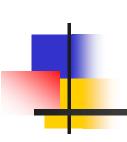
# TRƯỜNG ĐẠI HỌC THỦY LỢI Khoa Công nghệ Thông tin Bộ môn KHMT



# ĐỒ HỌA MÁY TÍNH (Computer Graphics)

Ngô Trường Giang

E-mail: giangnt@tlu.edu.vn

## Nội dung

- Tổng quan đồ họa máy tính
- Màu và phối màu
- Thuật toán cơ sở vẽ đồ họa
- Các kỹ thuật trong đồ họa 2D
- Phép biến đổi đồ họa 2D
- Phép biến đổi đồ họa 3D
- Quan sát đồ họa 3D
- Mô hình hóa bề mặt



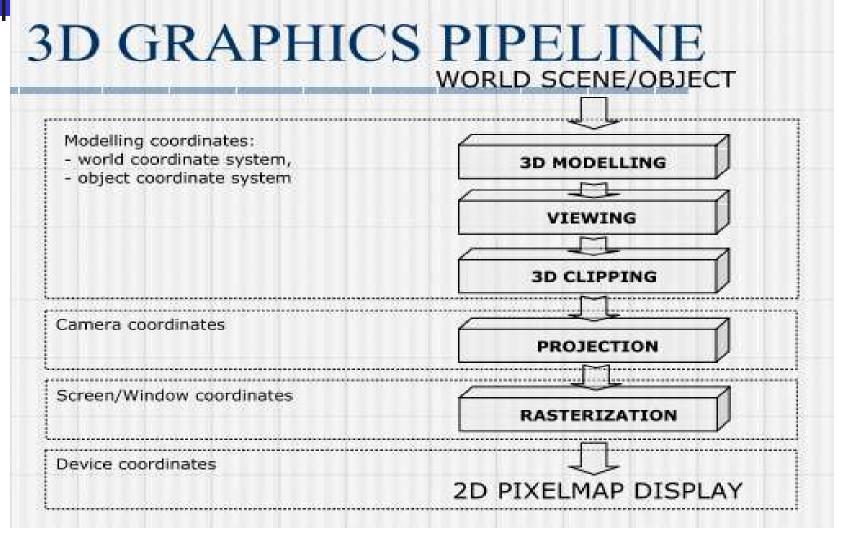
## QUAN SÁT ĐỒ HỌA 3D

- Nguyên lý hiển thị 3D
- Các phép chiếu
- Biến đổi quan sát
- Loại bỏ mặt khuất
- Tô bóng

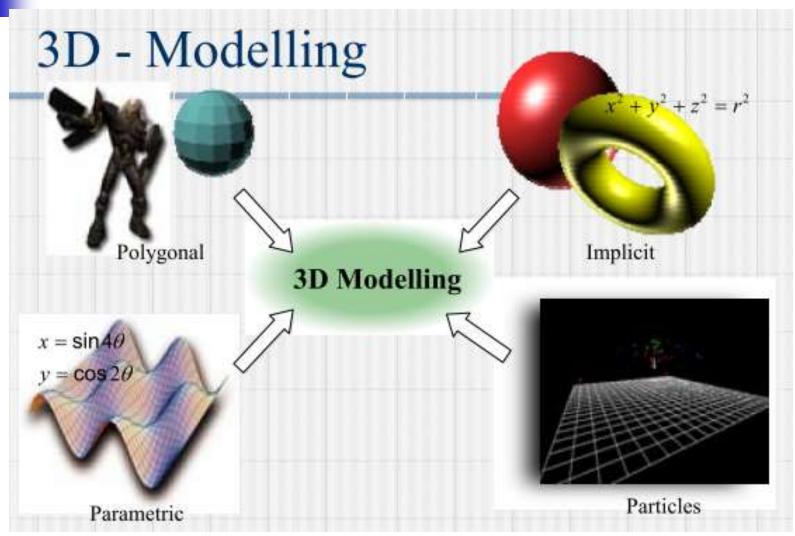
## 1. Nguyên lý hiển thị 3D

- Đồ họa 3 chiều 3D computer graphics bao gồm việc bổ xung kích thước về chiều sâu của đối tượng, cho phép ta biểu diễn chúng trong thế giới thực một cách chính xác và sinh động hơn.
- Tuy nhiên các thiết bị truy xuất hiện tại đều là 2 chiều, Do vậy việc biểu diễn được thực thi thông qua phép tô chát render để gây ảo giác illusion về độ sâu
- 3D Graphics là việc chyển thế giới tự nhiên dưới dạng các mô hình biểu diễn trên các thiết bị hiển thị thông qua kỹ thuật tô chát (rendering).

