Đồ họa

Tuần 5

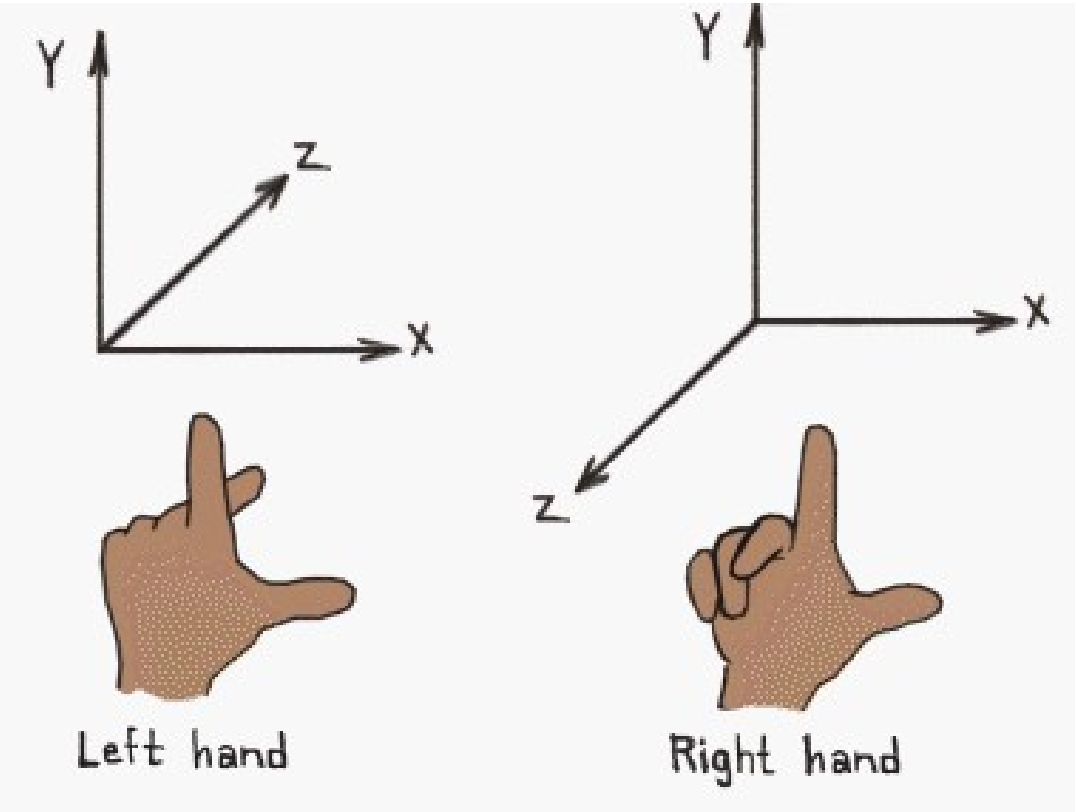
Giảng viên: Trần Đức Minh

Nội dung bài giảng

- Trục tọa độ 3D
- Biến đổi tọa độ 3D
- Xác định mặt trong và mặt ngoài của đa giác
- Cấu trúc dữ liệu xây dựng mô hình 3D
- Các phép biến đổi hình 3D
- Dựng hình 3D
- Các ví dụ

