

# Spis treści

|                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Wstęp.....</b>                                                                  | <b>11</b> |
| <b>Część I. Grafika trójwymiarowa w OpenGL.....</b>                                | <b>13</b> |
| <b>Rozdział 1. Inicjacja okna dla grafiki 3D generowanej za pomocą OpenGL.....</b> | <b>15</b> |
| Visual C++ i WinAPI/WGL.....                                                       | 17        |
| Tworzenie projektu i dostosowywanie go do współpracy z OpenGL.....                 | 17        |
| Tworzenie okna za pomocą funkcji WinAPI .....                                      | 19        |
| Przystosowanie okna do współpracy z OpenGL za pomocą funkcji biblioteki WGL .....  | 25        |
| Przygotowanie i rysowanie sceny (wreszcie OpenGL!).....                            | 27        |
| Visual C++ i MFC.....                                                              | 31        |
| C++Builder i VCL.....                                                              | 35        |
| Tryb pełnoekranowy .....                                                           | 36        |
| <b>Rozdział 2. Macierze w OpenGL.....</b>                                          | <b>41</b> |
| Macierz rzutowania .....                                                           | 42        |
| Macierz model-widok .....                                                          | 44        |
| Stosy macierzy .....                                                               | 48        |
| Współrządne jednorodne.....                                                        | 51        |
| Odczytywanie wartości macierzy .....                                               | 56        |
| <b>Rozdział 3. Rysowanie i animacja figur i brył .....</b>                         | <b>59</b> |
| Wyodrębnianie metody służącej do budowania aktorów.....                            | 63        |
| Kolor.....                                                                         | 66        |
| Funkcja glColor .....                                                              | 66        |
| Cieniowanie .....                                                                  | 66        |
| Kolor tła.....                                                                     | 67        |
| Model 1: Prostopadłościan.....                                                     | 68        |
| Unikanie rysowania tylnych powierzchni .....                                       | 72        |
| Model 2: Niszczyciel gwiazd.....                                                   | 74        |
| Podłoże .....                                                                      | 77        |
| Listy wyświetlania.....                                                            | 79        |
| Animacja.....                                                                      | 81        |
| <b>Rozdział 4. Kontrola położenia kamery.....</b>                                  | <b>85</b> |
| „Rozglądanie się”, czyli kamera w centrum (FPP).....                               | 86        |
| Ruch w poziomie kontrolowany klawiszami .....                                      | 90        |

|                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------|------------|
| Ruch kamery po sferze z wyróżnioną płaszczyzną (TPP) .....       | 93         |
| Przesuwanie kamery myszą .....                                   | 94         |
| Kontrola odległości kamery od modelu za pomocą rolki myszy ..... | 95         |
| Rotacja sferyczna .....                                          | 96         |
| Implementacja rotacji sferycznej .....                           | 98         |
| Użycie klasy ArcBall .....                                       | 105        |
| Wektor położenia kamery .....                                    | 110        |
| Swobodne obroty kamery .....                                     | 111        |
| Jeszcze raz o rzutowaniu .....                                   | 117        |
| <b>Rozdział 5. Oświetlenie .....</b>                             | <b>119</b> |
| Trójwymiarowa przestrzeń barw .....                              | 119        |
| System oświetlenia OpenGL. Światło tła .....                     | 121        |
| Model oświetlenia Phong'a .....                                  | 124        |
| Model Lamberta światła rozproszonego .....                       | 125        |
| Model rozbłysku Phong'a .....                                    | 127        |
| Uśrednianie normalnych .....                                     | 129        |
| Definiowanie wektorów normalnych .....                           | 130        |
| Definiowanie źródła światła rozproszonego .....                  | 134        |
| Uśrednianie i interpolacja normalnych .....                      | 138        |
| Rozbłysk .....                                                   | 140        |
| Mieszanie kolorów ( <i>alpha blending</i> ) .....                | 142        |
| Sortowanie ścian .....                                           | 145        |
| <b>Rozdział 6. Odwzorowywanie tekstur .....</b>                  | <b>153</b> |
| Proste teksturowanie .....                                       | 154        |
| Wiązanie tekstur (współrzędne teksturowania) .....               | 158        |
| Wiele tekstur .....                                              | 160        |
| Przezroczyste tekstury .....                                     | 163        |
| Wczytywanie tekstur z plików (bitmap) .....                      | 165        |
| Czytanie tekstur z zasobów aplikacji .....                       | 172        |
| Lakierowanie tekstur .....                                       | 173        |
| Układanie tekstur obok siebie .....                              | 175        |
| <b>Rozdział 7. Napisy .....</b>                                  | <b>177</b> |
| Tworzenie czcionek do wyświetlania napisów .....                 | 177        |
| Używanie czcionek bitmapowych .....                              | 179        |
| Używanie czcionek 3D .....                                       | 183        |
| <b>Rozdział 8. Biblioteka GLU .....</b>                          | <b>185</b> |
| Kwadryki .....                                                   | 185        |
| Teksturowanie kwadryki .....                                     | 188        |
| Inne kwadryki .....                                              | 190        |
| GLU i macierze .....                                             | 194        |
| gluLookAt .....                                                  | 194        |
| gluPerspective .....                                             | 195        |
| Inne .....                                                       | 196        |