# Nguyên lý hiển thị 3D

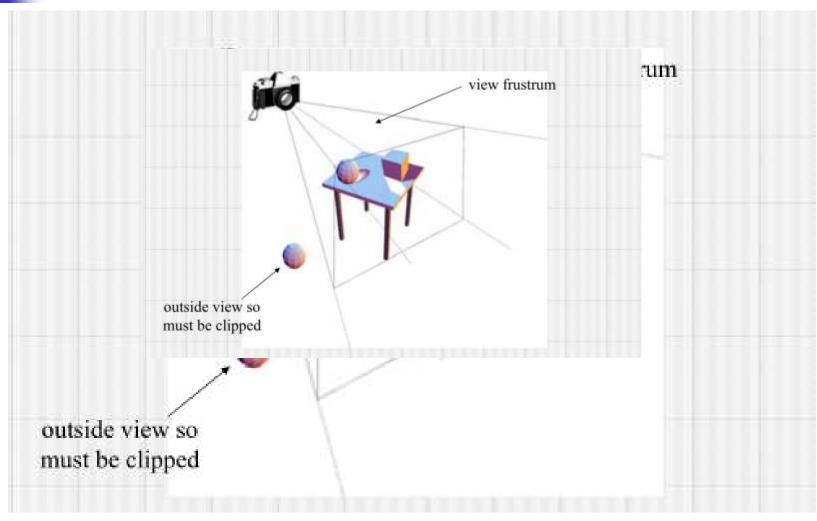


#### 3D - Modelling



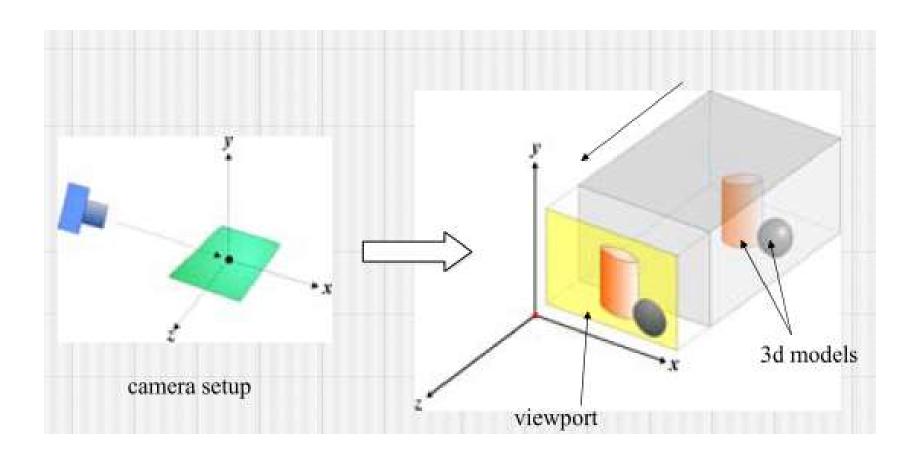
Quan sát đồ họa ba chiều

# Clipping 3D

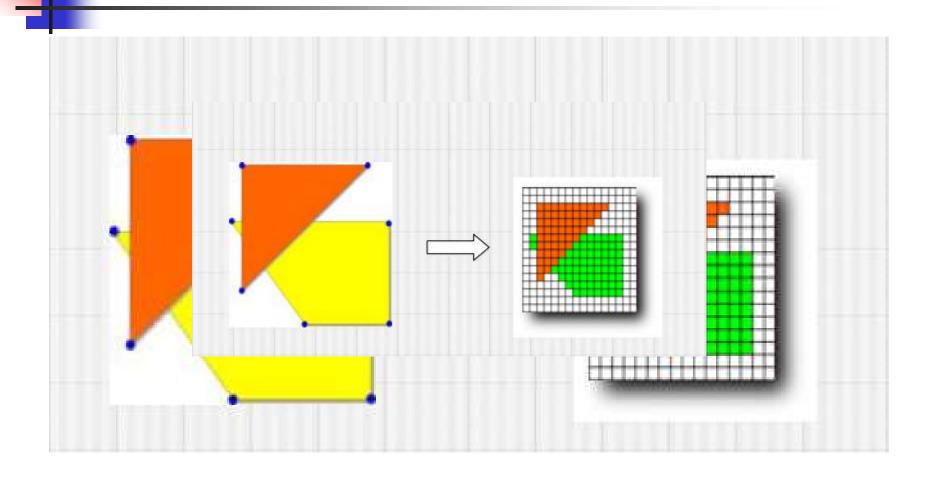


Quan sát đồ họa ba chiều

# Viewing and Projection



## Rasterization



#### 2. Các phép chiếu

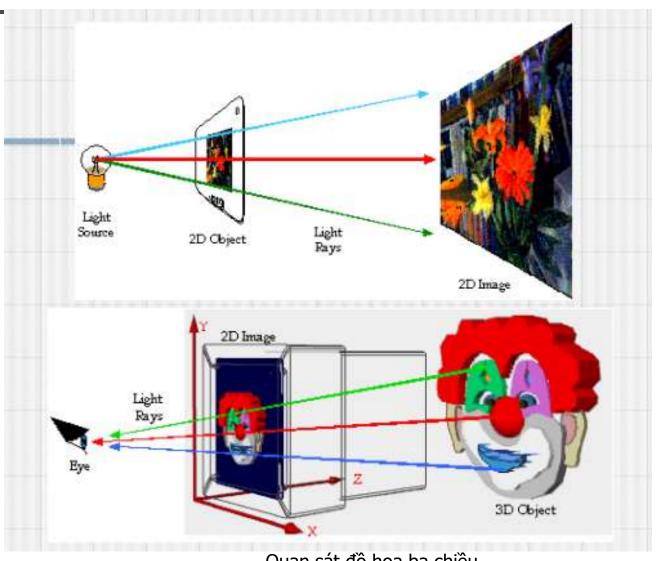
#### Định nghĩa về phép chiếu

Một cách tổng quát, phép chiếu là phép chuyển đổi những điểm của đối tượng trong hệ thống tọa độ n chiều thành những điểm trong hệ thống tọa độ có số chiều nhỏ hơn n.

#### • Định nghĩa về hình chiếu

Anh của đối tượng trên mặt phẳng chiếu được hình thành từ phép chiếu bởi các đường thẳng gọi là tia chiếu (projector) xuất phát từ một điểm gọi là tâm chiếu (center of projection) đi qua các điểm của đối tượng giao với mặt chiếu (projection plan).

# Các phép chiếu(tt)

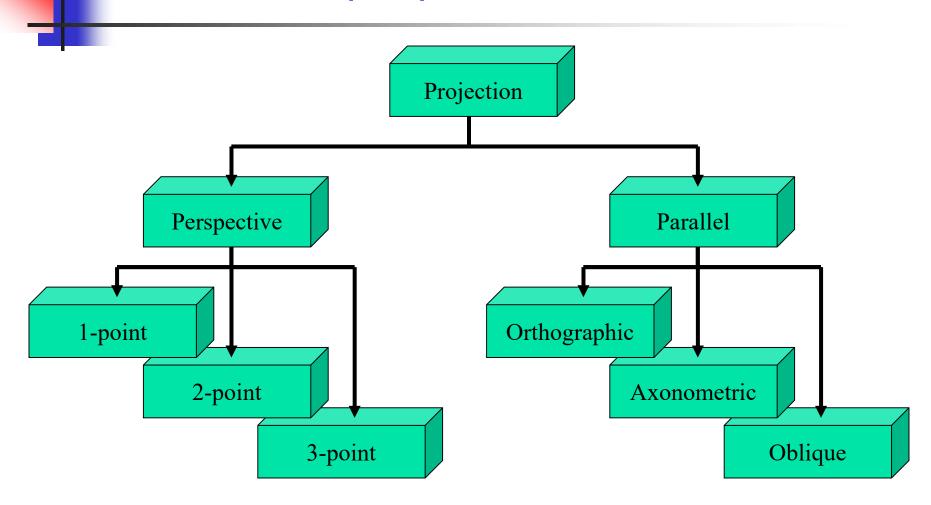


Quan sát đồ họa ba chiều

# Các phép chiếu(tt)

- Phép chiếu song song (parallel projection)
  - Toàn bộ các điểm đối tượng được chiếu trên mặt phẳng theo các đường song song
  - Giữ kích thước tương đối của đối tượng. Dùng để quan sát chính xác các mặt khác nhau của đối tượng. Nhưng không cho phép biểu diễn thực đối tượng 3-D trên mặt 2D.
- Phép chiếu phối cảnh (perspective projection)
  - Các điểm của đối tượng được chiếu theo đường hội tụ (converge) đến một vị trí gọi là tâm phép chiếu