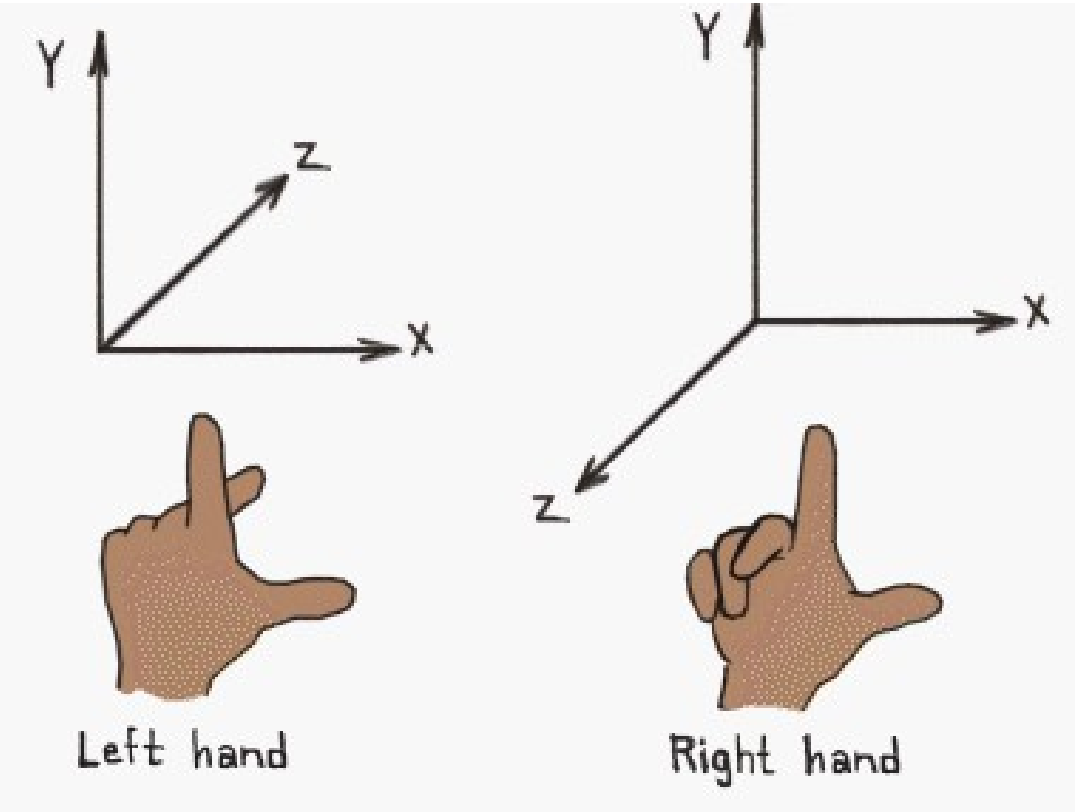
Trục tọa độ 3D trên WebGL

- Trục tọa độ của WebGL
  - Theo quy tắc bàn tay trái



Trục tọa độ 3D của người sử dụng

- Trục tọa độ của người sử dụng
  - Theo quy tắc bàn tay phải



Biến đổi tọa độ 3D

- Cần **biến đổi** từ trục tọa độ người sử dụng sang trục toạ độ WebGL **để hiển thị thông tin** lên màn hình cho đúng.
- Công thức:

$x_{webgl} = x_{user} / width;$

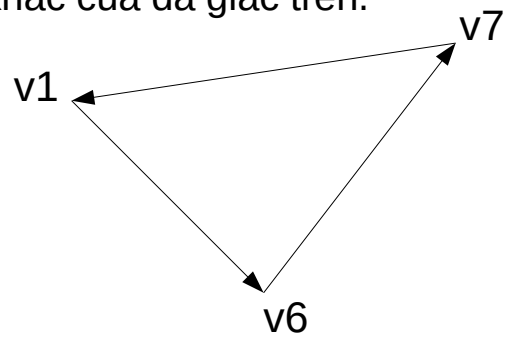
$y_{webgl} = y_{user} / height;$

$z_{webgl} = -z_{user} / depth;$

Với **width**, **heigth**, **depth** là **chiều rộng, chiều cao, chiều sâu** tối đa được thiết lập trên trục tọa độ của người sử dụng.

Mặt trong và mặt ngoài của đa giác

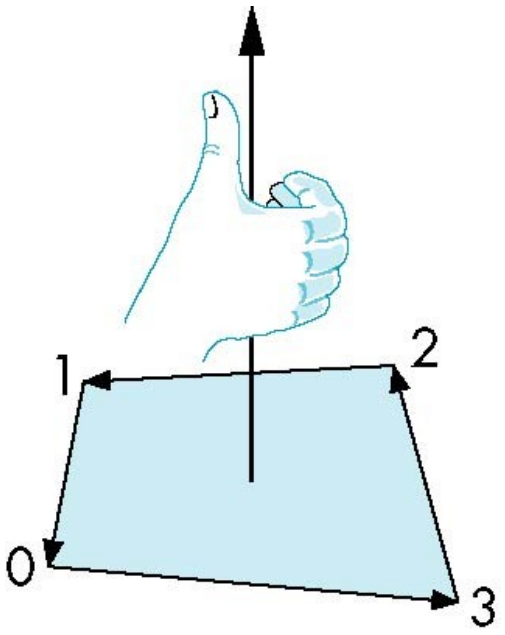
- Tất cả khối hình học 3D trong WebGL đều được tạo nên bởi một tập hợp các đa giác, trong đó mỗi đa giác đều thuộc một mặt phẳng nào đó, do đó các đa giác đều tồn tại 2 mặt được gọi là **mặt trong** và **mặt ngoài**.
- Khi WebGL vẽ đa giác, mặt trong hay mặt ngoài của đa giác được thể hiện bởi **thứ tự của các đỉnh**.
  - Ví dụ:
    - Các tập hợp đỉnh {v1, v6, v7} hay {v6, v7, v1} hay {v7, v1, v6} là tương đương và đều thể hiện cùng một mặt của một đa giác.
    - Tuy nhiên tập hợp đỉnh {v1, v7, v6} thì lại thể hiện mặt khác của đa giác trên.



- WebGL có thể **xử lý mặt trong và mặt ngoài của một đa giác là khác nhau**
  - Ví dụ: Trong một khối 3D, các texture của mặt trong sẽ bị ẩn đi còn của mặt ngoài thì được hiện ra.