|                                                                                        |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Rozdział 9. Bufor szablonowy</b>                                                    | <b>199</b> |
| Przygotowanie sceny                                                                    | 199        |
| Płaszczyzny obcinające                                                                 | 201        |
| Przygotowanie szablonu                                                                 | 203        |
| Użycie szablonu do przycięcia odbicia                                                  | 205        |
| <b>Rozdział 10. Szablon projektów korzystających z grafiki OpenGL</b>                  | <b>209</b> |
| <b>Zadania</b>                                                                         | <b>213</b> |
| <b>Część II. Wizualizacja danych</b>                                                   | <b>215</b> |
| <b>Rozdział 11. Wizualizacja obiektów przestrzennych na przykładzie molekuł białek</b> | <b>217</b> |
| Zadanie                                                                                | 217        |
| Format PDB                                                                             | 217        |
| Odczyt danych z pliku PDB                                                              | 219        |
| Klasa Atom                                                                             | 220        |
| Klasa PDB                                                                              | 222        |
| Wizualizacja                                                                           | 224        |
| Położenie atomów                                                                       | 225        |
| Wiązania chemiczne                                                                     | 229        |
| Wybór atomu i wyświetlanie etykiety, czyli interakcja z użytkownikiem w OpenGL         | 232        |
| Stos nazw                                                                              | 233        |
| Renderowanie w trybie zaznaczania                                                      | 235        |
| Odczytywanie informacji z bufora zaznaczania                                           | 237        |
| Wyróżnianie wybranego atomu                                                            | 238        |
| <b>Rozdział 12. Wizualizacja funkcji dwóch zmiennych</b>                               | <b>241</b> |
| Format plików z danymi                                                                 | 242        |
| Klasy reprezentujące wczytywane dane                                                   | 244        |
| Czytanie danych                                                                        | 247        |
| Wczytywanie parametrów programu z pliku                                                | 247        |
| Wczytywanie parametrów sieci z pliku                                                   | 250        |
| Wczytywanie danych                                                                     | 252        |
| Przygotowanie wykresu                                                                  | 253        |
| Wyznaczenie zakresu tablicy, w którym znajdują się dane do wyświetlania                | 253        |
| Wyznaczenie wartości minimalnej i maksymalnej                                          | 254        |
| Wyznaczenie współczynnika skalowania                                                   | 255        |
| Wyznaczenie koloru odpowiadającego wartości funkcji                                    | 255        |
| Wyświetlenie danych                                                                    | 257        |
| Destruktor klasy                                                                       | 263        |
| Osie układu współrzędnych                                                              | 264        |
| Rysowanie osi                                                                          | 264        |
| Opis osi                                                                               | 266        |
| Oświetlenie                                                                            | 268        |
| Źródło światła                                                                         | 268        |
| Sterowanie pozycją źródła światła                                                      | 270        |

