Grafika komputerowa i komunikacja człowiek-komputer

Laboratorium nr 3

Modelowanie obiektów 3D

Szymon Datko

szymon.datko@pwr.edu.pl

Wydział Elektroniki,

Politechnika Wrocławska

semestr zimowy 2020/2021

Cel ćwiczenia

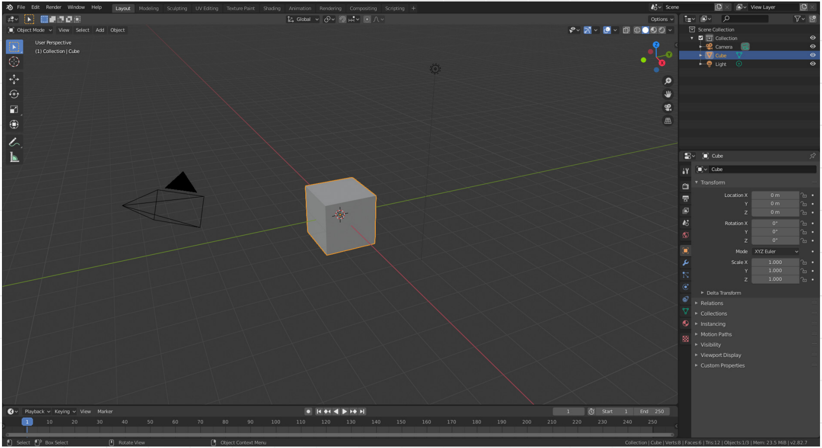
1. Zrozumienie różnych sposobów definiowania modeli 3D.
2. Nabranie wprawy w definiowaniu brył przy pomocy wierzchołków.
3. Poznanie zasady działania mechanizmu bufora głębi.
4. Zapoznanie się ze sposobem działania generatorów losowych*.

---

*Dodatkowo.

Wykorzystanie edytora do modelowania obiektów*

- Zbudowanie modelu za pomocą zestawu dedykowanych narzędzi.
- Eksport gotowego modelu jako tablicy wierzchołków, krawędzi, itd.



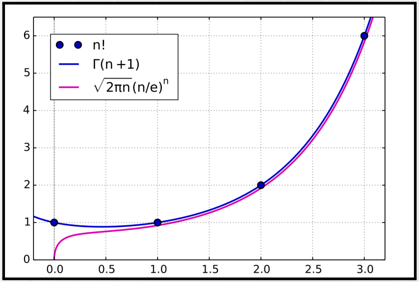
*Nie jest to zagadnienie rozważane szczegółowo w ramach zajęć z naszego bieżącego kursu.

Politechnika Wrocławska

Opis przy pomocy równań parametrycznych

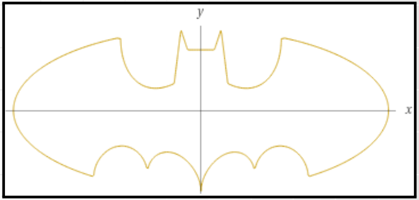
Ogólny pomysł:

- Znaleźć wzór funkcji, której przebieg, na jakimś ustalonym przedziale, dokładnie odzwierciedla pożądany przez nas kształt / powierzchnię.
- Współrzędne wykresu tej funkcji będą stanowiły wierzchołki modelu.
- Gęstość próbkowania w danym przedziale pozwala ustalić szczegółowość.
- Wszystkie dane można wyznaczać w miarę potrzeby – na żądanie!



Źródło obrazka: `https://en.wikipedia.org/wiki/Stirling's_approximation`

Ciekawostka na temat odwzorowań matematycznych



$$\frac{x^2}{49a^2} + \frac{y^2}{9a^2} - 1 \le 0 \text{ and } \left|\frac{x}{a}\right| \ge 4 \text{ and } -\frac{3\sqrt{33}}{7} \le \frac{y}{a} \le 0 \text{ or } \left|\frac{x}{a}\right| \ge 3 \text{ and } y \ge 0$$

$$\text{or } -3 \le \frac{y}{a} \le 0 \text{ and } -4 \le \frac{x}{a} \le 4 \text{ and}$$