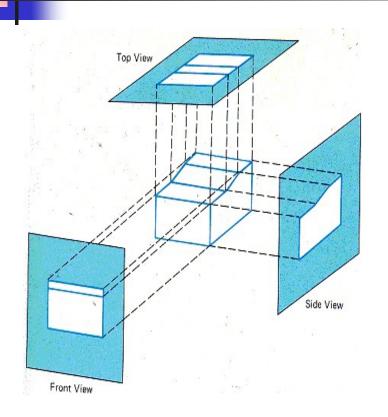
# Phân loại các phép chiếu

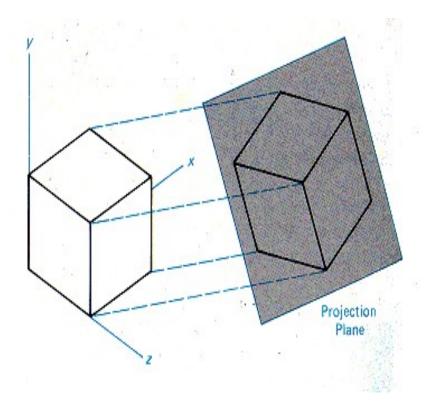


# Phép chiếu song song

- Phép chiếu song song Parallel Projections là phép chiếu mà ở đó các tia chiếu song song với nhau hay xuất phát từ điểm vô cùng
  - Toàn bộ các điểm đối tượng được chiếu trên mặt phẳng theo các đường song song
  - Giữ kích thước tương đối của đối tượng.
  - Dùng để quan sát chính xác các mặt khác nhau của đối tượng. Nhưng không cho phép biểu diễn thực đối tượng 3-D trên mặt 2D.

# Phép chiếu song song





## Phân loại phép chiếu song song

- Phép chiếu song song được phân loại dựa trên hướng của tia chiếu Direction Of Projection và mặt phẳng chiếu - projection plane
  - Phép chiếu trực giao (Orthographic projection) là phép chiếu song song và tia chiếu vuông góc với mặt phẳng chiếu thường dùng mặt phẳng z=0
  - Phép chiếu xiên: chiếu điểm đối tượng theo đường song song mà không vuông góc với mặt chiếu.

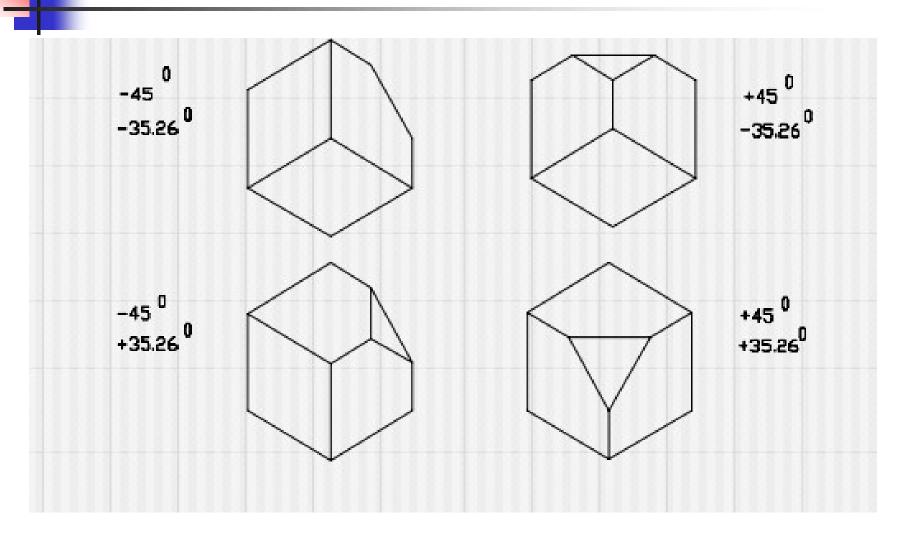
# Phép chiếu trực giao

- Phép chiếu trực giao cho quan sát được nhiều mặt của đối tượng.
  - Phương pháp hay dùng nhất của loại này được gọi là chiếu trục đo hay phép chiếu cùng kích thước (isometric).
  - Phép chiếu isometric có được nhờ chọn mặt phẳng chiếu sao cho chúng cắt cả ba trục tọa độ định nghĩa đối tượng với cùng khoảng cách từ gốc tọa độ.

