helion.pl

IDŹ DO

PRZYKŁADOWY ROZDZIAŁ

SPIS TREŚCI

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

OpenGL. Programowanie gier

Autorzy: Kevin Hawkins, Dave Astle
Tłumaczenie: Jaromir Senczyk
ISBN: 83-7361-035-9
Tytuł oryginału: OpenGL Game Programming
Format: B5, stron: 630

Coraz szybsze procesory, coraz wydajniejsze karty graficzne — wszystko to powoduje, że programiści gier komputerowych potrafią kreować własne, wirtualne i trójwymiarowe światy, przyciągające gracza bogactwem szczegółów i drobiazgowym odwzorowaniem rzeczywistości (lub wyobraźni twórcy). Tworzenie tak zaawansowanych i skomplikowanych gier nie byłoby możliwe bez bibliotek graficznych, takich jak OpenGL, pozwalających na wyświetlanie trójwymiarowych obiektów przez karty graficzne różnych producentów. OpenGL w ogromnym stopniu przyspiesza pracę programisty.

Książka omawia użycie OpenGL do tworzenia dynamicznych, trójwymiarowych światów gier oraz efektów specjalnych. Przedstawia podstawy tworzenia aplikacji w systemie Windows, teorię grafiki trójwymiarowej, ale główny nacisk kładzie na prezentację funkcjonalności OpenGL. Jednak autor nie poprzestał na opisie. Sama biblioteka nie wystarcza do stworzenia gry. Opisane zostały także niezbędne programiście elementy biblioteki DirectX pozwalające na wzbogacenie gry o dźwięk i wygodne sterowanie.

Książka przedstawia:

- Podstawy programowania w Windows, funkcje WGL
- Podstawy teorii grafiki trójwymiarowej
- Maszynę stanów OpenGL i podstawowe elementy grafiki
- Przekształcenia układu współrzędnych i macierze OpenGL
- Kolory i efekty związane z oświetleniem
- Mapy bitowe i tekstury w OpenGL
- Listy wyświetlania i tablice wierzchołków
- Bufory OpenGL
- Krzywe, powierzchnie i powierzchnie drugiego stopnia
- Sposoby tworzenia efektów specjalnych
- Interfejs DirectInput
- Wykorzystanie DirectX Audio
- Trójwymiarowe modele postaci

Wydawnictwo Helion
ul. Chopina 6
44-100 Gliwice
tel. (32)230-98-63
e-mail: helion@helion.pl

Spis treści

List od wydawcy serii **15**
O Autorach **17**
Przedmowa **19**
Wprowadzenie **21**

Część I Wprowadzenie do OpenGL i DirectX **23**

Rozdział 1. OpenGL i DirectX **25**
Dlaczego tworzymy gry? 25
Świat gier 26
Elementy gry 26
Narzędzia 28
OpenGL 30
Historia OpenGL 30
Architektura OpenGL 31
Biblioteka GLU 31
Pakiet bibliotek GLUT 32
Programy 33
DirectX 33
Historia DirectX 34
Architektura DirectX 35
DirectX Graphics 36
DirectX Audio 36
DirectInput 36
DirectPlay 36
DirectShow 36
DirectSetup 37
Porównanie OpenGL i DirectX 37
Podsumowanie 37

Rozdział 2. Korzystanie z OpenGL w systemie Windows **39**
Wprowadzenie do programowania w systemie Windows 39
Podstawowa aplikacja systemu Windows 41
Funkcja WinMain() 42
Procedura okienkowa 42
Obsługa komunikatów 43
Klasy okien 44
Określenie atrybutów klasy okna 45
Ładowanie ikon i kursora myszy 46

Rejestracja klasy ... 48
Tworzenia okna ... 48
Pętla przetwarzania komunikatów ... 50
Kompletna aplikacja systemu Windows ... 52
Wprowadzenie do funkcji WGL ... 55
Kontekst tworzenia grafiki ... 56
Korzystanie z funkcji WGL ... 56
Funkcja wglCreateContext() ... 56
Funkcja wglDeleteContext() ... 56
Funkcja wglMakeCurrent() ... 57
Formaty pikseli ... 58
Pole nSize ... 58
Pole dwFlags ... 59
Pole iPixelType ... 59
Pole cColorBits ... 59
Aplikacja OpenGL w systemie Windows ... 60
Pełnoekranowe aplikacje OpenGL ... 67
Podsumowanie ... 69

Rozdział 3. Przegląd teorii grafiki trójwymiarowej ... 71

Skalary, punkty i wektory ... 71
Długość wektora ... 72
Normalizacja wektora ... 72
Dodawanie wektorów ... 73
Mnożenie wektora przez skalar ... 73
Iloczyn skalarny wektorów ... 73
Iloczyn wektorowy ... 74
Macierze ... 75
Macierz jednostkowa ... 75
Macierz zerowa ... 75
Dodawanie i odejmowanie macierzy ... 76
Mnożenie macierzy ... 76
Implementacja działań na macierzach ... 78
Przekształcenia ... 79
Przesunięcie ... 80
Obrót ... 80
Skalowanie ... 82
Rzutowanie ... 82
Rzutowanie izometryczne ... 83
Rzutowanie perspektywiczne ... 84
Obcinanie ... 86
Światło ... 86
Światło otoczenia ... 87
Światło rozproszone ... 87
Światło odbijane ... 88
Odwzorowania tekstur ... 88
Podsumowanie ... 89

Część II Korzystanie z OpenGL ... 91

Rozdział 4. Maszyna stanów OpenGL i podstawowe elementy grafiki ... 93

Funkcje stanu ... 93
Podstawowe elementy grafiki ... 99
Tworzenie punktów w trójwymiarowej przestrzeni ... 100
Zmiana rozmiaru punktów ... 101
Antialiasing ... 101

Odcinki ... 102
Zmiana szerokości odcinka ... 103
Antialiasing odcinków ... 103
Wzór linii odcinka ... 103
Wielokąty ... 104
Ukrywanie powierzchni wielokątów ... 105
Ukrywanie krawędzi wielokątów ... 106
Antialiasing wielokątów ... 106
Wzór wypełnienia wielokątów ... 107
Trójkąty ... 107
Czworokąty ... 108
Dowolne wielokąty ... 109
Przykład wykorzystania podstawowych elementów grafiki ... 109
Podsumowanie ... 110

Rozdział 5. Przekształcenia układu współrzędnych i macierze OpenGL ... 111

Przekształcenia układu współrzędnych ... 111
Współrzędne kamery i obserwatora ... 113
Przekształcenia widoku ... 114
Wykorzystanie funkcji gluLookAt() ... 114
Wykorzystanie funkcji glRotate*() i glTranslate*() ... 115
Własne procedury przekształceń widoku ... 116
Przekształcenia modelowania ... 117
Rzutowanie ... 118
Przekształcenie okienkowe ... 118
OpenGL i macierze ... 119
Macierz modelowania ... 119
Przesunięcie ... 120
Obrót ... 120
Skalowanie ... 122
Stos macierzy ... 123
Model robota ... 124
Rzutowanie ... 132
Rzutowanie ortograficzne ... 133
Rzutowanie perspektywiczne ... 134
Okno widoku ... 135
Przykład rzutowania ... 136
Wykorzystanie własnych macierzy przekształceń ... 138
Ładowanie elementów macierzy ... 138
Mnożenie macierzy ... 139
Przykład zastosowania macierzy definiowanych ... 139
Podsumowanie ... 140

Rozdział 6. Kolory, łączenie kolorów i oświetlenie ... 141

Czym są kolory? ... 141
Kolory w OpenGL ... 142
Głębia koloru ... 143
Sześcian kolorów ... 143
Model RGBA w OpenGL ... 143
Model indeksowany w OpenGL ... 144
Cieniowanie ... 145
Oświetlenie ... 147
Oświetlenie w OpenGL i w realnym świecie ... 147
Materiały ... 148

Normalne ... 148
Obliczanie normalnych ... 149
Użycie normalnych ... 151
Normalne jednostkowe ... 152
Korzystanie z oświetlenia w OpenGL ... 153
Tworzenie źródeł światła ... 158
Położenie źródła światła ... 159
Tłumienie ... 160
Strumień światła ... 160
Definiowanie materiałów ... 163
Modele oświetlenia ... 164
Efekty odbicia ... 166
Ruchome źródła światła ... 167
Łączenie kolorów ... 173
Przezroczystość ... 174
Podsumowanie ... 179

Rozdział 7. Mapy bitowe i obrazy w OpenGL ... 181
Mapy bitowe w OpenGL ... 181
Umieszczanie map bitowych ... 182
Rysowanie mapy bitowej ... 183
Przykład zastosowania mapy bitowej ... 183
Wykorzystanie obrazów graficznych ... 185
Rysowanie obrazów graficznych ... 185
Odczytywanie obrazu z ekranu ... 187
Kopiowanie danych ekranu ... 187
Powiększanie, pomniejszanie i tworzenie odbić ... 188
Upakowanie danych mapy pikseli ... 188
Mapy bitowe systemu Windows ... 188
Format plików BMP ... 189
Ładowanie plików BMP ... 190
Zapis obrazu w pliku BMP ... 191
Pliki graficzne Targa ... 193
Format plików Targa ... 193
Ładowanie zawartości pliku Targa ... 194
Zapis obrazów w plikach Targa ... 196
Podsumowanie ... 197

Rozdział 8. Odwzorowania tekstur ... 199
Odwzorowania tekstur ... 199
Przykład zastosowania tekstury ... 200
Mapy tekstur ... 205
Tekstury dwuwymiarowe ... 205
Tekstury jednowymiarowe ... 206
Tekstury trójwymiarowe ... 206
Obiekty tekstur ... 207
Tworzenie nazwy tekstury ... 207
Tworzenie i stosowanie obiektów tekstur ... 207
Filtrowanie tekstur ... 208
Funkcje tekstur ... 209
Współrzędne tekstury ... 209
Powtarzanie i rozciąganie tekstur ... 210
Mipmapy i poziomy szczegółowości ... 212
Automatyczne tworzenie mipmap ... 213

Animacja powiewającej flagi ... 213
Objaśnienia ... 214
Implementacja ... 214
Ukształtowanie terenu ... 223
Objaśnienia ... 223
Implementacja ... 227
Podsumowanie ... 235

Rozdział 9. Zaawansowane odwzorowania tekstur ... 237
Tekstury wielokrotne ... 237
Sprawdzanie dostępności tekstur wielokrotnych ... 238
Dostęp do funkcji rozszerzeń ... 239
Tworzenie jednostek tekstury ... 240
Określanie współrzędnych tekstury ... 241
Przykład zastosowania tekstur wielokrotnych ... 242
Odwzorowanie otoczenia ... 250
Torus na niebie ... 250
Macierze tekstur ... 253
Mapy oświetlenia ... 255
Stosowanie map oświetlenia ... 255
Wieloprzebiegowe tekstury wielokrotne ... 261
Podsumowanie ... 265

Rozdział 10. Listy wyświetlania i tablice wierzchołków ... 267
Listy wyświetlania ... 267
Tworzenie listy wyświetlania ... 268
Umieszczanie poleceń na liście wyświetlania ... 268
Wykonywanie list wyświetlania ... 269
Uwagi dotyczące list wyświetlania ... 271
Usuwanie list wyświetlania ... 271
Listy wyświetlania i tekstury ... 272
Przykład: animacja robota z użyciem list wyświetlania ... 273
Tablice wierzchołków ... 274
Obsługa tablic wierzchołków w OpenGL ... 275
Stosowanie tablic wierzchołków ... 276
glDrawArrays() ... 278
glDrawElements() ... 278
glDrawRangeElements() ... 279
glArrayElement() ... 279
Tablice wierzchołków i tekstury wielokrotne ... 280
Blokowanie tablic wierzchołków ... 280
Przykład: ukształtowanie terenu po raz drugi ... 281
Podsumowanie ... 284