Mặt trong và mặt ngoài của đa giác

- Sử dụng **quy tắc bàn tay phải** để xác định thứ tự tập đỉnh cho mặt ngoài của đa giác
  - Để ngón trỏ của bàn tay phải về hướng vuông góc với mặt bạn coi đó là mặt ngoài.
  - Khum, chụm và tạo độ cong 4 ngón tay còn lại. Hướng của 4 ngón tay, chính là hướng đi thứ tự của các đỉnh.

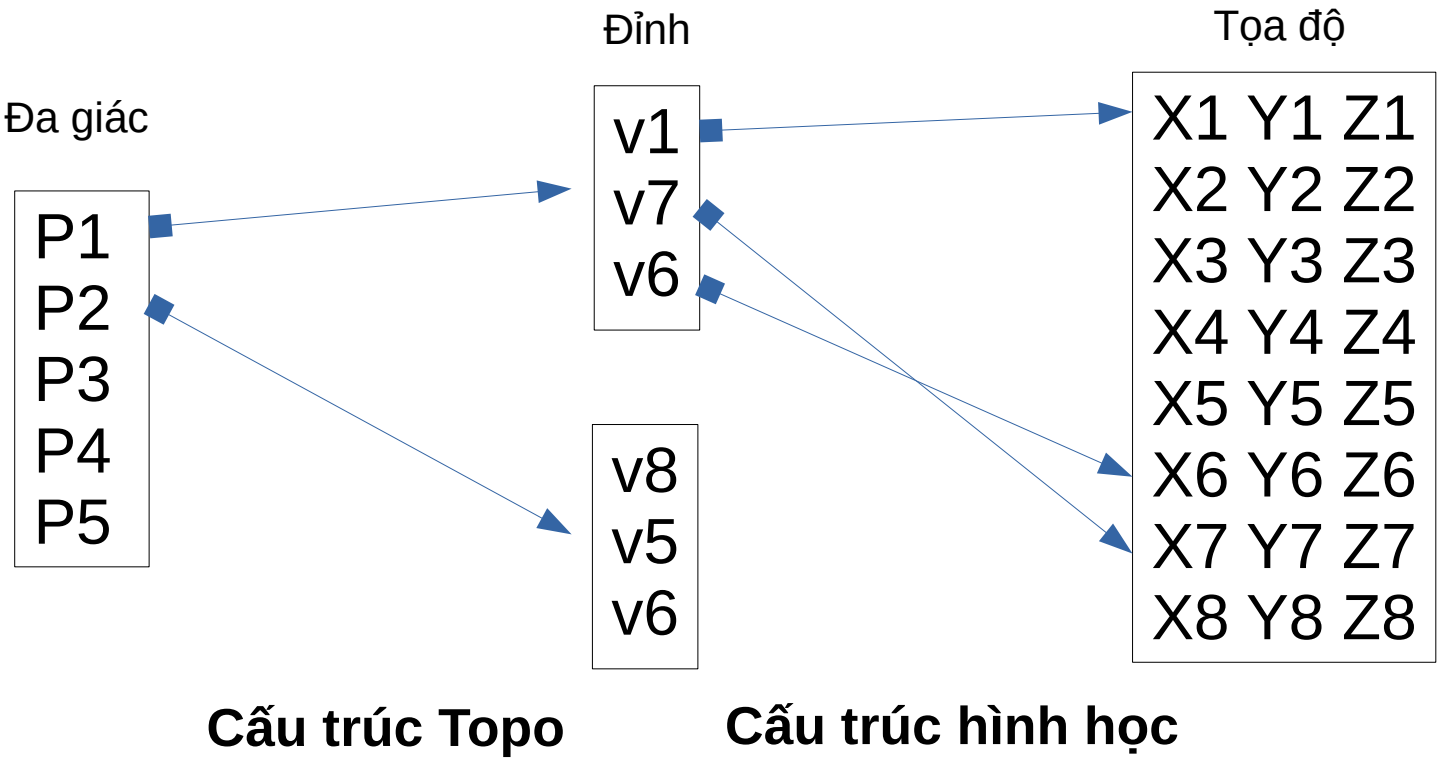


Cấu trúc dữ liệu xây dựng mô hình 3D

- Khi xây dựng cấu trúc dữ liệu cho mô hình, ta cần cố gắng chia tách riêng rẽ **cấu trúc hình học** và **cấu trúc tôpô**.
  - Cấu trúc hình học là vị trí của các đỉnh.
  - Cấu trúc tôpô thể hiện mối liên hệ của các đỉnh và các cạnh.
    - Ví dụ: Đa giác là một danh sách các đỉnh có thứ tự với cạnh nối các cặp đỉnh liên tiếp và nối đỉnh cuối cùng với đỉnh đầu tiên.
    - Cấu trúc tôpô không đổi ngay cả khi cấu trúc hình học thay đổi.
- Có 2 dạng cấu trúc dữ liệu cơ bản để dựng một mô hình 3D
  - **Dựa trên danh sách đỉnh**
  - **Dựa trên danh sách cạnh**