|                                                                                                     |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Rozdział 13. Trójwymiarowa wizualizacja z wykorzystaniem teksturowania przezroczystego .....</b> | <b>275</b> |
| Tomografia optyczna.....                                                                            | 275        |
| Wczytywanie danych .....                                                                            | 276        |
| Metoda wizualizacji za pomocą przezroczystego teksturowania.....                                    | 279        |
| Mapy kolorów .....                                                                                  | 281        |
| Przygotowanie powierzchni do teksturowania.....                                                     | 285        |
| Przygotowanie tekstur.....                                                                          | 288        |
| Regulacja jasności, kontrastu i przezroczystości .....                                              | 296        |
| <b>Część III. Świat modelowany zbiorem punktów materialnych .....</b>                               | <b>299</b> |
| <b>Rozdział 14. Dynamika punktu .....</b>                                                           | <b>301</b> |
| Ruch .....                                                                                          | 301        |
| Siła.....                                                                                           | 302        |
| Równania ruchu.....                                                                                 | 303        |
| Przykładowe rozwiązanie.....                                                                        | 304        |
| Zamiana na równania pierwszego stopnia .....                                                        | 305        |
| <b>Rozdział 15. Metody numeryczne, czyli dyskretyzacja równań ruchu .....</b>                       | <b>307</b> |
| Szereg Taylora.....                                                                                 | 307        |
| Algorytm Eulera.....                                                                                | 309        |
| Algorytm Verleta.....                                                                               | 311        |
| <b>Rozdział 16. Implementacja.....</b>                                                              | <b>313</b> |
| Klasa TPunktMaterialny .....                                                                        | 313        |
| Implementacja algorytmów Eulera i Verleta .....                                                     | 317        |
| Klasa ZbiorPunktowMaterialnych .....                                                                | 320        |
| Definiowanie układu punktów materialnych .....                                                      | 324        |
| Wizualizacja punktów .....                                                                          | 325        |
| Dynamika punktów .....                                                                              | 327        |
| Wstrzymywanie symulacji .....                                                                       | 330        |
| Mechanizm odświeżania sceny w symulacjach .....                                                     | 330        |
| <b>Rozdział 17. Modelowanie układów elastycznych .....</b>                                          | <b>333</b> |
| Zbiór oscylatorów .....                                                                             | 333        |
| Rysowanie linii.....                                                                                | 337        |
| Tłumienie .....                                                                                     | 339        |
| Sztywność.....                                                                                      | 342        |
| Lina.....                                                                                           | 346        |
| Dalsi sąsiedzi.....                                                                                 | 348        |
| Włos .....                                                                                          | 349        |
| Podłoże .....                                                                                       | 351        |
| <b>Rozdział 18. Siły kontaktowe.....</b>                                                            | <b>357</b> |
| Reakcja na kontakt z obszarem niedostępnym.....                                                     | 357        |
| Wzory .....                                                                                         | 359        |
| Tarcie .....                                                                                        | 360        |

|                                                                               |            |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Implementacja obszaru niedostępnego .....                                     | 361        |
| Abstrakcyjny typ danych .....                                                 | 361        |
| Podłoże .....                                                                 | 363        |
| Kula.....                                                                     | 364        |
| Dwa inne przykłady .....                                                      | 365        |
| Zbiór punktów materialnych z obszarem niedostępnym .....                      | 370        |
| Przykłady układów z obszarami niedostępnymi .....                             | 375        |
| Punkty uderzające w kulę .....                                                | 375        |
| Lina na podłożu .....                                                         | 378        |
| Lina opadająca na stół .....                                                  | 379        |
| Łączenie dwóch obszarów zabronionych .....                                    | 383        |
| Układy dwuwymiarowe .....                                                     | 384        |
| Siatka, czyli kawałek tkaniny .....                                           | 384        |
| Pierwszy test i metody rysowania siatki .....                                 | 388        |
| Siatka w kontakcie z obszarem niedostępnym .....                              | 392        |
| Układ trójwymiarowy, czyli dynamika brył miękkich .....                       | 393        |
| <b>Rozdział 19. Zderzenie dwóch punktów .....</b>                             | <b>399</b> |
| Fizyka zderzenia dwóch kul .....                                              | 399        |
| Zasady zachowania energii i pędu w zderzeniach .....                          | 400        |
| Dynamika niecentralnego zderzenia dwóch kul .....                             | 403        |
| Projekt testu .....                                                           | 405        |
| Uproszczenia .....                                                            | 406        |
| Implementacja zderzenia dwóch kul .....                                       | 407        |
| Pułko .....                                                                   | 412        |
| Dwa testy obnażające wady naiwnej implementacji .....                         | 413        |
| Implementacja zderzeń niecentralnych .....                                    | 415        |
| Symulacja ruchów Browna .....                                                 | 417        |
| <b>Rozdział 20. Zderzenia punktów z tkaniną .....</b>                         | <b>419</b> |
| Wykrywanie kolizji punktu z trójkątem .....                                   | 419        |
| Czy odcinek przecina płaszczyznę? .....                                       | 419        |
| Gdzie odcinek przecina płaszczyznę? .....                                     | 421        |
| Czy punkt przecięcia znajduje się wewnątrz trójkąta? .....                    | 422        |
| Modelowanie reakcji tkaniny i punktów na zderzenie .....                      | 424        |
| Implementacja wody i tkaniny .....                                            | 425        |
| Implementacja wykrywania zderzeń .....                                        | 428        |
| Implementacja reakcji na zderzenia .....                                      | 432        |
| <b>Rozdział 21. Sterowanie .....</b>                                          | <b>435</b> |
| Przeciąganie punktu myszą .....                                               | 435        |
| Kontrola obiektu za pomocą klawiatury, czyli trening intuicji fizycznej ..... | 442        |
| Bilard .....                                                                  | 447        |
| Klasa Bilard .....                                                            | 447        |
| Rysowanie bil, stołu i kija .....                                             | 451        |
| Implementacja kija .....                                                      | 452        |
| Implementacja luz .....                                                       | 456        |