Rozdział 11. Wyświetlanie tekstów ... 285
Czcionki rastrowe ... 285
Czcionki konturowe ... 289
Czcionki pokryte teksturą ... 292
Podsumowanie ... 299

Rozdział 12. Bufory OpenGL ... 301
Bufory OpenGL — wprowadzenie ... 301
Konfiguracja formatu pikseli ... 301
Opróżnianie buforów ... 304
Bufor koloru ... 305
Podwójne buforowanie ... 305
Buforowanie stereoskopowe ... 306

Bufor głębi ... 306
Funkcje porównania głębi ... 307
Zastosowania bufora głębi ... 307
Bufor powielania ... 316
Przykład zastosowania bufora powielania ... 319
Bufor akumulacji ... 324
Podsumowanie ... 326

Rozdział 13. Powierzchnie drugiego stopnia ... 327
Powierzchnie drugiego stopnia w OpenGL ... 327
Styl powierzchni ... 328
Wektory normalne ... 328
Orientacja ... 329
Współrzędne tekstury ... 329
Usuwanie obiektów powierzchni ... 329
Dyski ... 329
Walce ... 331
Kule ... 332
Przykład użycia powierzchni drugiego stopnia ... 333
Podsumowanie ... 336

Rozdział 14. Krzywe i powierzchnie ... 337
Reprezentacja krzywych i powierzchni ... 337
Równania parametryczne ... 338
Punkty kontrolne i pojęcie ciągłości ... 338
Ewaluatory ... 339
Siatka równoodległa ... 342
Powierzchnie ... 343
Pokrywanie powierzchni teksturami ... 346
Powierzchnie B-sklejane ... 350
Podsumowanie ... 354

Rozdział 15. Efekty specjalne ... 355
Plakatowanie ... 355
Przykład: kaktusy na pustyni ... 357
Zastosowania systemów cząstek ... 359
Cząstki ... 359
Położenie ... 360
Prędkość ... 360
Czas życia ... 360
Rozmiar ... 361
Masa ... 361
Reprezentacja ... 361
Kolor ... 361
Przynależność ... 362
Metody ... 362
Systemy cząstek ... 362
Lista cząstek ... 362
Położenie ... 362
Częstość emisji ... 363
Oddziaływania ... 363
Atrybuty cząstek, zakresy ich wartości i wartości domyślne ... 363
Stan bieżący ... 364
Łączenie kolorów ... 364
Reprezentacja ... 364
Metody ... 364

Menedżer systemów cząstek ... 365
Implementacja ... 365
Tworzenie efektów za pomocą systemów cząstek ... 368
Przykład: śnieżyca ... 369
Mgła ... 373
Mgła w OpenGL ... 374
Mgła objętościowa ... 375
Odbicia ... 375
Odbicia światła ... 376
Obsługa bufora głębi ... 376
Obsługa skończonych płaszczyzn za pomocą bufora powielania ... 377
Tworzenie nieregularnych odbić ... 378
Odbicia na dowolnie zorientowanych płaszczyznach ... 378
Cienie ... 379
Cienie statyczne ... 379
Rzutowanie cieni ... 380
Macierz rzutowania cieni ... 380
Problemy z buforem głębi ... 381
Ograniczanie obszaru cieni za pomocą bufora powielania ... 381
Obsługa wielu źródeł światła i wielu zacienianych powierzchni ... 382
Problemy związane z rzutowaniem cieni ... 382
Bryły cieni w buforze powielania ... 383
Inne metody ... 384
Przykład: odbicia i cienie ... 384
Podsumowanie ... 387

Część III Tworzymy grę ... 389

Rozdział 16. DirectX: DirectInput ... 391

Dlaczego DirectInput? ... 391
Komunikaty systemu Windows ... 391
Interfejs programowy Win32 ... 394
Win32 i obsługa klawiatury ... 394
Win32 i obsługa manipulatorów ... 396
DirectInput ... 397
Inicjacja interfejsu DirectInput ... 397
Wartości zwracane przez funkcje DirectInput ... 398
Korzystanie z DirectInput ... 399
Dodawanie urządzeń ... 399
Tworzenie urządzeń ... 400
Tworzenie wyliczenia urządzeń ... 400
Sprawdzanie możliwości urządzenia ... 404
Wyliczenia obiektów ... 405
Określanie formatu danych urządzenia ... 405
Określanie poziomu współpracy ... 407
Modyfikacja właściwości urządzenia ... 407
Zajmowanie urządzenia ... 408
Pobieranie danych wejściowych ... 408
Bezpośredni dostęp do danych ... 408
Buforowanie danych ... 409
„Odpytywanie” urządzeń ... 409
Kończenie pracy z urządzeniem ... 409
Odwzorowania akcji ... 410
Tworzenie podsystemu wejścia ... 410
Przykład zastosowania systemu wejścia ... 418
Podsumowanie ... 420

Rozdział 17. Zastosowania DirectX Audio ... 421
Dźwięk ... 421
Dźwięk i komputery ... 423
Cyfrowy zapis dźwięku ... 423
Synteza dźwięku ... 424
Czym jest DirectX Audio? ... 425
Charakterystyka DirectX Audio ... 426
Obiekty ładujące ... 426
Segmenty i stany segmentów ... 426
Wykonanie ... 427
Komunikaty ... 427
Kanały wykonania ... 427
Syntezator DSL ... 427
Instrumenty i ładowanie dźwięków ... 427
Ścieżki dźwięku i bufory ... 428
Przepływ danych dźwięku ... 428
Ładowanie i odtwarzanie dźwięku w DirectMusic ... 429
Inicjacja COM ... 430
Tworzenie i inicjacja obiektu wykonania ... 430
Tworzenie obiektu ładującego ... 431
Załadowanie segmentu ... 431
Ładowanie instrumentów ... 432
Odtwarzanie segmentu ... 432
Zatrzymanie odtwarzania segmentu ... 433
Kontrola odtwarzania segmentu ... 434
Określanie liczby odtworzeń segmentu ... 434
Kończenie odtwarzania dźwięku ... 435
Prosty przykład ... 435
Zastosowania ścieżek dźwięku ... 445
Domyślna ścieżka dźwięku ... 446
Standardowe ścieżki dźwięku ... 446
Odtwarzanie za pomocą ścieżki dźwięku ... 447
Pobieranie obiektów należących do ścieżek dźwięku ... 449
Dźwięk przestrzenny ... 450
Współrzędne przestrzeni dźwięku ... 450
Percepcja położenia źródła dźwięku ... 450
Bufor efektu przestrzennego w DirectSound ... 451
Parametry przestrzennego źródła dźwięku ... 451
Odległość minimalna i maksymalna ... 453
Tryb działania ... 453
Położenie i prędkość ... 454
Stożki dźwięku ... 454
Odbiorca efektu dźwięku przestrzennego ... 455
Przykład zastosowania efektu przestrzennego ... 456
Podsumowanie ... 468

Rozdział 18. Modele trójwymiarowe ... 469
Formaty plików modeli trójwymiarowych ... 469
Format MD2 ... 470
Implementacja formatu MD2 ... 472
Ładowanie modelu MD2 ... 476
Wyświetlanie modelu MD2 ... 480
Pokrywanie modelu teksturą ... 482
Animacja modelu ... 483

Klasa CMD2Model ... 488
Sterowanie animacją modelu ... 498
Ładowanie plików PCX ... 501
Podsumowanie ... 503

Rozdział 19. Modelowanie fizycznych właściwości świata ... 505
Powtórka z fizyki ... 505
Czas ... 505
Odległość, przemieszczenie i położenie ... 506
Prędkość ... 508
Przyspieszenie ... 509
Siła ... 510
Pierwsza zasada dynamiki ... 511
Druga zasada dynamiki ... 511
Trzecia zasada dynamiki ... 511
Pęd ... 511
Zasada zachowania pędu ... 512
Tarcie ... 513
Tarcie na płaszczyźnie ... 513
Tarcie na równi pochyłej ... 514
Modelowanie świata rzeczywistego ... 516
Rozkład problemu ... 516
Czas ... 517
Wektor ... 521
Płaszczyzna ... 526
Obiekt ... 529
Zderzenia obiektów ... 531
Sfery ograniczeń ... 532
Prostopadłościany ograniczeń ... 533
Zderzenia płaszczyzn ... 535
Obsługa zderzenia ... 538
Przykład: hokej ... 538
Świat hokeja ... 539
Lodowisko ... 539
Krążek i zderzenia ... 544
Gracz ... 550
Kompletowanie programu ... 553
Podsumowanie ... 559

Rozdział 20. Tworzenie szkieletu gry ... 561
Architektura szkieletu SimpEngine ... 561
Zarządzanie danymi za pomocą obiektów klasy CNode ... 562
Zarządzanie obiektami: klasa CObject ... 566
Trzon szkieletu SimpEngine ... 570
System wejścia ... 572
Klasa CEngine ... 573
Cykl gry ... 574
Obsługa wejścia ... 575
Klasa CSimpEngine ... 576
Kamera ... 577
Świat gry ... 580
Obsługa modeli ... 580
System dźwięku ... 581
System cząstek ... 583
Podsumowanie ... 583

Rozdział 21. Piszemy grę: „Czas zabijania” ... 585
Wstępny projekt ... 585
Świat gry ... 586
Przeciwnicy ... 588
Sztuczna inteligencja przeciwnika ... 589
Ogro ... 590
Sod ... 592
Rakiety i eksplozje ... 592
Interfejs użytkownika gry ... 594
Korzystanie z gry ... 594
Kompilacja gry ... 595
Podsumowanie ... 596

Dodatki ... 597

Dodatek A Zasoby sieci Internet ... 599
Programowanie gier ... 599
GameDev.net ... 599
Wyszukiwarka informacji związanych z programowaniem gier ... 600
flipCode ... 600
Gamasutra ... 600
OpenGL ... 600
NeHe Productions ... 600
OpenGL.org ... 601
Inne strony poświęcone OpenGL ... 601
DirectX ... 601
DirectX Developer Center ... 601
Lista mailingowa DirectX ... 601
Inne zasoby ... 602
ParticleSystems.com ... 602
Real-Time Rendering ... 602
Informacja techniczna dla programistów ... 602
Artykuły dotyczące efektu mgły ... 602

Dodatek B Dysk CD ... 603
Struktura plików na dysku CD ... 603
Wymagania sprzętowe ... 603
Instalacja ... 604
Typowe problemy i ich rozwiązywanie ... 604

Skorowidz ... 605

Rozdział 9.

Zaawansowane odwzorowania tekstur

W rodziale tym przedstawione zostaną zaawansowane techniki tworzenia tekstur, które pozwolą kolejny raz na zwiększenie realizmu tworzonej grafiki. Omówione zostaną następujące zagadnienia:

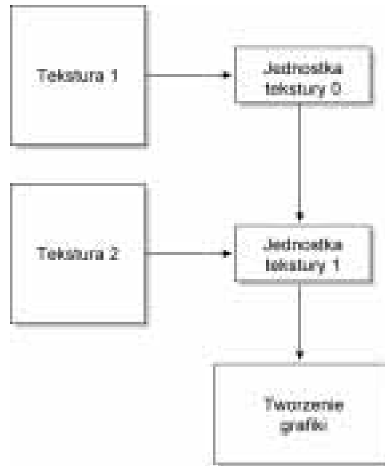
- tekstury wielokrotne;
- mapy otoczenia;
- macierz tekstur;
- mapy oświetlenia;
- wieloprzebiegowe tworzenie tekstur wielokrotnych.

