Wydział Elektryczny
POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Autor: **Krzysztof Dąbrowski 293101** 2 kwietnia 2020

GRAFIKA KOMPUTEROWA

Projekt 1 - Sprawozdanie

Opis zadania

Celem projektu jest zaimplementowanie kamery mogącej obserwować trójwymiarowe obiekty w przestrzeni. Kamera będzie posiadała możliwość poruszania się w przestrzeni, wykonywania obrotów oraz zmiany aktualnego przybliżenia.

Repozytorium z projektem jest dostępne na platformie Github. Projekt jest udostępniony publicznie na licencji MIT.

Zmiany w stosunku do wstępnego planu

Ponieważ program wczytuje dane wyświetlanych obiektów z plików nie możliwa była implementacja w języku Javascript. Zamiast tego zdecydowałem się na język Python i bibliotekę pygame.

Model matematyczny operacji

Program przechowuje wyświetlane modele jako macierz współrzędnych wierzchołków o wymiarach [**n x 4**], gdzie n to liczba punktów danej figury oraz listę krawędzi. Kolejne kolumny w macierzy wieszołków to odpowiednio współrzędne x, y, z danego punktu oraz stała wartość 1. Pozwala to na sprawne wykonywanie transformacji wierzchołków. Krawędzie są przechowywane jako lista par numerów punktów, między którymi jest krawędź. Wyraźny podział między współrzędnymi wierzchołków a krawędziami pozwala na uniknięcie duplikacji danych i usprawnienie transformacji.

Transformacje

Operacje ruchu i obrotów kamery są realizowane jako odpowiednie transformacje współrzędnych wierzchołków wszystkich figur. Transformacje są realizowane **jednocześnie** dla wszystkich punktów danej figury przy pomocy operacji macierzowych.

Przy implementacji transformacji wzorowałem się artykułem napisanym przez Tobbiego Rufinusa.

Translacje

Ruch kamery w osiach x, y, z jest wykonywany poprzez translacje wszystkich wierzchołków o stały krok w każdej klatce, w której użytkownik naciska klawisz ruchu.

W tym celu wykorzystana jest poniższa macierz:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X \\ 0 & 1 & 0 & Y \\ 0 & 0 & 1 & Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x + X \cdot 1 \\ y + Y \cdot 1 \\ z + Z \cdot 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Rotacje

Obroty kamery w osiach x, y, z jest wykonywany poprzez zmianę pozycji wszystkich wierzchołków o stały krok w każdej klatce, w której użytkownik naciska klawisz ruchu.

Do rotacji w osi x została wykorzystana poniższa macierz:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ \cos\theta \cdot y - \sin\theta \cdot z \\ \sin\theta \cdot y + \cos\theta \cdot z \\ 1 \end{pmatrix}$$

Do rotacji w osi y została wykorzystana poniższa macierz:

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta \cdot x + \sin\theta \cdot z \\ y \\ -\sin\theta \cdot x + \cos\theta \cdot z \\ 1 \end{pmatrix}$$

Do rotacji w osi z została wykorzystana poniższa macierz:

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta \cdot x - \sin\theta \cdot y \\ \sin\theta \cdot x + \cos\theta \cdot y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

Mapowanie punktów 3d na płótno ekranu

W celu narysowania punktów na ekranie wartości 3d są rzutowane na płaszczyznę ekranu kamery. Dzięki temu, że zastosowany wzór uwzględnia wartość ogniskowej łatwe jest zaimplementowanie przybliżania i oddalania obrazu (zoom).

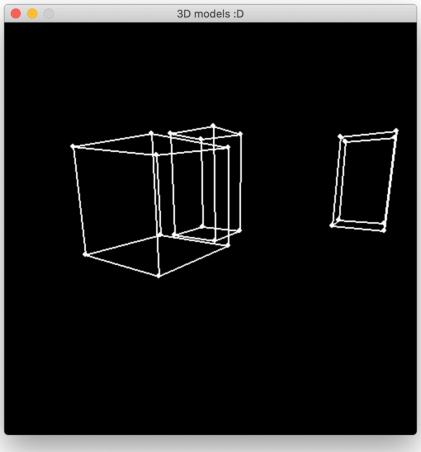
Do rzutowania punktów została wykorzystana poniższa funkcja.