|                                                                                      |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Rozdział 22. O dwóch trikach używanych w symulacjach cząsteczkowych .....</b>     | <b>461</b> |
| Jakie problemy chcemy rozwiązać? .....                                               | 461        |
| Grawitacja .....                                                                     | 461        |
| Dwa triki .....                                                                      | 462        |
| Odcięcie i podział na komórki .....                                                  | 462        |
| Periodyczne warunki brzegowe .....                                                   | 463        |
| Implementacja .....                                                                  | 464        |
| Klasa Galaktyka .....                                                                | 464        |
| Wizualizacja .....                                                                   | 467        |
| Naiwna implementacja oddziaływań .....                                               | 468        |
| Podział obszaru na „komórki” .....                                                   | 469        |
| Implementacja periodycznych warunków brzegowych .....                                | 474        |
| Przejście przez granicę .....                                                        | 474        |
| Obliczanie odległości .....                                                          | 475        |
| <b>Zadania .....</b>                                                                 | <b>477</b> |
| <br><b>Część IV. Obiekty modelowane zespołem brył sztywnych .....</b>                | <b>481</b> |
| <b>Rozdział 23. Dynamika bryły sztywnej .....</b>                                    | <b>483</b> |
| Środek masy .....                                                                    | 483        |
| Kinematyka bryły sztywnej .....                                                      | 485        |
| Prędkość liniowa i prędkość kątowna .....                                            | 485        |
| Rotujący układ odniesienia .....                                                     | 485        |
| Dynamika bryły sztywnej, czyli równania Newtona w ruchu postępowym i obrotowym ..... | 489        |
| Moment pędu .....                                                                    | 489        |
| Moment bezwładności .....                                                            | 490        |
| Moment siły i równanie ruchu .....                                                   | 493        |
| Czego brakuje w równaniach ruchu? .....                                              | 495        |
| Moment bezwładności prostopadłościanu .....                                          | 496        |
| Macierz obrotu .....                                                                 | 498        |
| Całkowanie prędkości kątowej .....                                                   | 499        |
| <b>Rozdział 24. Implementacja metody Eulera dla dynamiki bryły sztywnej .....</b>    | <b>503</b> |
| Metoda numeryczna .....                                                              | 503        |
| Implementacja klas opisujących bryły sztywne .....                                   | 504        |
| Szablon klasy TBryłaSztywna .....                                                    | 504        |
| Przykład bryły sztywnej: klasa Prostopadlościan .....                                | 509        |
| Menedżer zbioru brył sztywnych .....                                                 | 510        |
| Zbiór prostopadłościanów .....                                                       | 514        |
| Wizualizacja .....                                                                   | 515        |
| <b>Rozdział 25. Kwanterniony .....</b>                                               | <b>519</b> |
| Algebra kwaternionów .....                                                           | 520        |
| Kwanterniony jednostkowe .....                                                       | 524        |
| Konwersja między kwaternionem i macierzą .....                                       | 528        |
| Pochodna kwaternionu i równanie ruchu .....                                          | 531        |
| Implementacja dynamiki opartej na kwaternionach .....                                | 533        |