Zastosowanie każdego z wymienionych efektów powoduje, że grafika trójwymiarowa nabiera jeszcze doskonalszego wyglądu.

Tekstury wielokrotne

Dotychczas wykorzystywana była pojedyncza tekstura dla każdego wielokąta. OpenGL umożliwia jednak pokrycie wielokąta sekwencją tekstur, czyli tworzenie *tekstur wielokrotnych*. Możliwość ta stanowi obecnie jedynie *rozszerzenie* specyfikacji OpenGL. Rozszerzenia interfejsu programowego OpenGL zatwierdzane są przez radę ARB (*Architectural Review Board*) nadzorującą rozwój specyfikacji OpenGL. Tekstury wielokrotne stanowią opcjonalne rozszerzenie OpenGL i nie są dostępne w każdej implementacji.

Tekstury wielokrotne tworzone są za pomocą sekwencji *jednostek tekstury*. Jednostki tekstury omówione zostaną szczegółowo w dalszej części rozdziału. Obecnie wystarczy jedynie informacja dotycząca tego, że każda jednostka tekstury reprezentuje pojedynczą teksturę, a także to, że podczas tworzenia tekstury wielokrotnej każda jednostka tekstury przekazuje wynik jej zastosowania kolejnej jednostce tekstury aż do utworzenia końcowej tekstury wielokrotnej. Rysunek 9.1 ilustruje proces tworzenia tekstur wielokrotnych.



Rysunek 9.1.
Tekstura wielokrotna powstaje na skutek nałożenia na wielokąt więcej niż jednej tekstury za pomocą jednostek tekstur

W procesie tworzenia tekstury wielokrotnej można wyróżnić cztery główne etapy.

1. Sprawdzenie, czy implementacja OpenGL udostępnia możliwość tworzenia tekstur wielokrotnych.
2. Uzyskanie wskaźnika funkcji rozszerzenia.
3. Tworzenie jednostki tekstury.
4. Określenie współrzędnych tekstury.

Teraz należy przyjrzeć się bliżej każdemu z wymienionych etapów.

Sprawdzanie dostępności tekstur wielokrotnych

Przed rozpoczęciem stosowania tekstur wielokrotnych trzeba najpierw sprawdzić, czy udostępnia je używana implementacja OpenGL. Tekstury wielokrotne są rozszerzeniem specyfikacji OpenGL zaaprobowanym przez radę ARB. Listę takich rozszerzeń udostępnianych przez konkretną implementację można uzyskać wywołując funkcję `glGetString()` z parametrem `GL_EXTENSIONS`. Lista ta posiada postać łańcucha znaków, w którym nazwy kolejnych rozszerzeń rozdzielone są znakami spacji. Jeśli w łańcuchu tym znaleziona zostanie nazwa `"GL_ARB_multitexture"`, to oznacza to dostępność tekstur wielokrotnych.

W celu sprawdzenia dostępności konkretnego rozszerzenia OpenGL można skorzystać z dostępnej w bibliotece GLU funkcji `gluCheckExtension()` o następującym prototypie:

```
GLboolean gluCheckExtension(char *extName, const GLubyte *extString);
```

Funkcja ta zwraca wartość `true`, jeśli nazwa rozszerzenia *`extName`* znajduje się w łańcuchu *`extString`* lub wartość `false` w przeciwnym razie.

Łańcuch zwrócony przez funkcję `glGetString()` można także przeszukać indywidualnie. Oto przykład implementacji odpowiedniej funkcji:

```
bool InStr(char *searchStr, char *str)
{
  char *endOfStr;                    // wskaźnik ostatniego znaku łańcucha
  int idx = 0;

  endOfStr = str + strlen(str);      // ostatni znak łańcucha

  // pętla wykonywana aż do osiągnięcia końca łańcucha
  while (str < endOfStr)
  {
    // odnajduje położenie kolejnego znaku spacji
    idx = strcspn(str, " ");

    // sprawdza str i wskazuje poszukiwaną nazwę
    if ( (strlen(searchStr) == idx) && (strncmp(searchStr, str, idx) == 0))
    {
      return true;
    }

    // nie jest to poszukiwana nazwa, przesuwamy wskaźnik do kolejnej nazwy
    str += (idx + 1);
  }
  return false;
}
```

Funkcja ta zwraca wartość `true`, jeśli łańcuch `str` zawiera łańcuch `searchStr` przy założeniu, że `str` składa się z podłańcuchów oddzielonych znakami spacji. Aby sprawdzić, czy dana implementacja umożliwia stosowanie tekstur wielokrotnych, można skorzystać ostatecznie z poniższego fragmentu kodu:

```
char *extensionStr;                  // lista dostępnych rozszerzeń

// pobiera listę dostępnych rozszerzeń
extensionStr = (char*)glGetString(GL_EXTENSIONS);

if (InStr("GL_ARB_multitexture", extensionStr))
{
  // tekstury wielokrotne są dostępne
}
```

Po sprawdzeniu dostępności tekstur wielokrotnych kolejnym krokiem będzie uzyskanie wskaźników funkcji rozszerzeń.

Dostęp do funkcji rozszerzeń

Aby korzystać z rozszerzeń OpenGL na platformie Microsoft Windows musimy uzyskać dostęp do funkcji rozszerzeń. Funkcja `wglGetProcAddress()` zwraca wskaźnik żądanej funkcji rozszerzenia. Dla tekstur wielokrotnych dostępnych jest sześć funkcji rozszerzeń:

- **glMultiTexCoord*i*fARB** (gdzie *i* =1..4) — funkcje te określają współrzędne tekstur wielokrotnych;
- **glActiveTextureARB** — wybiera bieżącą jednostkę tekstury;
- **glClientActiveTextureARB** — wybiera jednostkę tekstury, na której wykonywane będą operacje.

Poniższy fragment kodu służy do uzyskania dostępu do wymienionych funkcji rozszerzeń:

```
PFNGLMULTITEXCOORD2FARBPROC glMultiTexCoord2fARB = NULL;
PFNGLACTIVETEXTUREARBPROC   glActiveTextureARB = NULL;
PFNGLCLIENTACTIVETEXTUREARBPROC glClientActiveTextureARB = NULL;
glMultiTexCoord2fARB =     (PFNGLMULTITEXCOORD2FARBPROC)
                             wglGetProcAddress("glMultiTexCoord2fARB");
glActiveTextureARB =       (PFNGLACTIVETEXTUREARBPROC)
                             wglGetProcAddress("glActiveTextureARB");
glClientActiveTextureARB = (PFNGLCLIENTACTIVETEXTUREARBPROC)
                             wglGetProcAddress("glClientActiveTextureARB");
```

Po wykonaniu tego kodu można tworzyć tekstury wielokrotne za pomocą funkcji `glMultiTexCoord2fARB()` i `glActiveTextureARB()`.

Tworzenie jednostek tekstury

Tworzenie tekstur wielokrotnych odbywa się poprzez nakładanie wielu jednostek tekstury. Jednostka tekstury składa się z obrazu tekstury, parametrów filtrowania, stosu macierzy tekstury, a ponadto posiada zdolność automatycznego tworzenia współrzędnych tekstury.

Aby skonfigurować parametry jednostki tekstury, trzeba najpierw wybrać bieżącą jednostkę tekstury za pomocą funkcji `glActiveTextureARB()` zdefiniowanej w następujący sposób:

```
void glActiveTextureARB(GLenum texUnit);
```

Po wykonaniu tej funkcji wszystkie wywołania funkcji `glTexImage*()`, `glTexParameter*()`, `glTexEnv*()`, `glTexGen*()` i `glBindTexture()` dotyczyć będą jednostki tekstury określonej przez parametr *`texUnit`*. Parametr *`texUnit`* może posiadać wartość `GL_TEXTURE`*`i`*`_ARB`, gdzie *`i`* jest liczbą całkowitą z przedziału od 0 do wartości o jeden mniejszej od dopuszczalnej liczby jednostek tekstur. Na przykład `GL_TEXTURE0_ARB` oznacza pierwszą z dostępnych jednostek tekstur. Liczbę jednostek tekstur dopuszczalną dla danej implementacji OpenGL uzyskać można wykonując poniższy fragment kodu:

```
int maxTextUnits; // maksymalna liczba jednostek tekstur
glGetIntegerv(GL_MAX_TEXTURE_UNITS_ARB, &maxTextUnits);
```

Jeśli w wyniku wywołania funkcji `glGetIntegerv()` uzyskana zostanie wartość 1, oznaczać to będzie, że dana implementacja nie umożliwia tworzenia tekstur wielokrotnych.

Jednostki tekstur można konfigurować za pośrednictwem obiektów tekstur. Informacja, którą zawiera obiekt tekstury, jest automatycznie przechowywana z jednostką tekstury. Aby korzystać z jednostek tekstur, wystarczy więc — podobnie jak w przypadku zwykłych tekstur — utworzyć obiekt tekstury, a następnie aktywować jednostkę tekstury za pomocą funkcji `glActiveTextureARB()`. Następnie należy związać obiekty tekstur z odpowiadającymi im jednostkami tekstur. Ilustruje to następujący fragment kodu:

```
// obiekty tekstur
int texObjects[2];
...
glGenTextures(2, texObjects); // tworzy dwa obiekty tekstur
```

```
// tworzy pierwszą teksturę
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, texObjects[0]);
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_REPEAT);
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_REPEAT);
glTexEnvi(GL_TEXTURE_ENV, GL_TEXTURE_ENV_MODE, GL_REPLACE);
gluBuild2DMipmaps(GL_TEXTURE_2D, GL_RGB, 64, 64, GL_RGB, GL_UNSIGNED_BYTE, texOne);
...
// tworzy drugą teksturę
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, texObjects[1]);
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_REPEAT);
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_REPEAT);
glTexEnvi(GL_TEXTURE_ENV, GL_TEXTURE_ENV_MODE, GL_REPLACE);
gluBuild2DMipmaps(GL_TEXTURE_2D, GL_RGB, 64, 64, GL_RGB, GL_UNSIGNED_BYTE, texTwo);
...
// tworzy jednostki tekstur za pomocą obiektów tekstur
glActiveTextureARB(GL_TEXTURE0_ARB);
glEnable(GL_TEXTURE_2D);
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, smileTex->texID);
glTexEnvi(GL_TEXTURE_ENV, GL_TEXTURE_ENV_MODE, GL_REPLACE);
glActiveTextureARB(GL_TEXTURE1_ARB);
glEnable(GL_TEXTURE_2D);
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, checkerTex->texID);
glTexEnvi(GL_TEXTURE_ENV, GL_TEXTURE_ENV_MODE, GL_MODULATE);
...
```

Powyższy fragment kodu tworzy najpierw dwa obiekty tekstur, a następnie kreuje za ich pomocą dwie jednostki tekstur używane do tworzenia tekstur wielokrotnych.