Cấu trúc dữ liệu xây dựng mô hình 3D

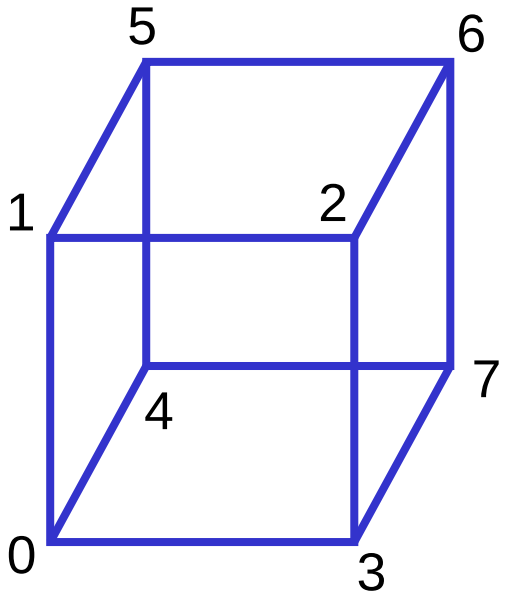
- Cấu trúc dữ liệu dựa trên danh sách đỉnh



Cấu trúc dữ liệu xây dựng mô hình 3D

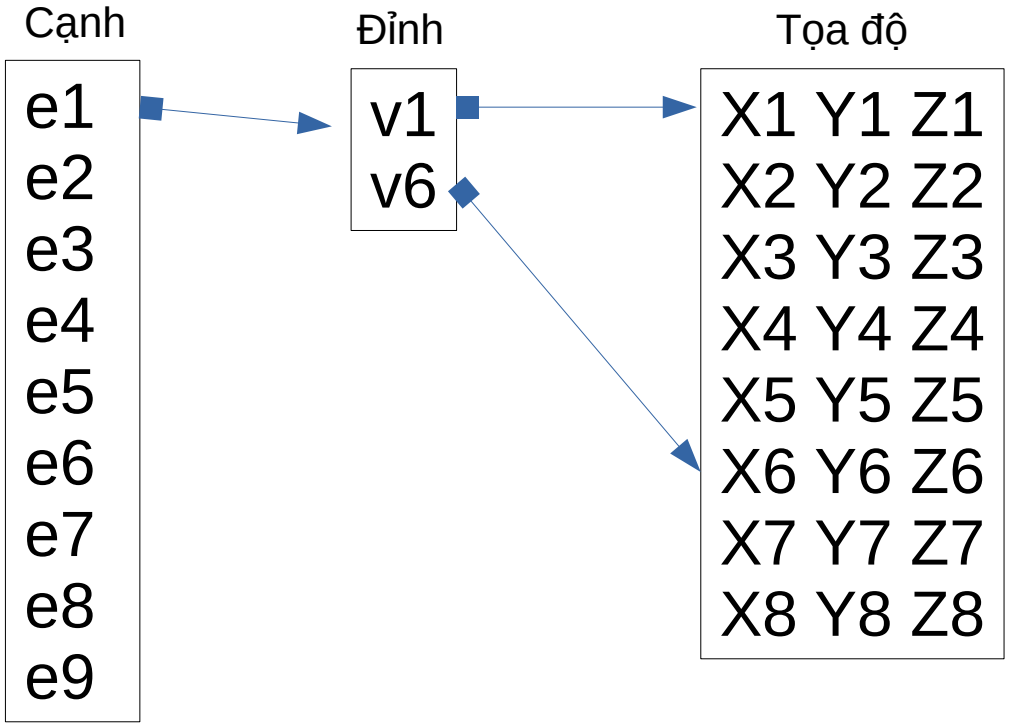
- Cấu trúc dữ liệu dựa trên danh sách đỉnh
  - Ví dụ: Vẽ hình hộp như trong hình bên dưới
    - Chú ý thứ tự các đỉnh khi vẽ đa giác để xác định mặt ngoài cho chính xác.
    - Hàm quad(…) sẽ vẽ một đa giác gồm 4 đỉnh.
  - Thực hiện

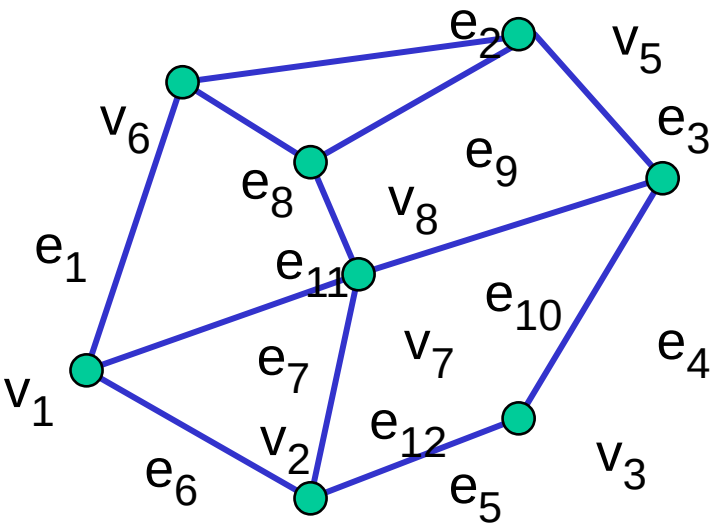
```
quad(0, 3, 2, 1);
quad(2, 3, 7, 6);
quad(0, 4, 7, 3);
quad(1, 2, 6, 5);
quad(4, 5, 6, 7);
quad(0, 1, 5, 4);
```



