`

- jednorodna, 523

- wejściowa, 38, 39, 497

- interpolacja, 39

- wektorowa, 486

- wyjściowa, 38, 39, 106, 497

- zakres widoczności, 496

Ż

- źródło światła, 120, 124

- położenie, 150

- zmiana kierunku, 139

PROGRAM PARTNERSKI

GRUPY WYDAWNICZEJ HELION



1. ZAREJESTRUJ SIĘ
2. PREZENTUJ KSIĄŻKI
3. ZBIERAJ PROWIZJĘ

Zmień swoją stronę WWW
w działający bankomat!

Dowiedz się więcej i dołącz już dzisiaj!

<http://program-partnerski.helion.pl>

GRUPA WYDAWNICZA



Helion SA

Darmowa biblioteka OpenGL jest świetnym narzędziem do tworzenia grafiki trójwymiarowej na różnych platformach sprzętowych i w różnych systemach operacyjnych. Jej legendarne możliwości, doskonałe od 1992 roku do dziś, znakomicie sprawdzają się na przykład w grach komputerowych. Z kolei otwarty interfejs programistyczny pozwolił na zbudowanie wokół niej mnóstwa narzędzi uzupełniających i rozszerzeń, które przydadzą się każdemu użytkownikowi pragnącemu wykreować swój własny świat w formacie 3D.

Już niedługo zobaczysz na ekranie to, co na razie pozostaje jedynie w świecie Twojej wyobraźni! Ta książka omawia budowę biblioteki OpenGL, zasady pisania programów i wykorzystania obiektów. Nauczysz się programować grafikę — przekształcać scenę, budować modele oświetlenia i obsługiwać tekstury. Poznasz różne rodzaje buforów i zobaczysz, na czym polega antyaliasing. Odkryjesz też, jak przetwarzać geometrię obiektów i jak tworzyć realistyczne cienie. W dodatkach do książki znajdziesz informacje, które pomogą Ci rozpocząć pracę z tą biblioteką. Poznaj OpenGL i zachwyć świat swoimi grafikami!

- Co to jest OpenGL?
- Historia i perspektywy OpenGL
- Pierwszy program
- Rzutowanie i transformacje
- Cieniowanie i oświetlenie
- Tekstury i antyaliasing
- Zaawansowane przekształcanie geometrii
- Cienie
- Odwzorowanie środowiska i nierówności powierzchni
- Rozszerzenia
- Macierze i wektory
- Język GLSL

Wykreuj swój świat z OpenGL!

Helion

31685 numer katalogowy

księgarnia internetowa



<http://helion.pl>

zamówienia telefoniczne



0 801 339900



0 601 339900

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

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

Informatyka w najlepszym wydaniu

sięgnij po **WIĘCEJ**



KOD KORZYŚCI

ISBN 978-83-283-0193-1



9 788328 301931

cena: 89,00 zł