Określanie współrzędnych tekstury

Teraz, gdy wiadomo już, w jaki sposób tworzyć jednostki tekstur, należy zapoznać się ze sposobem ich użycia. Jako że pojedynczy wielokąt będzie więcej niż jedną teksturą, trzeba zdefiniować dla niego także więcej niż jeden zestaw współrzędnych tekstury. Dla każdej jednostki tekstury należy więc dysponować osobnym zbiorem współrzędnych tekstury i zastosować je dla każdego wierzchołka z osobna. Aby określić współrzędne tekstury dwuwymiarowej można zastosować funkcję `glMultiTexCoord2fARB()` zdefiniowaną w następujący sposób:

```
void glMultiTexCoord2fARB(GLenum texUnit, float coords);
```

Inne wersje tej funkcji umożliwiają określenie współrzędnych tekstu jedno-, trój- oraz czterowymiarowych także za pomocą wartości innych typów niż `float`. Na przykład funkcja `glMultiTexCoord3dARB()` pozwala określić współrzędne tekstury trójwymiarowej za pomocą wartości typu `double`. Korzystając z tych funkcji należy podać najpierw jednostkę tekstury, a następnie jej współrzędne. Oto przykład:

```
glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 0.0f, 0.0f);
```

Powyższe wywołanie funkcji nadaje bieżącemu wierzchołkowi współrzędne (`0.0`, `0.0`) pierwszej jednostki tekstur. Podobnie jak w przypadku funkcji `glTexCoord2f()` trzeba

określić najpierw współrzędne wszystkich używanych jednostek tekstur, a dopiero potem zdefiniować wierzchołek. Ilustruje to poniższy fragment kodu:

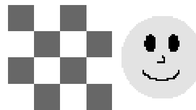
```
glBegin(GL_QUADS);
  // lewy, dolny wierzchołek
  glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 0.0f, 0.0f);
  glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 0.0f, 0.0f);
  glVertex3f(-5.0f, -5.0f, -5.0f);

  // prawy, dolny wierzchołek
  glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 1.0f, 0.0f);
  glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 1.0f, 0.0f);
  glVertex3f(5.0f, -5.0f, -5.0f);

  // prawy, górny wierzchołek
  glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 1.0f, 1.0f);
  glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 1.0f, 1.0f);
  glVertex3f(5.0f, 5.0f, -5.0f);

  // lewy, górny wierzchołek
  glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 0.0f, 1.0f);
  glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 0.0f, 1.0f);
  glVertex3f(-5.0f, 5.0f, -5.0f);
glEnd();
```

Fragment ten rysuje kwadrat pokryty dwiema teksturami. Dla każdego wierzchołka definiuje współrzędne obu tekstur.

Należy pamiętać, że przy stosowaniu tekstur wielokrotnych funkcja `glTexCoord2f()` pozwala na zdefiniowanie współrzędnych tekstury tylko dla pierwszej jednostki tekstury. W takim przypadku wywołanie funkcji `glTexCoord2f()` jest więc równoważne wywołaniu `glMultiTexCoord2f(GL_TEXTURE0_ARB, ...)`.

Przykład zastosowania tekstur wielokrotnych

Teraz analizie zostanie poddany kompletny przykład programu, który pokrywa sześcian dwiema teksturami pokazanymi na rysunku 9.2.



Rysunek 9.2. *Dwie tekstury, którymi pokryty zostanie sześcian*

A oto pierwszy fragment kodu programu:

```
////// Definicje
#define BITMAP_ID 0x4D42          // identyfikator formatu BMP
#define PI 3.14195

////// Includes
#include <windows.h>              // standardowy plik nagłówkowy Windows
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
```

```
#include <gl/gl.h>                  // standardowy plik nagłówkowy OpenGL
#include <gl/glu.h>                 // plik nagłówkowy biblioteki GLU
#include "glext.h"                  // plik nagłówkowy rozszerzeń OpenGL

////// Typy
typedef struct
{
  int width;                        // szerokość tekstury
  int height;                       // wysokość tekstury
  unsigned int texID;               // obiekt tekstury
  unsigned char *data;              // dane tekstury
} texture_t;

////// Zmienne globalne
HDC g_HDC;                          // globalny kontekst urządzenia
bool fullScreen = false;            // true = tryb pełnoekranowy
                                    // false = tryb okienkowy
bool keyPressed[256];               // tablica przyciśnięć klawiszy
float angle = 0.0f;                 // kąt obrotu
float radians = 0.0f;               // kąt obrotu kamery w radianach

////// Zmienne myszy i kamery
int mouseX, mouseY;                 // współrzędne myszy
float cameraX, cameraY, cameraZ;    // współrzędne kamery
float lookX, lookY, lookZ;          // punkt wycelowania kamery

////// Zmienne tekstur
texture_t *smileTex;
texture_t *checkerTex;

////// Zmienne związane z teksturami wielokrotnymi
PFNGLMULTITEXCOORD2FARBPROC glMultiTexCoord2fARB = NULL;
PFNGLACTIVETEXTUREARBPROC   glActiveTextureARB = NULL;
PFNGLCLIENTACTIVETEXTUREARBPROC glClientActiveTextureARB = NULL;
int maxTextureUnits = 0;            // dopuszczalna liczba jednostek tekstur
```

Plik nagłówkowy *glext.h* należy dołączać wtedy, gdy korzysta się z jakichkolwiek rozszerzeń OpenGL zatwierdzonych przez ARB. Plik ten zawiera definicje wszystkich rozszerzeń. Jego kopia umieszczona została także na dysku CD.

Powyższy fragment kodu prezentuje także sposób wykorzystania struktur do przechowywania informacji o teksturze i jej danych. Typ `texture_t` umożliwia zapamiętanie obiektu tekstury, jej szerokości i wysokości oraz danych. Upraszcza to proces ładowania i stosowania tekstur w OpenGL.

Omawiany program będzie umożliwiać sterowanie kamerą OpenGL w podobny sposób do programu prezentującego rzeźbę terenu, który przedstawiony został w rozdziale 8. Gdy mysz będzie poruszać się poziomo, sześcian będzie obracany wokół osi y. Natomiast przy wykonywaniu pionowych ruchów myszą, można spowodować oddalanie się bądź przybliżanie kamery do sześcianu.

Pierwszą z funkcji, którą definiuje program, jest omówiona już wcześniej funkcja `InStr()`. Zwraca ona wartość `true`, jeśli łańcuch `searchStr` zostanie odnaleziony wewnątrz łańcucha `str`, który zawiera wiele nazw oddzielonych znakami spacji.

```
bool InStr(char *searchStr, char *str)
{
  char *endOfStr;// wskaźnik ostatniego znaku łańcucha
  int idx = 0;

  endOfStr = str + strlen(str);// ostatni znak łańcucha

  // pętla wykonywana aż do osiągnięcia końca łańcucha
  while (str < endOfStr)
  {
    // odnajduje położenie kolejnego znaku spacji
    idx = strcspn(str, " ");

    // sprawdza, czy str wskazuje poszukiwaną nazwę
    if ( (strlen(searchStr) == idx) && (strncmp(searchStr, str, idx) == 0))
    {
      return true;
    }

    // nie jest to poszukiwana nazwa, przesuwamy wskaźnik do kolejnej nazwy
    str += (idx + 1);
  }
  return false;
}
```

W celu umożliwienia korzystania z tekstur wielokrotnych program definiuje funkcję `InitMultiTex()`, która sprawdza, czy dostępne jest rozszerzenie o nazwie `"GL_ARB_multitexture"`, a ponadto pozyskuje wskaźniki funkcji rozszerzeń. Funkcja `InitMultiTex()` zwraca wartość `false`, jeśli tworzenie tekstur wielokrotnych nie jest dostępne.

```
bool InitMultiTex()
{
  char *extensionStr;// lista dostępnych rozszerzeń

  extensionStr = (char*)glGetString(GL_EXTENSIONS);

  if (extensionStr == NULL)
    return false;

  if (InStr("GL_ARB_multitexture", extensionStr))
  {
    // zwraca dopuszczalną liczbę jednostek tekstur
    glGetIntegerv(GL_MAX_TEXTURE_UNITS_ARB, &maxTextureUnits);

    // pobiera adresy funkcji rozszerzeń
    glMultiTexCoord2fARB =     (PFNGLMULTITEXCOORD2FARBPROC)
                               wglGetProcAddress("glMultiTexCoord2fARB");
    glActiveTextureARB =       (PFNGLACTIVETEXTUREARBPROC)
                               wglGetProcAddress("glActiveTextureARB");
    glClientActiveTextureARB = (PFNGLCLIENTACTIVETEXTUREARBPROC)
                               wglGetProcAddress("glClientActiveTextureARB");

    return true;
  }
  else
    return false;
}
```

Kolejna funkcja, `LoadTextureFile()`, ładuje pojedynczą teksturę i umieszcza jej opis w strukturze typu `texture_t` i zwraca wskaźnik tej struktury. Parametrem funkcji `LoadTextureFile()` jest nazwa pliku. W celu załadowania jego zawartości wywołuje ona funkcję `LoadBitmapFile()` i umieszcza informacje o załadowanym obrazie w strukturze typu `texture_t`. Funkcja `LoadTextureFile()` tworzy także obiekt tekstury.

```
texture_t *LoadTextureFile(char *filename)
{
  BITMAPINFOHEADER texInfo;
  texture_t *thisTexture;

  // przydziela pamięć strukturze typu texture_t
  thisTexture = (texture_t*)malloc(sizeof(texture_t));
  if (thisTexture == NULL)
    return NULL;

  // ładuje obraz tekstury i sprawdza poprawne wykonanie tej operacji
  thisTexture->data = LoadBitmapFile(filename, &texInfo);
  if (thisTexture->data == NULL)
  {
    free(thisTexture);
    return NULL;
  }

  // umieszcza informacje o szerokości i wysokości tekstury
  thisTexture->width = texInfo.biWidth;
  thisTexture->height = texInfo.biHeight;

  // tworzy obiekt tekstury
  glGenTextures(1, &thisTexture->texID);

  return thisTexture;
}
```

Jako że opanowana już została umiejętność ładowania tekstury, można zapoznać się z kolejną funkcją, która może załadować wszystkie tekstury używane w programie i skonfigurować je tak, by możliwe było ich wykorzystanie do tworzenia tekstur wielokrotnych. Funkcja `LoadAllTextures()` ładuje wszystkie tekstury, określa ich parametry, tworzy mipmapy i wiąże obiekty tekstur z jednostkami tekstur.

```
bool LoadAllTextures()
{
  // ładuje pierwszą teksturę
  smileTex = LoadTextureFile("smile.bmp");
  if (smileTex == NULL)
    return false;

  // ładuje drugą teksturę
  checkerTex = LoadTextureFile("chess.bmp");
  if (checkerTex == NULL)
    return false;

  // tworzy mipmapy z filtrowaniem liniowym dla pierwszej tekstury
  glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, smileTex->texID);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
```

```
  glTexEnvi(GL_TEXTURE_ENV, GL_TEXTURE_ENV_MODE, GL_REPLACE);
  gluBuild2DMipmaps(GL_TEXTURE_2D, GL_RGB, smileTex->width, smileTex->height,
    GL_RGB, GL_UNSIGNED_BYTE, smileTex->data);

  // tworzy mipmapy z filtrowaniem liniowym dla drugiej tekstury
  glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, checkerTex->texID);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_REPEAT);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_REPEAT);
  glTexEnvi(GL_TEXTURE_ENV, GL_TEXTURE_ENV_MODE, GL_MODULATE);
  gluBuild2DMipmaps(GL_TEXTURE_2D, GL_RGB, checkerTex->width, checkerTex->height,
    GL_RGB, GL_UNSIGNED_BYTE, checkerTex->data);

  // wybiera pierwszą jednostkę tekstury
  glActiveTextureARB(GL_TEXTURE0_ARB);
  glEnable(GL_TEXTURE_2D);
  glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, smileTex->texID); // wiąże jednostkę z pierwszą teksturą

  // wybiera drugą jednostkę tekstury
  glActiveTextureARB(GL_TEXTURE1_ARB);
  glEnable(GL_TEXTURE_2D);
  glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, checkerTex->texID); // wiąże jednostkę z drugą teksturą

  return true;
}
```