Cấu trúc dữ liệu xây dựng mô hình 3D

- Cấu trúc dữ liệu dựa trên danh sách cạnh





Trong cấu trúc này ta không cần mô tả các đa giác

Ví dụ 1

- Vẽ một khối lập phương lên màn hình với tọa độ của mỗi đỉnh dựa trên tọa độ người sử dụng.
  - Mỗi mặt của hình lập phương là một màu khác nhau.
  - Sử dụng cấu trúc dữ liệu dựa trên danh sách đỉnh.

Phép biến đổi Affine

- Giả sử trên không gian 3 chiều ta có một điểm P có tọa độ **(P_x, P_y, P_z)**.
- Thông qua một phép biến đổi **T** nào đó, ta cần biến đổi điểm P thành một điểm Q có tọa độ là **(Q_x, Q_y, Q_z)**
- Trong không gian Affine, tọa độ của Q là tổ hợp tuyến tính của tọa độ P.

$$Q_x = m_{11}P_x + m_{12}P_y + m_{13}P_z + m_{14}$$

$$Q_y = m_{21}P_x + m_{22}P_y + m_{23}P_z + m_{24}$$

$$Q_z = m_{31}P_x + m_{32}P_y + m_{33}P_z + m_{34}$$

Phép biến đổi Affine

- Có 2 cách biểu diễn dựa trên ma trận để thể hiện mối quan hệ giữa P và Q
  - Cách 1:

$$\begin{pmatrix} Q_x \\ Q_y \\ Q_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} m_{14} \\ m_{24} \\ m_{34} \end{pmatrix}$$

  - Cách 2 (Ma trận đồng nhất):

$$\begin{pmatrix} Q_x \\ Q_y \\ Q_z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \\ 1 \end{pmatrix}$$

  - **Trong khóa học này ta chọn cách thứ 2.**

Phép biến đổi hình 3D

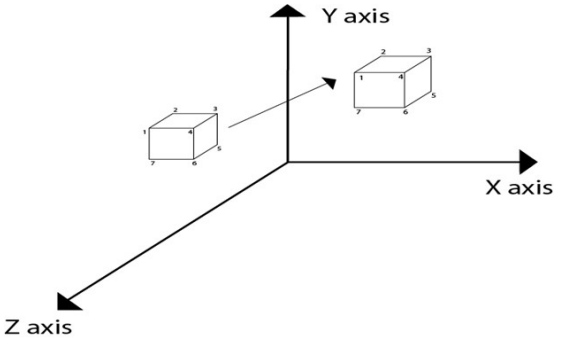
- Phép tịnh tiến

$$Q_x = P_x + m_{14}$$

$$Q_y = P_y + m_{24}$$

$$Q_z = P_z + m_{34}$$

$$\begin{pmatrix} Q_x \\ Q_y \\ Q_z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & m_{14} \\ 0 & 1 & 0 & m_{24} \\ 0 & 0 & 1 & m_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \\ 1 \end{pmatrix}$$

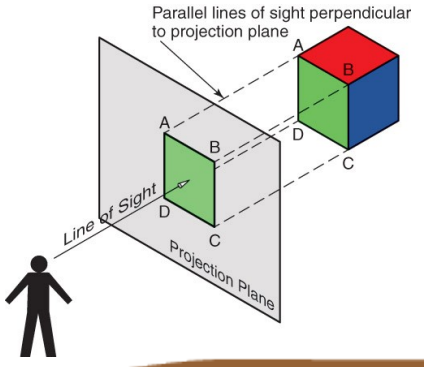


  - Ví dụ: Dịch chuyển một điểm theo trục X 5 đơn vị, trục Y 2 đơn vị và trục Z 6 đơn vị ta sử dụng ma trận biến đổi sau

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \mathbf{5} \\ 0 & 1 & 0 & \mathbf{2} \\ 0 & 0 & 1 & \mathbf{6} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

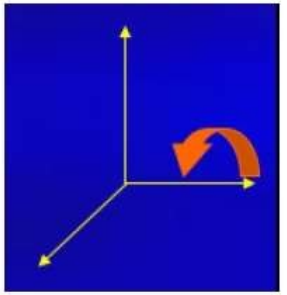
Ví dụ 2

- Vẽ một hình hộp chữ nhật lên màn hình, sau đó **tịnh tiến hình hộp chữ nhật** bằng việc thiết lập các giá trị dịch chuyển cho trục X, trục Y và trục Z.
  - Chú ý: Do trục Z mặc định nằm trên đường thẳng nối mắt người sử dụng với gốc tọa độ, và phép chiếu mặc định là phép chiếu song song nên ta không cảm nhận được phép tịnh tiến khi thay đổi giá trị dịch chuyển cho trục Z.