|                                                                                                              |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Dwa testy .....                                                                                              | 537        |
| Kąty Eulera, kwaterniony i macierze obrotu .....                                                             | 538        |
| <b>Rozdział 26. Detekcja kolizji: obszary ograniczające .....</b>                                            | <b>541</b> |
| Sfery ograniczające (BS) .....                                                                               | 541        |
| Prostopadłościany ograniczające ustawione wzdłuż osi sceny (AABB) .....                                      | 546        |
| Twierdzenie SAT .....                                                                                        | 551        |
| Twierdzenie SAT w przypadku prostopadłościanów OBB .....                                                     | 553        |
| Czytelna implementacja SAT dla prostopadłościanów OBB .....                                                  | 556        |
| Optymalizacja implementacji SAT .....                                                                        | 558        |
| <b>Rozdział 27. Detekcja kolizji: wyznaczanie punktu styku oraz normalnej i stycznej<br/>zderzenia .....</b> | <b>567</b> |
| Normalna zderzenia dwóch prostopadłościanów .....                                                            | 569        |
| Punkt zderzenia dwóch prostopadłościanów .....                                                               | 573        |
| Zderzenie wierzchołka ze ścianą .....                                                                        | 573        |
| Zderzenie dwóch krawędzi .....                                                                               | 574        |
| Odległość dwóch prostych .....                                                                               | 578        |
| Podsumowanie .....                                                                                           | 581        |
| Styczna zderzenia dwóch prostopadłościanów .....                                                             | 582        |
| <b>Rozdział 28. Fizyka zderzeń brył sztywnych .....</b>                                                      | <b>585</b> |
| Popęd liniowy, czyli zasada zachowania pędu .....                                                            | 585        |
| Popęd kątowny, czyli zasada zachowania momentu pędu .....                                                    | 586        |
| Współczynnik restytucji, czyli zasada (nie)zachowania energii .....                                          | 587        |
| Rozwiązanie .....                                                                                            | 587        |
| Tarcie .....                                                                                                 | 589        |
| Implementacja .....                                                                                          | 590        |
| <b>Zadania .....</b>                                                                                         | <b>593</b> |
| <b>Wybrana literatura tematu .....</b>                                                                       | <b>595</b> |
| Mechanika .....                                                                                              | 595        |
| Geometria obliczeniowa (w tym detekcja kolizji) .....                                                        | 596        |
| OpenGL i grafika 3D .....                                                                                    | 596        |
| Metody numeryczne .....                                                                                      | 597        |
| Prace inżynierskie i dyplomowe wykorzystane w książce .....                                                  | 598        |
| <b>Dodatek A. Korzystanie z biblioteki GLUT do zarządzania oknem w projektach<br/>przenośnych .....</b>      | <b>599</b> |
| GLUT (Visual C++) .....                                                                                      | 600        |
| Tworzenie okna OpenGL za pomocą GLUT .....                                                                   | 600        |
| Interakcja z użytkownikiem .....                                                                             | 606        |
| GLUT w C++Builder .....                                                                                      | 611        |
| Kompilacja projektu korzystającego z GLUT za pomocą g++ w systemie Linux i<br>powłoce Cygwin .....           | 612        |
| <b>Dodatek B. Macierz rzutowania punktu na płaszczyznę .....</b>                                             | <b>613</b> |

|                                                                           |            |
|---------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Dodatek C. Wczytywanie modelu z pliku OBJ .....</b>                    | <b>619</b> |
| Opis formatu Wavefront OBJ .....                                          | 619        |
| Klasy CScena i CModel .....                                               | 622        |
| Rysowanie wczytanej sceny. Klasa CScenaRysowana .....                     | 634        |
| Przykładowy projekt .....                                                 | 637        |
| <b>Dodatek D. Klasy implementujące wektor, macierz i kwaternion .....</b> | <b>643</b> |
| Wektor .....                                                              | 643        |
| Projekt interfejsu .....                                                  | 643        |
| Definicja klasy i jej pola .....                                          | 644        |
| Operator indeksowania .....                                               | 645        |
| Konwersja do tablicy .....                                                | 646        |
| Operatory relacji .....                                                   | 647        |
| Operatory arytmetyczne .....                                              | 647        |
| Iloczyny wektorów .....                                                   | 649        |
| Metody .....                                                              | 651        |
| Konkretyzacja .....                                                       | 652        |
| Testy .....                                                               | 653        |
| Macierz kwadratowa 3×3 .....                                              | 656        |
| Przechowanie i dostęp do elementów macierzy .....                         | 657        |
| Operatory .....                                                           | 660        |
| Metody .....                                                              | 663        |
| Testy .....                                                               | 668        |
| Kwaternion .....                                                          | 670        |
| Pola i konstruktory .....                                                 | 670        |
| Operatory .....                                                           | 671        |
| Metody .....                                                              | 673        |
| Testy .....                                                               | 677        |
| Funkcja TworzMacierzObrotuZKatalOsiObrotu .....                           | 679        |
| <b>Dodatek E. Animacja szkieletowa .....</b>                              | <b>681</b> |
| Kości i stawy .....                                                       | 683        |
| Projektowanie szkieletu .....                                             | 685        |
| Rysowanie ręki .....                                                      | 687        |
| Modelowanie ułożenia .....                                                | 690        |
| Modelowanie animacji .....                                                | 691        |
| <b>Indeks .....</b>                                                       | <b>695</b> |