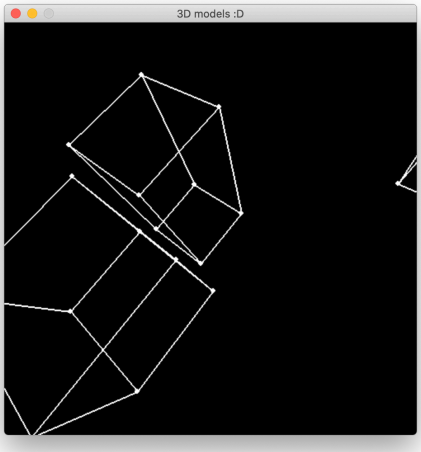
```
def translate_3d_to_2d(point_3d: np.array, view_width: float, view_heigh: float, focal: float) ->
Tuple[float, float]:
    """Map 3D point to 2D value that can be displayed"""
    from_focal = focal / point_3d[1]
    x = from_focal * point_3d[0] + view_width / 2
    y = view_heigh / 2 - from_focal * point_3d[2]

    return x, y
```

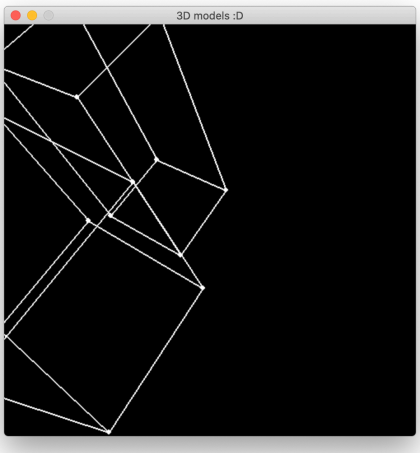
Przykłady działania programu

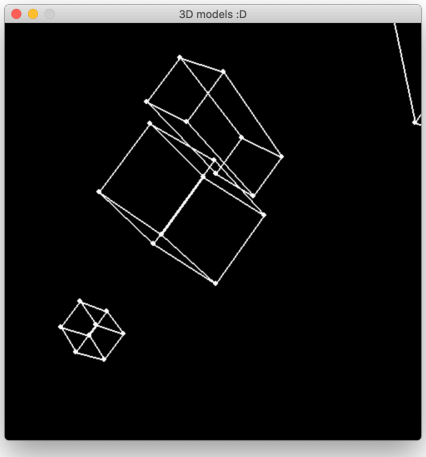
Nagranie prezentujące działanie programu. Nie prezentuje ono niestety funkcji zoom, jednak jest ona widoczna na 3 grafice poniżej.

Jeśli wystąpiłby problem z nagraniem to poniższe zrzuty ekranu przedstawiają generowane grafiki.









Obsługa programu

Do uruchomienia programu potrzeby jest Python3 z zainstalowanymi bibliotekami numpy (do operacji na macierzach) i pygame (do rysowania linii i okręgów). Następnie wystarczy uruchomić skrypt main.py.

Program po uruchomieniu wczyta modele z folderu *models*. Modele są w postaci listy linii, gdzie pierwsze 3 wartości to współrzędnie punktu początkowego linii, a 3 kolejne to współrzędne końca linii. Na podstawie podanych linii tworzone są wierzchołki oraz krawędzie wyświetlanych modeli.

Sterowanie

Za poruszanie kamerą odpowiadają klawisze w, a, s, d lub klawisze strzałek.
Za zmianę ogniskowej dopowiadają klawisze -, =.
Za rotacje kamery w osi x odpowiadają klawisze i, k.
Za rotacje kamery w osi y odpowiadają klawisze u, o.

Za rotacje kamery w osi z odpowiadają klawisze j, l.

Generacja modeli

Do łatwego tworzenia modeli prostopadłościanów został napisany skrypt generateModel.py

Wymaga on podania współrzędnych jednego wierzchołka sześcianu oraz długości krawędzie w każdej z osi.

Wnioski

Praca nad projektem pozwoliła mi poznać podstawy tego jak tworzy się struktury opisujące elementy stosowane w grafice trójwymiarowej. Sporym zaskoczeniem było dla mnie to, że macierze przekształceń mają wymiary 4x4. Implementacja algorytmów transformacji punktów w przestrzeni trójwymiarowej dała mi do zrozumienia, że wykorzystanie dodatkowej współrzędnej do opisu transformacji pozwala na uniknięcie punktów zerowych (takich, których współrzędne nie ulegną zmianie).

Zastosowanie macierzy do przechowywania wierzchołków figur uzmysłowiło mi jak można zastosować mnożenie macierzy jako wydajniejsza alternatywa dla operacji iteracyjnych (pętli for).

Problem przekształcenia punktów trójwymiarowych na współrzędne na ekranie dał mi obraz różnych metod rzutowania oraz związanych z nimi wad i zalet poszczególnych rozwiązań.

Po zapoznaniu się z macierzami rotacji zrozumiałem, dlaczego rotacja względem dowolnego punktu przestrzeni wymaga złączenia kilku transformacji.