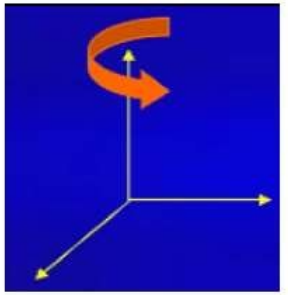


Phép biến đổi hình 3D

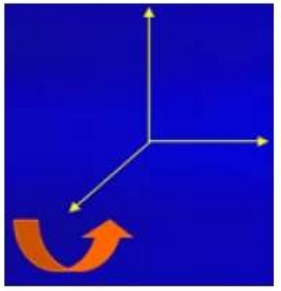
- Phép quay



Rotation about x-axis



Rotation about y-axis



Rotation about z-axis

- Phép quay quanh trục X

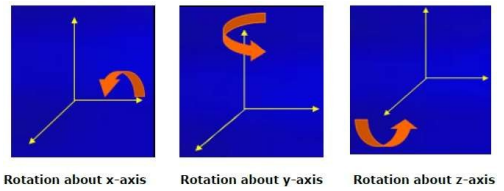
$Q_x = P_x$

$Q_y = \cos(\theta)P_y - \sin(\theta)P_z$

$Q_z = \sin(\theta)P_y + \cos(\theta)P_z$

$$\begin{pmatrix} Q_x \\ Q_y \\ Q_z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ 0 & \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \\ 1 \end{pmatrix}$$

Phép biến đổi hình 3D



- Phép quay quanh trục Y

$Q_x = \cos(\theta)P_x + \sin(\theta)P_z$

$Q_y = P_y$

$Q_z = -\sin(\theta)P_x + \cos(\theta)P_z$

$$\begin{pmatrix} Q_x \\ Q_y \\ Q_z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & \sin(\theta) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \\ 1 \end{pmatrix}$$

- Phép quay quanh trục Z

$Q_x = \cos(\theta)P_x - \sin(\theta)P_y$

$Q_y = \sin(\theta)P_x + \cos(\theta)P_y$

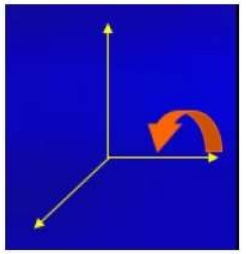
$Q_z = P_z$

$$\begin{pmatrix} Q_x \\ Q_y \\ Q_z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \\ 1 \end{pmatrix}$$

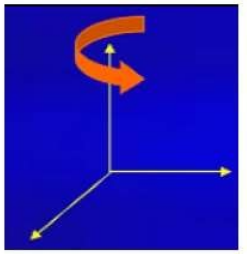
Phép biến đổi hình 3D

- Ví dụ: Quay một điểm quanh trục X một góc 45 độ, ta sử dụng ma trận sau

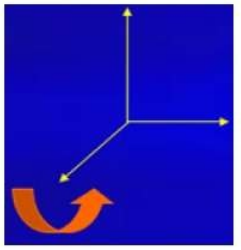
$$\begin{pmatrix} Q_x \\ Q_y \\ Q_z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{-\sqrt{2}}{2} & 0 \\ 0 & \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \\ 1 \end{pmatrix}$$



Rotation about x-axis



Rotation about y-axis



Rotation about z-axis

Ví dụ 3

- Vẽ một hình hộp chữ nhật lên màn hình, sau đó **quay hình hộp chữ nhật** quanh trục X, trục Y hoặc trục Z bằng việc thiết lập các góc quay.
  - Chú ý:
    - Thiết lập góc quay từ 0 độ cho đến 360 độ.
    - Sử dụng các hàm **cos**, **sin** có sẵn trong thư viện của GLSL. Đầu vào của các hàm này là các tham số góc theo Radian.
    - Sử dụng các hàm **radians** có sẵn trong thư viện của GLSL để chuyển đổi một từ độ sang radian.

Ví dụ 4

- Vẽ một hình hộp chữ nhật lên màn hình, sau đó cho **hình hộp chữ nhật** quay liên tục. Quay quanh trục nào sẽ do người sử dụng điều khiển thông qua các Button.