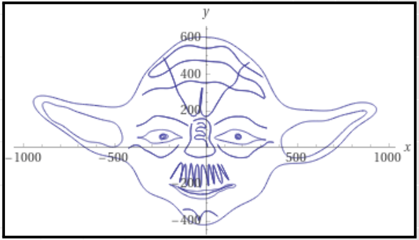
$$-\frac{(3\sqrt{33}-7)x^2}{112a^2} + \frac{\left|\frac{x}{a}\right|}{2} + \sqrt{1-\left(\left|\left|\frac{x}{a}\right|-2\right|-1\right)^2} - \frac{y}{a} - 3 \le 0$$

$$\text{or } y \ge 0 \text{ and } \frac{3}{4} \le \left|\frac{x}{a}\right| \le 1 \text{ and } -8\left|\frac{x}{a}\right| - \frac{y}{a} + 9 \ge 0 \text{ or}$$

$$\frac{1}{2} \le \left|\frac{x}{a}\right| \le \frac{3}{4} \text{ and } 3\left|\frac{x}{a}\right| - \frac{y}{a} + \frac{3}{4} \ge 0 \text{ and } y \ge 0 \text{ or}$$

$$\left|\frac{x}{a}\right| \le \frac{1}{2} \text{ and } y \ge 0 \text{ and } \frac{9}{4} - \frac{y}{a} \ge 0 \text{ or } 1 \le \left|\frac{x}{a}\right| \le 3 \text{ and } y \ge 0$$

$$\text{and } -\frac{\left|\frac{x}{a}\right|}{2} - \frac{3}{7}\sqrt{10}\sqrt{4-\left(\left|\frac{x}{a}\right|-1\right)^2} - \frac{y}{a} + \frac{6\sqrt{10}}{7} + \frac{3}{2} \ge 0$$



$$x(t) = \Bigg(\bigg(-\frac{4}{7}\sin\left(\frac{3}{2} - 2t\right) + \frac{879}{7}\sin\left(t + \frac{11}{7}\right) + \frac{113}{9}\sin\left(3t + \frac{11}{7}\right) + \frac{9}{10}\sin\left(4t + \frac{14}{9}\right) + \frac{32}{7}\sin\left(5t + \frac{11}{7}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(6t + \frac{8}{5}\right) + \frac{26}{11}\sin\left(7t + \frac{11}{7}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(8t + \frac{14}{9}\right) + \frac{3}{2}\sin\left(9t + \frac{11}{7}\right) + \frac{1}{11}\sin\left(10t + \frac{28}{19}\right) + \frac{8}{9}\sin\left(11t + \frac{11}{7}\right) + \frac{1}{7}\sin\left(12t + \frac{11}{7}\right) + \frac{5}{8}\sin\left(13t + \frac{19}{12}\right) - \frac{31}{6}\bigg)\theta(75\pi - t)\,\theta(t - 71\pi) + \bigg(-\frac{1}{6}\sin\left(\frac{14}{9} - 10t\right) - \frac{8}{15}\sin\left(\frac{14}{9} - 8t\right) - \frac{101}{51}\sin\left(\frac{23}{15} - 7t\right) - \frac{121}{8}\sin\left(\frac{14}{9} - 6t\right) + \frac{21}{8}\sin\left(t + \frac{11}{7}\right) + \frac{441}{44}\sin\left(2t + \frac{11}{7}\right) + \frac{127}{15}\sin\left(3t + \frac{11}{7}\right) + \frac{129}{10}\sin\left(4t + \frac{19}{12}\right) + \frac{343}{19}\sin\left(5t + \frac{11}{7}\right) + \frac{2}{5}\sin\left(9t + \frac{8}{5}\right) + \frac{37}{38}\sin\left(11t + \frac{21}{13}\right) + \frac{1}{9}\sin\left(12t + \frac{41}{9}\right) + \frac{2}{7}\sin\left(13t + \frac{8}{5}\right) - \frac{273}{10}\bigg)\theta(71\pi - t)\,\theta(t - 67\pi) + \bigg(\frac{1323}{10}\sin\left(t + \frac{11}{7}\right) + \frac{22}{15}\sin\left(2t + \frac{47}{10}\right) + \frac{210}{17}\sin\left(3t + \frac{11}{7}\right) + \frac{49}{13}\sin\left(4t + \frac{11}{7}\right) + \frac{17}{4}\sin\left(5t + \frac{19}{12}\right) + \frac{12}{23}\sin\left(6t + \frac{29}{19}\right) + \frac{18}{11}\sin\left(7t + \frac{19}{12}\right) + \frac{5}{4}\sin\left(8t + \frac{11}{7}\right) + \frac{22}{13}\sin\left(9t + \frac{8}{5}\right) + \frac{7}{9}\sin\left(10t + \frac{14}{9}\right) + \frac{5}{7}\sin\left(11t + \frac{14}{9}\right) + \frac{5}{11}\sin\left(12t + \frac{18}{11}\right) + \frac{12}{13}\sin(13t + \ldots$$