Funkcja `Initialize()` inicjuje dane programu:

```
void Initialize()
{
  glClearColor(0.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f);  // tło w czarnym kolorze

  glShadeModel(GL_SMOOTH);               // cieniowanie gładkie
  glEnable(GL_DEPTH_TEST);               // usuwanie ukrytych powierzchni
  glEnable(GL_CULL_FACE);   // brak obliczeń dla niewidocznych stron wielokątów
  glFrontFace(GL_CCW);      // niewidoczne strony posiadają porządek wierzchołków
                            // przeciwny do kierunku ruchu wskazówek zegara

  glEnable(GL_TEXTURE_2D);  // włącza tekstury dwuwymiarowe

  InitMultiTex();

  LoadAllTextures();
}
```

Sześcian narysować można za pomocą rozbudowanej wersji funkcji `DrawCube()` znanej z poprzednich przykładów. Będzie ona korzystać z funkcji `glMultiTexCoord2f()` w miejsce funkcji `glTexCoord2f()` w celu zdefiniowania współrzędnych jednostek tekstur dla każdego wierzchołka sześcianu:

```
void DrawCube(float xPos, float yPos, float zPos)
{
  glPushMatrix();
    glTranslatef(xPos, yPos, zPos);
    glBegin(GL_QUADS);
      glNormal3f(0.0f, 1.0f, 0.0f);        // górna ściana
```

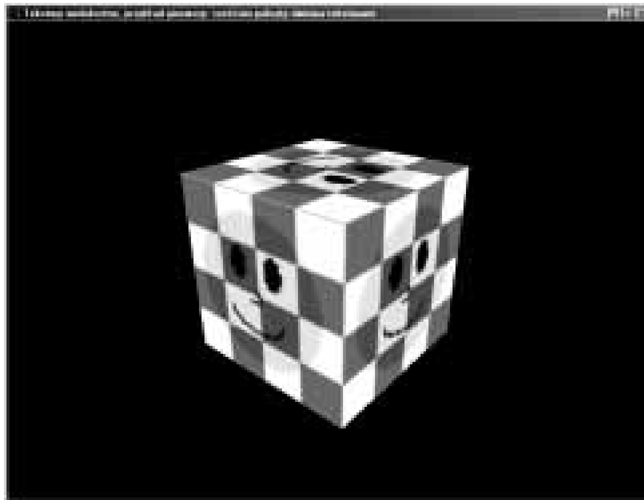
```
    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 1.0f, 0.0f);
    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 1.0f, 0.0f);
    glVertex3f(0.5f, 0.5f, 0.5f);

    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 1.0f, 1.0f);
    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 1.0f, 1.0f);
    glVertex3f(0.5f, 0.5f, -0.5f);

    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 0.0f, 1.0f);
    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 0.0f, 1.0f);
    glVertex3f(-0.5f, 0.5f, -0.5f);

    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 0.0f, 0.0f);
    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 0.0f, 0.0f);
    glVertex3f(-0.5f, 0.5f, 0.5f);
  glEnd();
  glBegin(GL_QUADS);
    glNormal3f(0.0f, 0.0f, 1.0f);        // przednia ściana

    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 1.0f, 1.0f);
    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 1.0f, 1.0f);
    glVertex3f(0.5f, 0.5f, 0.5f);

    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 0.0f, 1.0f);
    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 0.0f, 1.0f);
    glVertex3f(-0.5f, 0.5f, 0.5f);

    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 0.0f, 0.0f);
    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 0.0f, 0.0f);
    glVertex3f(-0.5f, -0.5f, 0.5f);

    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 1.0f, 0.0f);
    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 1.0f, 0.0f);
    glVertex3f(0.5f, -0.5f, 0.5f);
  glEnd();
  glBegin(GL_QUADS);
    glNormal3f(1.0f, 0.0f, 0.0f);        // prawa ściana

    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 0.0f, 1.0f);
    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 0.0f, 1.0f);
    glVertex3f(0.5f, 0.5f, 0.5f);

    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 0.0f, 0.0f);
    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 0.0f, 0.0f);
    glVertex3f(0.5f, -0.5f, 0.5f);

    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 1.0f, 0.0f);
    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 1.0f, 0.0f);
    glVertex3f(0.5f, -0.5f, -0.5f);

    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 1.0f, 1.0f);
    glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 1.0f, 1.0f);
    glVertex3f(0.5f, 0.5f, -0.5f);
  glEnd();
  glBegin(GL_QUADS);
    glNormal3f(-1.0f, 0.0f, 0.0f);       // lewa ściana
```

```
      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 1.0f, 1.0f);
      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 1.0f, 1.0f);
      glVertex3f(-0.5f, 0.5f, 0.5f);

      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 0.0f, 1.0f);
      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 0.0f, 1.0f);
      glVertex3f(-0.5f, 0.5f, -0.5f);

      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 0.0f, 0.0f);
      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 0.0f, 0.0f);
      glVertex3f(-0.5f, -0.5f, -0.5f);

      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 1.0f, 0.0f);
      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 1.0f, 0.0f);
      glVertex3f(-0.5f, -0.5f, 0.5f);
    glEnd();
    glBegin(GL_QUADS);
      glNormal3f(0.0f, -1.0f, 0.0f);       // dolna ściana

      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 1.0f, 0.0f);
      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 1.0f, 0.0f);
      glVertex3f(-0.5f, -0.5f, 0.5f);

      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 1.0f, 1.0f);
      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 1.0f, 1.0f);
      glVertex3f(-0.5f, -0.5f, -0.5f);

      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 0.0f, 1.0f);
      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 0.0f, 1.0f);
      glVertex3f(0.5f, -0.5f, -0.5f);

      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 0.0f, 0.0f);
      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 0.0f, 0.0f);
      glVertex3f(0.5f, -0.5f, 0.5f);
    glEnd();
    glBegin(GL_QUADS);
      glNormal3f(0.0f, 0.0f, -1.0f);       // tylna ściana

      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 0.0f, 0.0f);
      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 0.0f, 0.0f);
      glVertex3f(0.5f, -0.5f, -0.5f);

      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 1.0f, 0.0f);
      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 1.0f, 0.0f);
      glVertex3f(-0.5f, -0.5f, -0.5f);

      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 1.0f, 1.0f);
      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 1.0f, 1.0f);
      glVertex3f(-0.5f, 0.5f, -0.5f);

      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB, 0.0f, 1.0f);
      glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE1_ARB, 0.0f, 1.0f);
      glVertex3f(0.5f, 0.5f, -0.5f);
    glEnd();
  glPopMatrix();
}
```

Większość kodu funkcji Render() znana jest z poprzednich przykładów. Określa ona położenie kamery i rysuje sześcian.

```
void Render()
{
  radians =  float(PI*(angle-90.0f)/180.0f);

  // wyznacza położenie kamery
  cameraX = lookX + sin(radians)*mouseY;
  cameraZ = lookZ + cos(radians)*mouseY;
  cameraY = lookY + mouseY / 2.0f;

  // wycelowuje kamerę w punkt (0,0,0)
  lookX = 0.0f;
  lookY = 0.0f;
  lookZ = 0.0f;

  // opróżnia bufory ekranu i głębi
  glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
  glLoadIdentity();

  // umieszcza kamerę
  gluLookAt(cameraX, cameraY, cameraZ, lookX, lookY, lookZ, 0.0, 1.0, 0.0);

  // skaluje sześcian do rozmiarów 15x15x15
  glScalef(15.0f, 15.0f, 15.0f);

  // rysuje sześcian o środku w punkcie (0,0,0)
  DrawCube(0.0f, 0.0f, 0.0f);

  SwapBuffers(g_HDC);              // przełącza bufory
}
```

Po umieszczeniu omówionych funkcji w szkielecie standardowej aplikacji systemu Windows uzyskany zostanie program, którego działanie ilustruje rysunek 9.3.



Rysunek 9.3. *Przykład zastosowania tekstury wielokrotnej*

Tekstury wielokrotne mogą być źródłem doskonałych efektów i dlatego z pewnością warto z nimi poeksperymentować trochę więcej. Pora jednak na omówienie kolejnego doskonałego narzędzia tworzenia zaawansowanych efektów graficznych: odwzorowania otoczenia.

Odwzorowanie otoczenia

Odwzorowanie otoczenia polega na stworzeniu obiektu, którego powierzchnia wydaje się odbiciem jego otoczenia. Na przykład doskonale wypolerowana srebrna kula odbijać będzie na swojej powierzchni elementy otaczającego ją świata. Właśnie taki efekt można uzyskać stosując odwzorowanie otoczenia. W tym celu nie trzeba jednak wcale tworzyć obrazu odbicia otoczenia na powierzchni efektu. W OpenGL wystarczy jedynie utworzyć teksturę reprezentującą otoczenie obiektu, a OpenGL automatycznie wygeneruje odpowiednie współrzędne tekstury. Zmiana położenia obiektu wymaga wyznaczenia nowych współrzędnych tekstury, by można było uzyskać efekt odbicia zmieniającego się razem z poruszającym się obiektem.

Najlepszy efekt zastosowania odwzorowania otoczenia uzyskać można używając tekstur utworzonych za pomocą „rybiego oka". Zastosowanie takich tekstur nie jest absolutnie konieczne, ale znacznie zwiększa realizm odwzorowania otoczenia. Współrzędne tekstury *można* też obliczać indywidualnie, jednak zmniejsza to zwykle efektywność tworzenia grafiki.

Aby skorzystać w OpenGL z możliwości odwzorowania otoczenia, niezbędny jest poniższy fragment kodu:

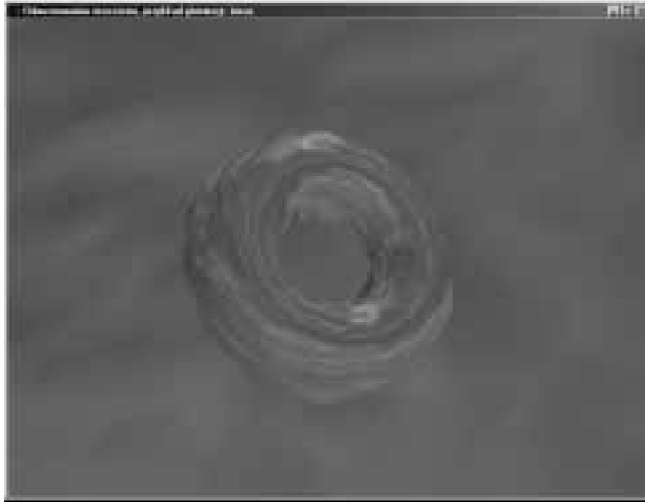
```
glTexGenf(GL_S, GL_TEXTURE_GEN_MODE, GL_SPHERE_MAP);
glTexGenf(GL_T, GL_TEXTURE_GEN_MODE, GL_SPHERE_MAP);
glEnable(GL_TEXTURE_GEN_S);
glEnable(GL_TEXTURE_GEN_T);
// następnie wybiera teksturę otoczenia i rysuje obiekt
```

I to wszystko! Teraz należy przeanalizować przykład zastosowania możliwości odwzorowania otoczenia.