## Phép chiếu Isometric

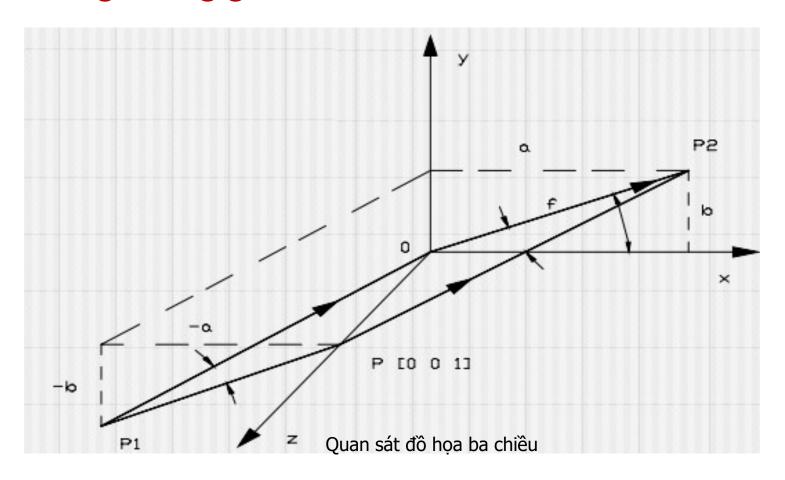
- Là phép chiếu trục lượng mà ở đó hệ số co cạnh trên
   3 trục là bằng nhau
- Góc quay tương ứng là 35.26<sup>0</sup> và 45<sup>0</sup>
- Được ứng dụng nhiều trong việc xây dựng các góc quan sát chuẩn cho đối tượng trong các hệ soạn thảo đồ họa

# Phép chiếu Isometric



# Phép chiếu Xiên- Oblique

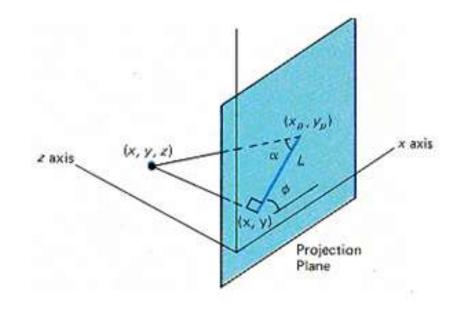
 Chiếu điểm đối tượng theo đường song song mà không vuông góc với mặt chiếu.



## Phép chiếu Xiên- Oblique

Đường chiếu xiên sẽ tạo ra góc α với đường nối (x<sub>p</sub>,y<sub>p</sub>) và (x,y) trên mặt chiếu. Đoạn này có độ dài L và tạo thành góc φ với đường nằm ngang trên mặt chiếu. Tọa độ chiếu sẽ là:

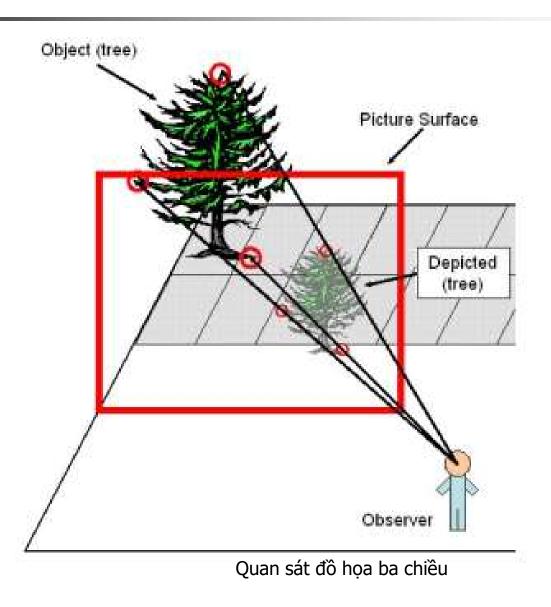
$$x_p = x + L\cos\phi$$
$$y_p = y + L\sin\phi$$