Źródła obrazów:

https://www.wolframalpha.com/input/?i=batman+insignia+curve

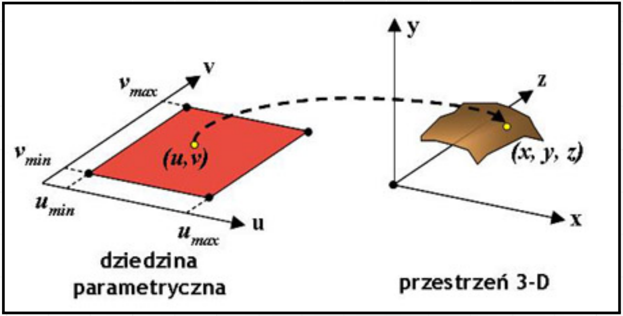
https://www.wolframalpha.com/input/?i=yoda+curve

Model realizowany w ramach zajęć – jajko

- Współrzędne wierzchołków można określić za pomocą układu równań,

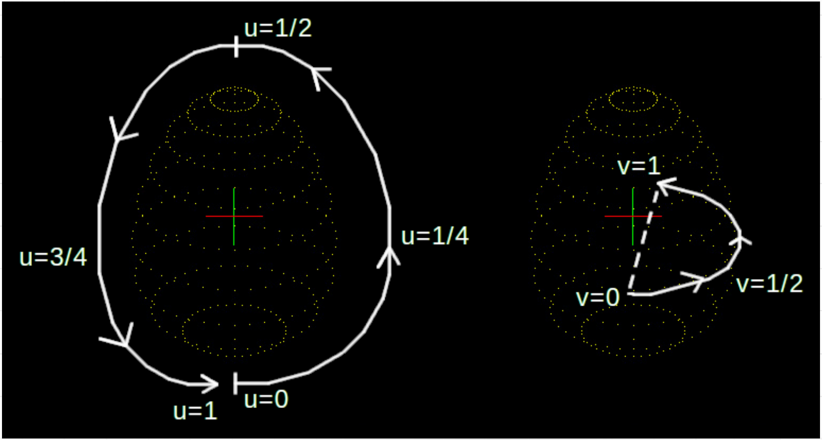
$$x(u,v) = \left(-90 \cdot u^5 + 225 \cdot u^4 - 270 \cdot u^3 + 180 \cdot u^2 - 45 \cdot u\right) \cdot \cos(\pi \cdot v),$$
$$y(u,v) = 160 \cdot u^4 - 320 \cdot u^3 + 160 \cdot u^2,$$
$$z(u,v) = \left(-90 \cdot u^5 + 225 \cdot u^4 - 270 \cdot u^3 + 180 \cdot u^2 - 45 \cdot u\right) \cdot \sin(\pi \cdot v),$$

gdzie dziedziny u i v to przedziały $0 \leq u \leq 1$ oraz $0 \leq v \leq 1$.



Źródło obrazka: http://www.zsk.ict.pwr.wroc.pl/zsk/dyd/intinz/gk/lab/cw_3_dz/

W jaki sposób powstaje nasz model?