Torus na niebie

Omówiony teraz zostanie przykład zastosowania możliwości odwzorowania otoczenia w programie, który rysować będzie torus pokryty teksturą otoczenia. Rysunek 9.4 przedstawia końcowy efekt działania programu.

Teksturę otoczenia utworzyć można na podstawie tekstury nieba, do której zastosowany zostanie efekt rybiego oka za pomocą dowolnego edytora obrazów dysponującego taką możliwością. Rysunek 9.5 przedstawia otrzymaną teksturę otoczenia.



Rysunek 9.4. *Torus pokryty teksturą otoczenia*

Rysunek 9.5. *Tekstura otoczenia uzyskana na podstawie tekstury nieba*

Teraz należy przyjrzeć się kodowi programu. Poniżej przedstawione zostały jego fragmenty związane z tworzeniem tekstur i rysowaniem grafiki:

```
typedef struct
{
  int width;                    // szerokość tekstury
  int height;                   // wysokość tekstury
  unsigned int texID;           // obiekt tekstury
  unsigned char *data;          // dane tekstury
} texture_t;
...
float angle = 0.0f;             // kąt obrotu torusa
texture_t *envTex;              // tekstura otoczenia
texture_t *skyTex;              // tekstura nieba
...

bool LoadAllTextures()
{
  // ładuje obraz tekstury otoczenia
  envTex = LoadTextureFile("sky-sphere.bmp");
  if (envTex == NULL)
    return false;

  skyTex = LoadTextureFile("sky.bmp");
  if (skyTex == NULL)
    return false;
```

```
  // tworzy mipmapy z filtrowaniem liniowym dla tekstury otoczenia
  glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, envTex->texID);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_REPEAT);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_REPEAT);
  gluBuild2DMipmaps(GL_TEXTURE_2D, GL_RGB, envTex->width, envTex->height,
    GL_RGB, GL_UNSIGNED_BYTE, envTex->data);

  // tworzy mipmapy z filtrowaniem liniowym dla tekstury nieba
  glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, skyTex->texID);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_REPEAT);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_REPEAT);
  gluBuild2DMipmaps(GL_TEXTURE_2D, GL_RGB, skyTex->width, skyTex->height,
    GL_RGB, GL_UNSIGNED_BYTE, skyTex->data);

  return true;
}
...
void Render()
{
  // zwiększa kąt obrotu
  if (angle > 360.0f)
    angle = 0.0f;

  angle = angle + 0.2f;

  // opróżnia bufory ekranu i głębi
  glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
  glLoadIdentity();

  glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, skyTex->texID);
  glBegin(GL_QUADS);
    glTexCoord2f(0.0f, 0.0f);
    glVertex3f(-200.0f, -200.0f, -120.0f);
    glTexCoord2f(1.0f, 0.0f);
    glVertex3f(200.0f, -200.0f, -120.0f);
    glTexCoord2f(1.0f, 1.0f);
    glVertex3f(200.0f, 200.0f, -120.0f);
    glTexCoord2f(0.0f, 1.0f);
    glVertex3f(-200.0f, 200.0f, -120.0f);
  glEnd();

  // odsuwa obiekt i obraca go względem wszystkich osi układu współrzędnych
  glTranslatef(0.0f, 0.0f, -100.0f);
  glRotatef(angle, 1.0f, 0.0f, 0.0f);
  glRotatef(angle, 0.0f, 1.0f, 0.0f);
  glRotatef(angle, 0.0f, 0.0f, 1.0f);

  // konfiguruje odwzorowanie otoczenia
  glTexGenf(GL_S, GL_TEXTURE_GEN_MODE, GL_SPHERE_MAP);
  glTexGenf(GL_T, GL_TEXTURE_GEN_MODE, GL_SPHERE_MAP);
  glEnable(GL_TEXTURE_GEN_S);
  glEnable(GL_TEXTURE_GEN_T);
```

```
    // wybiera teksturę otoczenia
    glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, envTex->texID);

    // rysuje torus o promieniu wewnętrznym równym 10 jednostek
    // i promieniu zewnętrznym 20 jednostek
    auxSolidTorus(10.0f, 20.0f);

    glFlush();
    SwapBuffers(g_HDC);// przełącza bufory
}
```

Jak łatwo zauważyć, stosowanie odwzorowania otoczenia w OpenGL jest niezwykle proste, o ile pozwoli się maszynie OpenGL automatycznie wyznaczać współrzędne tekstury. Współrzędne te można obliczać indywidualnie, aby uzyskać inne efekty specjalne, ale zagadnienie to nie będzie tutaj omawiane.

Macierze tekstur

W rozdziale 5. omówione zostały sposoby wykonywania przekształceń wierzchołków, takich jak przesunięcie, obrót i skalowanie za pomocą macierzy modelowania. Przedstawiona została także koncepcja stosu macierzy umożliwiająca hierarchiczne tworzenie grafiki.

Takie same możliwości w przypadku tekstur OpenGL udostępnia za pomocą macierzy tekstur i *stosu macierzy tekstur*. Na przykład funkcję `glTranslatef()` można zastosować do przesunięcia tekstury na odpowiednią powierzchnię. Podobnie funkcję `glRotatef()` można wykorzystać do obrotu układu współrzędnych tekstury i uzyskać w efekcie obrót tekstury. Gra „American McGee's Alice" firmy Electronic Arts and Rogue Entertainment jest najlepszym przykładem niezwykłych efektów, jakie można osiągnąć poprzez manipulacje macierzą tekstur.

Wykonywanie operacji na macierzach tekstur jest bardzo łatwe. Stosuje się w tym celu udostępniane przez OpenGL funkcje `glMultMatrix()`, `glPushMatrix()`, `glPopMatrix()` oraz funkcje przekształceń. Najpierw jednak trzeba poinformować maszynę OpenGL, że wykonywane będą operacje na macierzy tekstur:

```
glMatrixMode(GL_TEXTURE);
```

Od tego momentu na macierzy tekstur i stosie macierzy tekstur można wykonywać dowolne operacje. Po ich zakończeniu należy polecić maszynie OpenGL powrót do macierzy modelowania, aby zamiast tekstur przekształcać obiekty.

Poniżej zaprezentowany został fragment kodu ilustrujący sposób wykonywania obrotu tekstury:

```
// opróżnia bufory ekranu i głębi
glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
glLoadIdentity();
// wybiera tryb operacji na macierzy tekstur
glMatrixMode(GL_TEXTURE);
glLoadIdentity();
```

```
glRotatef(angle, 0.0f, 0.0f, 1.0f);  // obraca teksturę
// przywraca tryb operacji na macierzy modelowania
glMatrixMode(GL_MODELVIEW);

glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, texID); // wybiera teksturę

// rysuje czworokąt pokryty teksturą
glBegin(GL_QUADS);
  glTexCoord2f(0.0f, 0.0f);
  glVertex3f(-20.0f, -20.0f, -40.0f);
  glTexCoord2f(1.0f, 0.0f);
  glVertex3f(20.0f, -20.0f, -40.0f);
  glTexCoord2f(1.0f, 1.0f);
  glVertex3f(20.0f, 20.0f, -40.0f);
  glTexCoord2f(0.0f, 1.0f);
  glVertex3f(-20.0f, 20.0f, -40.0f);
glEnd();
```

Kod ten wybiera najpierw macierz tekstury jako bieżącą macierz. Następnie ładuje do niej macierz jednostkową, zanim zastosuje do bieżącej macierzy funkcję obrotu `glRotatef()`. Na skutek jej użycia tekstura zostaje obrócona o pewien kąt względem osi z. Po wykonaniu obrotu wybiera macierz modelowania jako bieżącą macierz i rysuje czworokąt pokryty obróconą teksturą. Proste, prawda?

Gdyby po czworokącie zostały narysowane kolejne obiekty, to także zostałyby one pokryte obróconą teksturą. Rozwiązanie tego problemu zaprezentowane zostało poniżej:

```
// opróżnia bufory ekranu i głębi
glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
glLoadIdentity();
// wybiera tryb operacji na macierzy tekstur
glMatrixMode(GL_TEXTURE);
glLoadIdentity();
glRotatef(angle, 0.0f, 0.0f, 1.0f);  // obraca teksturę
// przywraca tryb operacji na macierzy modelowania
glMatrixMode(GL_MODELVIEW);

glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, texID); // wybiera teksturę

// rysuje czworokąt pokryty teksturą
glBegin(GL_QUADS);
  glTexCoord2f(0.0f, 0.0f);
  glVertex3f(-20.0f, -20.0f, -40.0f);
  glTexCoord2f(1.0f, 0.0f);
  glVertex3f(20.0f, -20.0f, -40.0f);
  glTexCoord2f(1.0f, 1.0f);
  glVertex3f(20.0f, 20.0f, -40.0f);
  glTexCoord2f(0.0f, 1.0f);
  glVertex3f(-20.0f, 20.0f, -40.0f);
glEnd();

// resetuje macierz tekstur dla następnych obiektów
glMatrixMode(GL_TEXTURE);
glLoadIdentity();
glMatrixMode(GL_MODELVIEW);

// rysuje następne obiekty
...
```

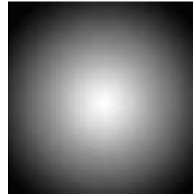
Wystarczy jedynie załadować macierz jednostkową do macierzy tekstur, aby wykonane przekształcenia tekstury nie miały wpływu na sposób rysowania tekstur na kolejnych obiektach. Warto wypróbować różne przekształcenia tekstur i uzyskać nowe, ciekawe efekty, które można będzie zastosować w grach.

Mapy oświetlenia

Zadaniem *map oświetlenia* jest symulacja statycznego oświetlenia powierzchni. Mapa oświetlenia jest teksturą, która opisuje sposób oświetlenia powierzchni. Mapy oświetlenia znajdują coraz powszechniejsze zastosowanie dzięki wprowadzeniu sprzętowej obsługi tekstur wielokrotnych. Choć mapy oświetlenia stosowane są głównie w celu uzyskania efektu statycznego oświetlenia, można je wykorzystać także do tworzenia cieni.

Rysunek 9.6 przedstawia mapę oświetlenia symulującą efekt strumienia światłą padającego na powierzchnię pod kątem prostym. Jeśli pokryty nią zostanie wielokąt, to uzyskany zostanie efekt oświetlenia strumieniem światła prostopadłym do jego powierzchni.

Rysunek 9.6.
Przykład mapy oświetlenia

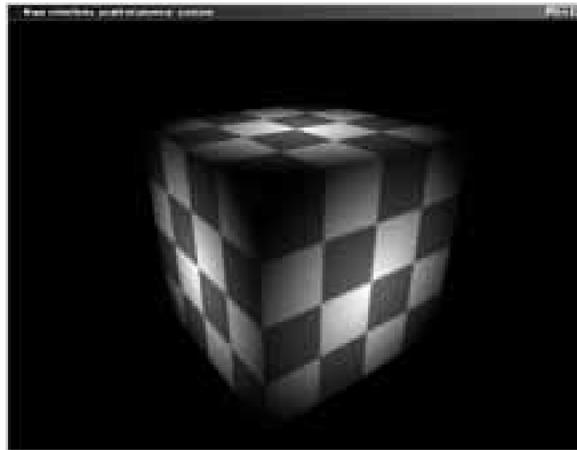


Mapy oświetlenia są teksturami wykorzystującymi jedynie odcienie szarości. Aby uzyskać efekt oświetlenia, mapę taką należy połączyć z teksturą pokrywającą wielokąt.