Quay quanh trục X | Quay quanh trục Y | Quay quanh trục Z

Phép biến đổi hình 3D

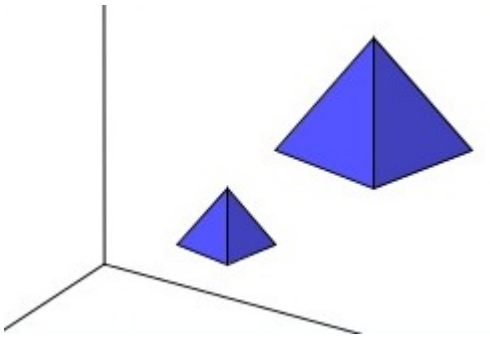
- Phép biến đổi tỉ lệ

$$Q_x = S_x P_x$$

$$Q_y = S_y P_y$$

$$Q_z = S_z P_z$$

$$\begin{pmatrix} Q_x \\ Q_y \\ Q_z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \\ 1 \end{pmatrix}$$



  - Ví dụ: Biến đổi tỷ lệ một hình theo tỉ lệ đối với trục X là 1.5, với trục Y là 0.6 và với trục Z là 2.1 ta sử dụng ma trận sau

$$\begin{pmatrix} \mathbf{1.5} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{0.6} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{2.1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Ví dụ 5

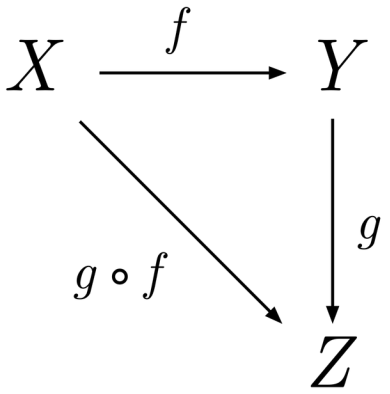
- Vẽ một hình hộp chữ nhật lên màn hình, sau đó **biến đổi tỷ lệ hình hộp** bằng việc thiết lập các giá trị tỷ lệ cho trục X, trục Y và trục Z.
  - Chú ý: Với giá trị nằm trong khoảng (0, 1), hình sẽ bị thu nhỏ.

Ví dụ 6

- Dựa trên Ví dụ 4, thêm chức năng phóng to và thu nhỏ hình hộp chữ nhật trong khi đang quay.

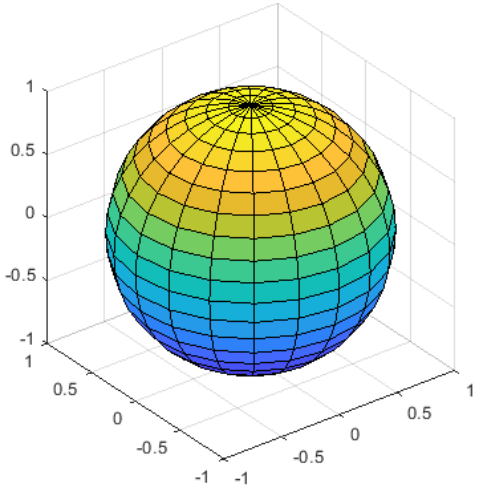
Phép biến đổi hình 3D

- Phép biến đổi tổ hợp
  - Cũng giống như phép biến đổi hình 2D, trong thực tế, ta thường phải thực hiện **các phép biến đổi phức tạp** bằng các **phép biến đổi tổ hợp**.
    - Ví dụ: Quay hình quanh một trục bất kỳ.
  - Công thức để xây dựng các phép biến đổi tổ hợp trong mô hình 3D cũng giống như trong mô hình 2D.

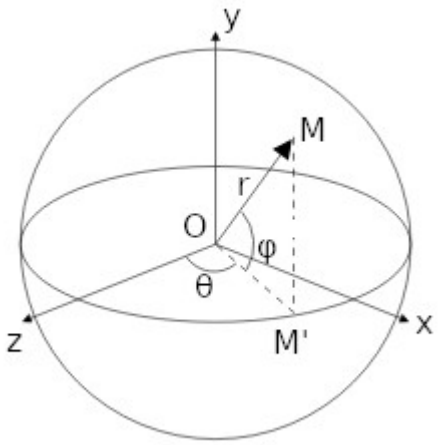


Ví dụ về dựng hình cầu

- Sử dụng các đường **kinh tuyến** và **vĩ tuyến**.
  - Tính toán để vẽ các ô hình chữ nhật **dựa trên các đỉnh giao cắt giữa kinh tuyến và vĩ tuyến**.
  - Khi khoảng cách giữa các đường kinh tuyến và vĩ tuyến càng nhỏ thì hình cầu sẽ càng mịn và càng chính xác.



Vẽ hình cầu dựa trên kinh tuyến và vĩ tuyến



- Giả sử
  - **O** là gốc tọa độ.
  - **M** là một điểm nằm trên mặt cầu.
  - **M’** là hình chiếu của điểm M lên mặt phẳng được tạo bởi trục X và trục Z (MM’ vuông góc với mặt phẳng này)
  - **r** là bán kính của hình cầu, cũng có độ dài bằng với đoạn thẳng OM.
  - **φ** là góc được tạo bởi góc MOM’.
  - **θ** là góc được tạo bởi góc giữa tia OM’ và trục tọa độ Z.