Nowości w przykładowym programie

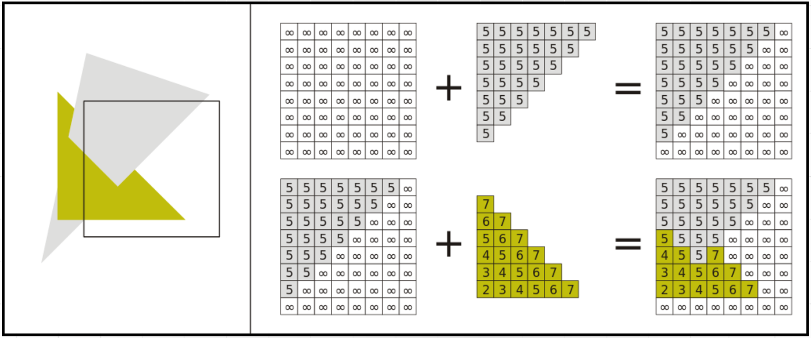
- W funkcji `update_viewport()` zakresy rysowania ustalono na $[-7.5; 7.5]$.
- Włączono mechanizm bufora głębi.
  - Dodano `glEnable(GL_DEPTH_TEST)` w funkcji `startup()`.
  - Dodano `glClear(GL_DEPTH_BUFFER_BIT)` w funkcji `render()`.
- Dodano funkcję `axes()`, rysującą uproszczony układ współrzędnych.

```python
def axes():
    glBegin(GL_LINES)

    glColor3f(1.0, 0.0, 0.0)
    glVertex3f(-5.0, 0.0, 0.0)
    glVertex3f(5.0, 0.0, 0.0)

    glColor3f(0.0, 1.0, 0.0)
    glVertex3f(0.0, -5.0, 0.0)
    glVertex3f(0.0, 5.0, 0.0)

    glColor3f(0.0, 0.0, 1.0)
    glVertex3f(0.0, 0.0, -5.0)
    glVertex3f(0.0, 0.0, 5.0)

    glEnd()
```

Politechnika Wrocławska

Słowo na temat mechanizmu bufora głębi

- Działa analogicznie, jak bufor koloru – przechowuje dane każdego piksela.
- Pozwala na uzyskanie poprawnego przesłaniania obiektów w przestrzeni.
- Kolejność rasteryzacji obiektów nieprzeźroczystych nie ma znaczenia.
- Wymaga dodatkowej pamięci graficznej do zaalokowania.



Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Bufor_Z

Funkcja `spin()`

- Funkcja umożliwi proste zanimowanie obiektu i lepszą jego obserwację.
- Definicja funkcji:

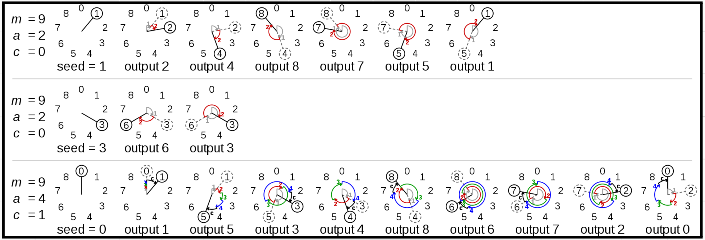
```
def spin(angle):
    glRotatef(angle, 1.0, 0.0, 0.0)
    glRotatef(angle, 0.0, 1.0, 0.0)
    glRotatef(angle, 0.0, 0.0, 1.0)
```

- Sposób wywołania:
  - dodać `spin(time * 180 / 3.1415)` w funkcji `render()`,
  - **przed** narysowaniem obiektu, **po** wywołaniu `glLoadIdentity()`.
- Działanie funkcji `glRotatef()` będzie przybliżone na kolejnych zajęciach!
  - Następuje obrót o wartość kąta w stopniach (pierwszy argument),
  - wokół osi obrotu opisanej przez wektor (trzy kolejne argumenty).

Politechnika Wrocławska

Dygresja na temat generatorów (pseudo)losowych

- Komputer/procesor jest narzędziem, które sprawdza się w obliczeniach,
  - dane, na których obliczenia są realizowane, zwykle pochodzą z **wejść**,
  - trudno jest efektywnie zaimplementować mechanizm rzucania kością ;-)
- Standardowo w języku C implementowany jest tak zwany **Liniowy Generator Kongruentny** (LCG – ang. *Linear Congruent Generator*).
  - kolejne wartości są wyznaczane ze wzoru $x_{n+1} = (a \cdot x_n + c) \quad mod \ m$,
  - wartości a, c i m są parametrami generatora, ich dobór jest kluczowy,
  - wywołanie `rand()` zwraca wartość x_{n+1}, zaś `srand()` ustawia wartość x_0.