Stosowanie map oświetlenia

Mapę oświetlenia stosuje się na przykład do uzyskania efektu oświetlenia sześcianu pokrytego teksturą szachownicy. Trzeba nałożyć ją na każdą ze ścian sześcianu, by uzyskać efekt pokazany na rysunku 9.7.

Rysunek 9.7.
Zastosowanie mapy oświetlenia



Ładując mapę oświetlenia z pliku należy zadbać o to, by jej piksele opisane były za pomocą odcieni szarości. Poniżej zamieszczona została zmodyfikowana wersja funkcji `LoadBitmapFile()` ładującej mapę oświetlenia z 24-bitowego pliku *BMP* jako obraz w odcieniach szarości:

```
unsigned char *LoadGrayBitmap(char *filename, BITMAPINFOHEADER *bitmapInfoHeader)
{
  FILE *filePtr;                    // wskaźnik pozycji pliku
  BITMAPFILEHEADERbitmapFileHeader; // nagłówek pliku
  unsigned char*bitmapImage;        // dane obrazu
  intimageIdx = 0;                  // licznik pikseli
  unsigned chartempRGB;             // zmienna zamiany składowych

  unsigned char      *grayImage;    // obraz w odcieniach szarości
  int                grayIdx;       // licznik pikseli w odcieniach szarości

  // otwiera plik w trybie "read binary"
  filePtr = fopen(filename, "rb");
  if (filePtr == NULL)
    return NULL;

  // wczytuje nagłówek pliku
  fread(&bitmapFileHeader, sizeof(BITMAPFILEHEADER), 1, filePtr);

  // sprawdza, czy jest to plik formatu BMP
  if (bitmapFileHeader.bfType != BITMAP_ID)
  {
    fclose(filePtr);
    return NULL;
  }

  // wczytuje nagłówek obrazu
  fread(bitmapInfoHeader, sizeof(BITMAPINFOHEADER), 1, filePtr);

  // ustawia wskaźnik pozycji pliku na początku danych obrazu
  fseek(filePtr, bitmapFileHeader.bfOffBits, SEEK_SET);

  // przydziela pamięć buforowi obrazu
  bitmapImage = (unsigned char*)malloc(bitmapInfoHeader->biSizeImage);


  // przydziela pamięć potrzebną do przechowania obrazu
  // w odcieniach szarości,
  // trzy razy mniejszą niż rozmiar obrazu RGB

  grayImage = (unsigned char*)malloc(bitmapInfoHeader->biSizeImage / 3);

  // sprawdza, czy udało się przydzielić pamięć
  if (!bitmapImage)
  {
    free(bitmapImage);
    fclose(filePtr);
    return NULL;
  }

  // wczytuje dane obrazu
  fread(bitmapImage, 1, bitmapInfoHeader->biSizeImage, filePtr);
```

```
  // sprawdza, czy dane zostały wczytane
  if (bitmapImage == NULL)
  {
    fclose(filePtr);
    return NULL;
  }

  grayIdx = 0;
  for (imageIdx = 0; imageIdx < bitmapInfoHeader->biSizeImage; imageIdx+=3)
  {
    grayImage[grayIdx] = bitmapImage[imageIdx];
    grayIdx++;
  }

  free(bitmapImage);
  // zamyka plik i zwraca wskaźnik bufora zawierającego wczytany obraz
  fclose(filePtr);
  return grayImage;
}
```

Po załadowaniu mapy oświetlenia można posługiwać się nią jak zwykłą teksturą z jedną różnicą: format jej trzeba zawsze definiować jako `GL_LUMINANCE`, a nie jako `GL_RGB`. A oto przykład:

```
// mapa oświetlenia jako mipmapa
gluBuild2DMipmaps(GL_TEXTURE_2D, GL_LUMINANCE, width, height, GL_LUMINANCE,
  GL_UNSIGNED_BYTE, lightmapData);
// lub pojedyncza tekstura
glTexImage2D (GL_TEXTURE_2D, 0, GL_LUMINANCE, width, height, 0, GL_LUMINANCE,
  GL_UNSIGNED_BYTE, lightmapData);
```

Aby zastosować mapę oświetlenia, należy posłużyć się mechanizmem tekstur wielokrotnych i włączyć tryb nakładania tekstury `GL_MODULATE`. Trzeba zatem przyjrzeć się najistotniejszym fragmentom kodu tego programu:

```
typedef struct
{
  int width;                    // szerokość tekstury
  int height;                   // wysokość tekstury
  unsigned int texID;           // obiekt tekstury
  unsigned char *data;          // dane tekstury
} texture_t;

// tekstury
texture_t *checkerTex;          // mapa oświetlenia
texture_t *lightmapTex;         // tekstura szachownicy

// funkcje tworzenia tekstur wielokrotnych
PFNGLMULTITEXCOORD2FARBPROC     glMultiTexCoord2fARB = NULL;
PFNGLACTIVETEXTUREARBPROC       glActiveTextureARB = NULL;
PFNGLCLIENTACTIVETEXTUREARBPROC glClientActiveTextureARB = NULL;
int maxTextureUnits = 0;

bool InitMultiTex()
{
  char *extensionStr;// lista dostępnych rozszerzeń
```

```
  extensionStr = (char*)glGetString(GL_EXTENSIONS);

  if (extensionStr == NULL)
    return false;

  if (strstr(extensionStr, "GL_ARB_multitexture"))
  {
    // pobiera dopuszczalną liczbę jednostek tekstur
    glGetIntegerv(GL_MAX_TEXTURE_UNITS_ARB, &maxTextureUnits);

    // pobiera adresy funkcji tworzenia tekstur wielokrotnych
    glMultiTexCoord2fARB =     (PFNGLMULTITEXCOORD2FARBPROC)
                                  wglGetProcAddress("glMultiTexCoord2fARB");
    glActiveTextureARB =       (PFNGLACTIVETEXTUREARBPROC)
                                  wglGetProcAddress("glActiveTextureARB");
    glClientActiveTextureARB = (PFNGLCLIENTACTIVETEXTUREARBPROC)
                                  wglGetProcAddress("glClientActiveTextureARB");

    return true;
  }
  else
    return false;
}
```

Funkcja `InitMultiTex()` sprawdza dostępność mechanizmu tworzenia tekstur wielokrotnych dla danej implementacji OpenGL. Tym razem wykorzystuje ona funkcję `strstr()`, która zwraca wartość `NULL`, jeśli drugi z jej parametrów nie jest podłańcuchem pierwszego.

Kolejną z funkcji jest omówiona wcześniej funkcja ładowania mapy oświetlenia z pliku:

```
unsigned char *LoadGrayBitmap(char *filename, BITMAPINFOHEADER *bitmapInfoHeader)
{
  FILE *filePtr;                      // wskaźnik pozycji pliku
  BITMAPFILEHEADERbitmapFileHeader;   // nagłówek pliku
  unsigned char*bitmapImage;          // dane obrazu
  intimageIdx = 0;                    // licznik pikseli
  unsigned chartempRGB;               // zmienna zamiany składowych

  unsigned char      *grayImage;      // obraz w odcieniach szarości
  int                grayIdx;         // licznik pikseli w odcieniach szarości

  // otwiera plik w trybie "read binary"
  filePtr = fopen(filename, "rb");
  if (filePtr == NULL)
    return NULL;

  // wczytuje nagłówek pliku
  fread(&bitmapFileHeader, sizeof(BITMAPFILEHEADER), 1, filePtr);

  // sprawdza, czy jest to plik formatu BMP
  if (bitmapFileHeader.bfType != BITMAP_ID)
  {
    fclose(filePtr);
    return NULL;
  }
```

```
  // wczytuje nagłówek obrazu
  fread(bitmapInfoHeader, sizeof(BITMAPINFOHEADER), 1, filePtr);

  // ustawia wskaźnik pozycji pliku na początku danych obrazu
  fseek(filePtr, bitmapFileHeader.bfOffBits, SEEK_SET);

  // przydziela pamięć buforowi obrazu
  bitmapImage = (unsigned char*)malloc(bitmapInfoHeader->biSizeImage);


  // przydziela pamięć potrzebną do przechowania obrazu
  // w odcieniach szarości,
  // trzy razy mniejszą niż rozmiar obrazu RGB

  grayImage = (unsigned char*)malloc(bitmapInfoHeader->biSizeImage / 3);

  // sprawdza, czy udało się przydzielić pamięć
  if (!bitmapImage)
  {
    free(bitmapImage);
    fclose(filePtr);
    return NULL;
  }

  // wczytuje dane obrazu
  fread(bitmapImage, 1, bitmapInfoHeader->biSizeImage, filePtr);

  // sprawdza, czy dane zostały wczytane
  if (bitmapImage == NULL)
  {
    fclose(filePtr);
          return NULL;
  }

  grayIdx = 0;
  for (imageIdx = 0; imageIdx < bitmapInfoHeader->biSizeImage; imageIdx+=3)
  {
    grayImage[grayIdx] = bitmapImage[imageIdx];
    grayIdx++;
  }

  free(bitmapImage);
  // zamyka plik i zwraca wskaźnik bufora zawierającego wczytany obraz
  fclose(filePtr);
  return grayImage;
}
```

Następna funkcja, `LoadLightmap()`, przypomina funkcję `LoadTextureFile()` z poprzednich przykładów, ale korzysta z usług funkcji ładowania mapy oświetlenia `LoadGrayBitmap()`:

```
texture_t *LoadTextureFile(char *filename)
{
  BITMAPINFOHEADER texInfo;
  texture_t *thisTexture;
```

```
  // przydziela pamięć strukturze typu texture_t
  thisTexture = (texture_t*)malloc(sizeof(texture_t));
  if (thisTexture == NULL)
    return NULL;

  // ładuje obraz tekstury i sprawdza poprawne wykonanie tej operacji
  thisTexture->data = LoadGrayBitmap(filename, &texInfo);
  if (thisTexture->data == NULL)
  {
    free(thisTexture);
    return NULL;
  }

  // umieszcza informacje o szerokości i wysokości tekstury
  thisTexture->width = texInfo.biWidth;
  thisTexture->height = texInfo.biHeight;

  // tworzy obiekt tekstury
  glGenTextures(1, &thisTexture->texID);

  return thisTexture;
}
```

Również funkcja `LoadAllTextures()`**, która prezentowana jest poniżej, została zmodyfikowana pod kątem użycia mapy oświetlenia, dla której — w odróżnieniu od zwykłych tekstur — należy zastosować wartości** `GL_LUMINANCE` **i** `GL_MODULATE`:

```
bool LoadAllTextures()
{
  // ładuje teksturę szachownicy
  checkerTex = LoadTextureFile("chess.bmp");
  if (checkerTex == NULL)
    return false;

  // ładuje mapę oświetlenia
  lightmapTex = LoadLightmap("lmap.bmp");
  if (lightmapTex == NULL)
    return false;

  // tworzy teksturę szachownicy
  glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, checkerTex->texID);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_REPEAT);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_REPEAT);
  glTexEnvi(GL_TEXTURE_ENV, GL_TEXTURE_ENV_MODE, GL_REPLACE);
  gluBuild2DMipmaps(GL_TEXTURE_2D, GL_RGB, checkerTex->width, checkerTex->height,
    GL_RGB, GL_UNSIGNED_BYTE, checkerTex->data);

  // tworzy mapę oświetlenia
  glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, lightmapTex->texID);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
  glTexEnvi(GL_TEXTURE_ENV, GL_TEXTURE_ENV_MODE, GL_MODULATE);
  gluBuild2DMipmaps(GL_TEXTURE_2D, GL_LUMINANCE, lightmapTex->width,
    lightmapTex->height, GL_LUMINANCE, GL_UNSIGNED_BYTE, lightmapTex->data);
```

```
    // wybiera pierwszą jednostkę tekstury
    glActiveTextureARB(GL_TEXTURE0_ARB);
    glEnable(GL_TEXTURE_2D);
    glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, checkerTex->texID); // wiąże teksturę szachownicy

    // wybiera drugą jednostkę tekstury
    glActiveTextureARB(GL_TEXTURE1_ARB);
    glEnable(GL_TEXTURE_2D);
    glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, lightmapTex->texID); // wiąże mapę oświetlenia

    return true;
}
```

Pozostała część kodu jest identyczna z pierwszym przykładem programu tworzenia tekstur wielokrotnych.