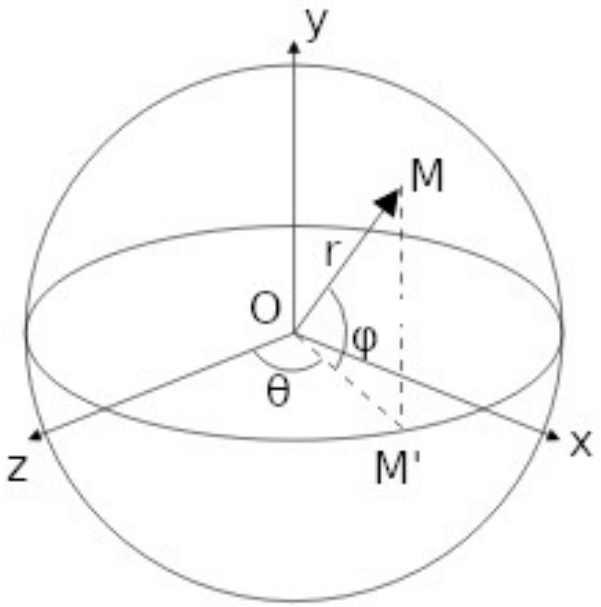
Vẽ hình cầu dựa trên kinh tuyến và vĩ tuyến

- Ta có công thức để tính **tọa độ (x, y, z) của điểm M theo bán kính r và 2 góc θ và φ** như sau:

$$M_x = r * \sin(\theta) * \cos(\varphi)$$

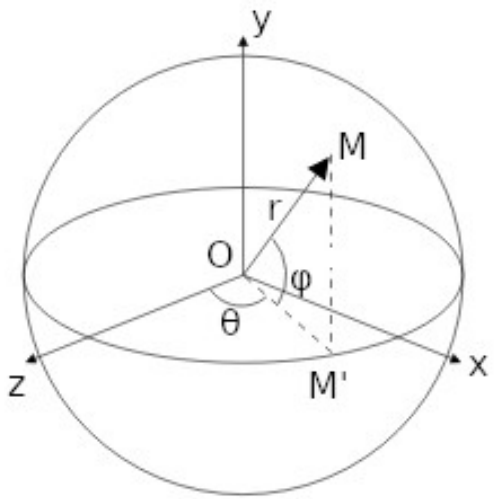
$$M_y = r * \sin(\varphi)$$

$$M_z = r * \cos(\theta) * \cos(\varphi)$$

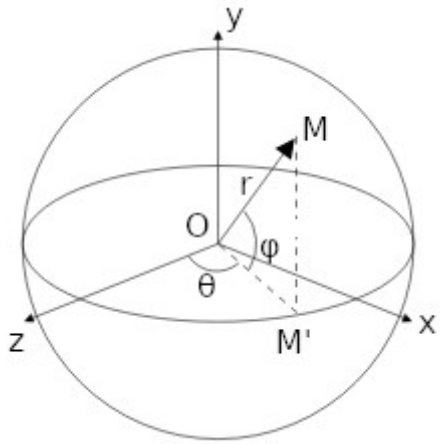


Vẽ hình cầu dựa trên kinh tuyến và vĩ tuyến

- Nhận xét
  - Tất cả các điểm trên mặt cầu đều có thể được vẽ bằng cách **thay đổi giá trị của các góc θ và φ**.
    - **Góc φ** sẽ thay đổi từ -90 độ đến 90 độ.
    - **Góc θ** sẽ thay đổi từ 0 độ đến 360 độ.



Vẽ hình cầu dựa trên kinh tuyến và vĩ tuyến



- Thuật toán

```
for ( -90 <= φ <= (90 - φjump); φ += φjump)
    if (φ == -90)
        for(0 <= θ <= (360 - θjump); θ += θjump)
            veTamGiac({r, θ, φ}, {r, θ, φ+φjump}, {r, θ+θjump, φ+φjump});
    else if (φ == (90 – φjump))
        for(0 <= θ <= (360 - θjump); θ += θjump)
            veTamGiac({r, θ, φ}, {r, θ+θjump, φ}, {r, θ, φ+φjump});
    else
        for(0 <= θ <= (360 - θjump); θ += θjump)
            veTuGiac( {r, θ, φ}, {r, θ+θjump, φ}, {r, θ+θjump, φ+φjump}, {r, θ, φ+φjump} );
```

- Chú ý:
  - Thủ tục **VeTuGiac** có 4 đỉnh đưa vào và phải tuân theo quy tắc bàn tay phải.

Ví dụ 7

- Vẽ một hình cầu theo thuật toán đã nêu ở trên, với các đỉnh tại kinh tuyến và vĩ tuyến cách đều nhau một khoảng 10 độ và mỗi tứ giác tạo nên hình cầu có một màu ngẫu nhiên.

Ví dụ 8

- Dựa trên ví dụ 7, nhưng cho **hình cầu** quay liên tục. Quay quanh trục nào sẽ do người sử dụng điều khiển thông qua các Button.
  - Thay đổi các giá trị φ_{jump} và θ_{jump} trong mã nguồn để thấy sự thay đổi của hình cầu.

Quay quanh trục X | Quay quanh trục Y | Quay quanh trục Z

Hết Tuần 5

Cảm ơn các bạn đã chú ý lắng nghe !!!