- szczegóły i źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Linear_congruential_generator,
- inne przykłady: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_random_number_generators.

Koniec wprowadzenia.

Zadania do wykonania...

Zadania do wykonania (1)

Na ocenę **3.0** należy zbudować model jajka przy pomocy punktów.

Wskazówki:

– zadeklarować tablicę wierzchołków – o rozmiarze $N \times N \times 3$,

– wyznaczyć N-elementowe tablice wartości dla parametrów u i v,

  - pierwszą wartością musi być 0.0, zaś ostatnią – liczba 1.0;

– dla każdej pary u i v obliczyć i zapisać w tablicy wartości x, y i z,

– w funkcji definiującej klatkę obrazu (`render()`) wyświetlić współrzędne,

  - elementy tablicy będą stanowiły wejście funkcji `glVertex()`,
  - posłużyć się prymitywem `GL_POINTS`;

Zadania do wykonania (2)

Na ocenę **3.5** należy zbudować model jajka przy pomocy linii.

Wskazówki:

- w programie posłużyć się prymitywem `GL_LINES`,
- każdy element z dziedziny (u, v) połączyć z elementem sąsiadującym,
  - element (i, j) połączyć z elementami $(i + 1, j)$ oraz $(i, j + 1)$,
  - zwrócić uwagę na zakres indeksów i liczbę iteracji w pętli,
- dodatkowo należy zaimplementować obracanie się obiektu,
  - wykorzystać zaproponowaną funkcję `spin(angle)`,
  - argument *angle* może stanowić parametr *time* funkcji `render()`,
  - *time* traktować jako wartość kąta w radianach – $angle = time \cdot \frac{180}{\pi}$.

Zadania do wykonania (3)

Na ocenę **4.0** należy zbudować model przy pomocy trójkątów.

Wskazówki:

- tym razem wykorzystać prymityw `GL_TRIANGLES`,
- każdy element dziedziny (u, v) połączyć z dwoma sąsiednimi elementami,
  - element (i, j) połączyć jednocześnie z $(i+1, j)$ oraz $(i, j+1)$,
  - konieczne będzie także narysowanie trójkąta dopełniającego;
- każdemu wierzchołkowi przypisać losowy kolor (ale bez efektu migotania).

```
    |         |
    |(i,j+1)  |(i+1,j+1)
----*---------*---------
    |\        |
    | \       |
    |  \      |
    |   \     |
    |    \    |
    |     \   |
    |      \  |
    |       \ |
    |(i,j)   \|(i+1,j)
----*---------*---------
    |         |
```

Zadania do wykonania (4)

Na ocenę **4.5** należy zbudować model za pomocą prymitywu paskowego.

Wskazówki:

- wykorzystać poprawnie prymityw `GL_TRIANGLE_STRIP`,
- wystarczy każdą warstwę modelu zbudować za pomocą jednego paska,
  - celem jest zmniejszenie liczby wywołań funkcji `glVertex()`;
- zadbać o spójność modelu, wyeliminować artefekty łączenia na modelu,
  - konieczne może być odpowiednie nadpisanie wartości koloru na skrajnych wierzchołkach – brzegach dziedziny przestrzeni (u, v).

```
1      3      5      7      9
 *------*------*------*------*----
 |\     |\     |\     |\     |
 | \    | \    | \    | \    |
 |  \   |  \   |  \   |  \   |
 |   \  |   \  |   \  |   \  |
 |    \ |    \ |    \ |    \ |
 |     \|     \|     \|     \|
 *------*------*------*------*----
0      2      4      6      8
```

Zadania do wykonania (5)

Na ocenę **5.0** należy zbudować inny, dodatkowy model.

Wskazówka:

- wybrać jeden z przykładów zaproponowanych jako "zadania domowe",
  - dokument znajduje się na stronie prowadzącego.