Wieloprzebiegowe tekstury wielokrotne

Brak obsługi mechanizmu tekstur wielokrotnych przez konkretną implementację OpenGL nie oznacza, że nie można uzyskać takich efektów innym sposobem. Rozwiązanie polega na symulacji tekstur wielokrotnych za pomocą doboru odpowiednich funkcji łączenia i tworzeniu końcowego efektu w wielu przebiegach rysowania grafiki. Metoda ta jest zwykle wolniejsza od tekstur wielokrotnych, które coraz częściej obsługiwane są sprzętowo, ale umożliwia uzyskanie podobnych efektów.

Wieloprzebiegowe tworzenie sceny polega na odpowiedniej zmianie zawartości bufora głębi i trybów łączenia kolorów w kolejnych przebiegach. Aby uzyskać taki efekt jak w przypadku tekstur wielokrotnych, należy wykonać poniższy fragment kodu:

```
// pierwszy przebieg rysowania
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, tex1);
DrawTexturedCube(0.0f, 0.0f, 0.0f);

// drugi przebieg rysowania
glEnable(GL_BLEND);              // włącza łączenie kolorów
glDepthMask(GL_FALSE);           // wyłącza zapis do bufora głębi
glDepthFunc(GL_EQUAL);

glBlendFunc(GL_ZERO, GL_SRC_COLOR);

glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, checkerTex->texID);
DrawTexturedCube(0.0f, 0.0f, 0.0f);

// przywraca poprzedni stan maszyny OpenGL
glDepthMask(GL_TRUE);
glDepthFunc(GL_LESS);
glDisable(GL_BLEND);
```

Poprzez zmianę sposobu łączenia kolorów uzyskać można efekt tekstury wielokrotnej. Poniższe fragmenty kodu pokazują, w jaki sposób można uzyskać w wielu przebiegach taki sam efekt jak w przypadku pierwszego przykładu tekstur wielokrotnych:

```
bool LoadAllTextures()
{
  // ładuje obraz pierwszej tekstury
  smileTex = LoadTextureFile("smile.bmp");
  if (smileTex == NULL)
    return false;

  // ładuje obraz drugiej tekstury
  checkerTex = LoadTextureFile("chess.bmp");
  if (checkerTex == NULL)
    return false;

  // tworzy pierwszą teksturę
  glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, smileTex->texID);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
  glTexEnvi(GL_TEXTURE_ENV, GL_TEXTURE_ENV_MODE, GL_REPLACE);
  gluBuild2DMipmaps(GL_TEXTURE_2D, GL_RGB, smileTex->width, smileTex->height,
    GL_RGB, GL_UNSIGNED_BYTE, smileTex->data);

  // tworzy drugą teksturę
  glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, checkerTex->texID);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_REPEAT);
  glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_REPEAT);
  glTexEnvi(GL_TEXTURE_ENV, GL_TEXTURE_ENV_MODE, GL_MODULATE);
  gluBuild2DMipmaps(GL_TEXTURE_2D, GL_RGB, checkerTex->width, checkerTex->height,
    GL_RGB, GL_UNSIGNED_BYTE, checkerTex->data);

  return true;
}

void DrawTexturedCube(float xPos, float yPos, float zPos)
{
  glPushMatrix();
    glTranslatef(xPos, yPos, zPos);
    glBegin(GL_QUADS);
       glNormal3f(0.0f, 1.0f, 0.0f);       // górna ściana

       glTexCoord2f(1.0f, 0.0f);
       glVertex3f(0.5f, 0.5f, 0.5f);

       glTexCoord2f(1.0f, 1.0f);
       glVertex3f(0.5f, 0.5f, -0.5f);

       glTexCoord2f(0.0f, 1.0f);
       glVertex3f(-0.5f, 0.5f, -0.5f);

       glTexCoord2f(0.0f, 0.0f);
       glVertex3f(-0.5f, 0.5f, 0.5f);
     glEnd();
     glBegin(GL_QUADS);
       glNormal3f(0.0f, 0.0f, 1.0f);       // przednia ściana

       glTexCoord2f(1.0f, 1.0f);
       glVertex3f(0.5f, 0.5f, 0.5f);
```

```
    glTexCoord2f(0.0f, 1.0f);
    glVertex3f(-0.5f, 0.5f, 0.5f);

    glTexCoord2f(0.0f, 0.0f);
    glVertex3f(-0.5f, -0.5f, 0.5f);

    glTexCoord2f(1.0f, 0.0f);
    glVertex3f(0.5f, -0.5f, 0.5f);
  glEnd();
  glBegin(GL_QUADS);
    glNormal3f(1.0f, 0.0f, 0.0f);      // prawa ściana

    glTexCoord2f(0.0f, 1.0f);
    glVertex3f(0.5f, 0.5f, 0.5f);

    glTexCoord2f(0.0f, 0.0f);
    glVertex3f(0.5f, -0.5f, 0.5f);

    glTexCoord2f(1.0f, 0.0f);
    glVertex3f(0.5f, -0.5f, -0.5f);

    glTexCoord2f(1.0f, 1.0f);
    glVertex3f(0.5f, 0.5f, -0.5f);
  glEnd();
  glBegin(GL_QUADS);
    glNormal3f(-1.0f, 0.0f, 0.0f);     // lewa ściana

    glTexCoord2f(1.0f, 1.0f);
    glVertex3f(-0.5f, 0.5f, 0.5f);

    glTexCoord2f(0.0f, 1.0f);
    glVertex3f(-0.5f, 0.5f, -0.5f);

    glTexCoord2f(0.0f, 0.0f);
    glVertex3f(-0.5f, -0.5f, -0.5f);

    glTexCoord2f(1.0f, 0.0f);
    glVertex3f(-0.5f, -0.5f, 0.5f);
  glEnd();
  glBegin(GL_QUADS);
    glNormal3f(0.0f, -1.0f, 0.0f);     // dolna ściana

    glTexCoord2f(1.0f, 0.0f);
    glVertex3f(-0.5f, -0.5f, 0.5f);

    glTexCoord2f(1.0f, 1.0f);
    glVertex3f(-0.5f, -0.5f, -0.5f);

    glTexCoord2f(0.0f, 1.0f);
    glVertex3f(0.5f, -0.5f, -0.5f);

    glTexCoord2f(0.0f, 0.0f);
    glVertex3f(0.5f, -0.5f, 0.5f);
  glEnd();
  glBegin(GL_QUADS);
    glNormal3f(0.0f, 0.0f, -1.0f);     //  tylna ściana
```

```
        glTexCoord2f(0.0f, 0.0f);
        glVertex3f(0.5f, -0.5f, -0.5f);

        glTexCoord2f(1.0f, 0.0f);
        glVertex3f(-0.5f, -0.5f, -0.5f);

        glTexCoord2f(1.0f, 1.0f);
        glVertex3f(-0.5f, 0.5f, -0.5f);

        glTexCoord2f(0.0f, 1.0f);
        glVertex3f(0.5f, 0.5f, -0.5f);
      glEnd();
    glPopMatrix();
}

void Render()
{
  radians =  float(PI*(angle-90.0f)/180.0f);

  // wyznacza położenie kamery
  cameraX = lookX + sin(radians)*mouseY;
  cameraZ = lookZ + cos(radians)*mouseY;
  cameraY = lookY + mouseY / 2.0f;

  // wycelowuje kamerę w punkt (0,0,0)
  lookX = 0.0f;
  lookY = 0.0f;
  lookZ = 0.0f;

  // opróżnia bufory ekranu i głębi
  glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
  glLoadIdentity();

  // umieszcza kamerę
  gluLookAt(cameraX, cameraY, cameraZ, lookX, lookY, lookZ, 0.0, 1.0, 0.0);

  // skaluje sześcian do rozmiarów 15x15x15
  glScalef(15.0f, 15.0f, 15.0f);

  // pierwszy przebieg rysowania
  glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, smileTex->texID);
  DrawTexturedCube(0.0f, 0.0f, 0.0f);
  // drugi przebieg rysowania
  glEnable(GL_BLEND);               // włącza łączenie kolorów
  glDepthMask(GL_FALSE);            // wyłącza zapis do bufora głębi
  glDepthFunc(GL_EQUAL);

  glBlendFunc(GL_ZERO, GL_SRC_COLOR);

  glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, checkerTex->texID);
  DrawTexturedCube(0.0f, 0.0f, 0.0f);

  // przywraca poprzedni stan maszyny OpenGL
  glDepthMask(GL_TRUE);
  glDepthFunc(GL_LESS);
  glDisable(GL_BLEND);
  glFlush();
  SwapBuffers(g_HDC);// przełącza bufory
}
```

Efekt uzyskany w wyniku wieloprzebiegowego tworzenia tekstur nie będzie się różnić od efektów uzyskanych za pomocą tekstur wielokrotnych. Zwykle jednak tworzony będzie wolniej, ponieważ mechanizm tekstur wielokrotnych korzysta z możliwości ich sprzętowej obsługi. Jednak tworzenie tekstur wielokrotnych w wielu przebiegach pozwala na dodatkowe eksperymentowanie z różnymi efektami uzyskiwanymi przez zmianę funkcji łączenia kolorów.

Podsumowanie

OpenGL umożliwia pokrycie powierzchni wielokąta sekwencją tekstur tworzącą *teksturę wielokrotną*.

W procesie tworzenia tekstur wielokrotnych wyróżnić można cztery etapy: sprawdzenie dostępności tekstur wielokrotnych, uzyskanie wskaźników funkcji rozszerzenia, stworzenie jednostki tekstury i określenie współrzędnych tekstur.

Odwzorowanie otoczenia pozwala rysować obiekty odbijające otaczający je świat na podobieństwo wypolerowanej srebrnej kuli.

Stos macierzy tekstur umożliwia wykonywanie przesunięć, obrotów i skalowań tekstur. Przekształcenia tekstur umożliwiają uzyskanie ciekawych efektów.

Mapy oświetlenia służą do symulacji statycznego oświetlenia obiektu za pomocą odpowiedniej tekstury reprezentującej światło padające na daną powierzchnię.