## Phép chiếu phối cảnh

- Phép chiếu phối cảnh(Perspective Projections) là phép chiếu mà các tia chiếu không song song với nhau mà xuất phát từ 1 điểm gọi là tâm chiếu. Phép chiếu phối cảnh tạo ra hiệu ứng về luật xa gần tạo cảm giác về độ sâu của đối tượng trong thế giới thật mà phép chiếu song song không lột tả được.
- Các đoạn thẳng song song của mô hình 3D sau phép chiếu hội tụ tại 1 điểm gọi là điểm triệt tiêu (tâm chiếu) - vanishing point

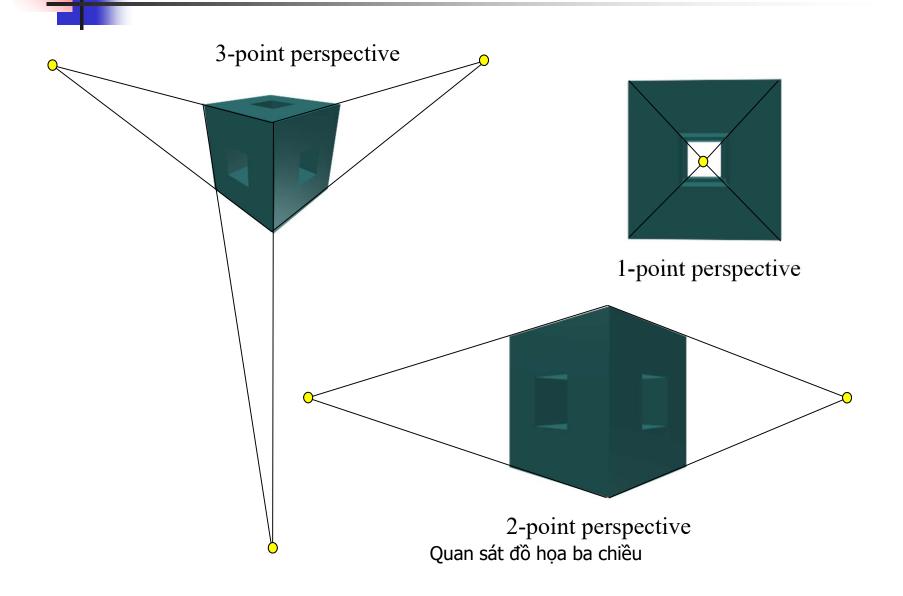
# Phép chiếu phối cảnh(tt)



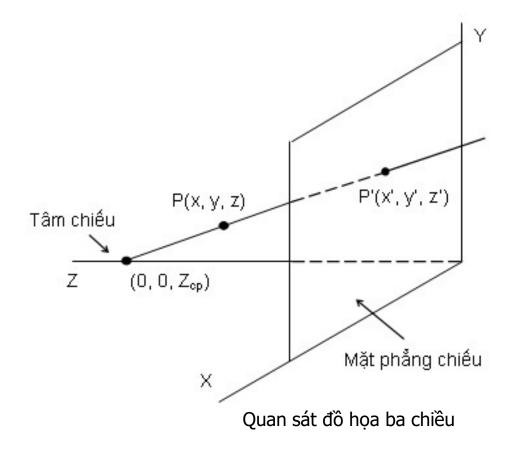
## Phép chiếu phối cảnh(tt)

- Phân loại phép chiếu phối cảnh dựa vào tâm chiếu -Centre Of Projection (COP) và mặt phẳng chiếu projection plane
  - Một tâm chiếu khi mặt chiếu song song với 2 trục chính.
  - 2 tâm chiếu khi mặt chiếu song song với 1 trục chính.
  - 3 tâm chiếu khi mặt chiếu không song song với bất kỳ trục chính nào

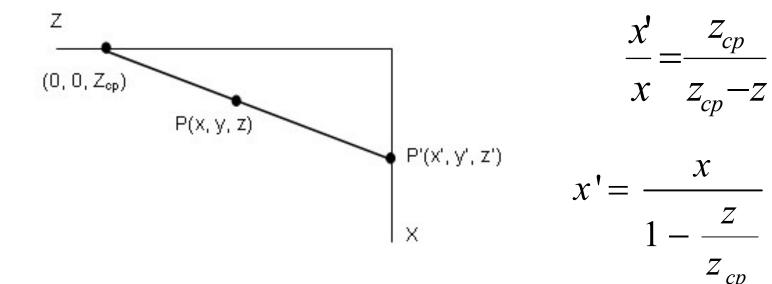
# Phép chiếu phối cảnh(tt)



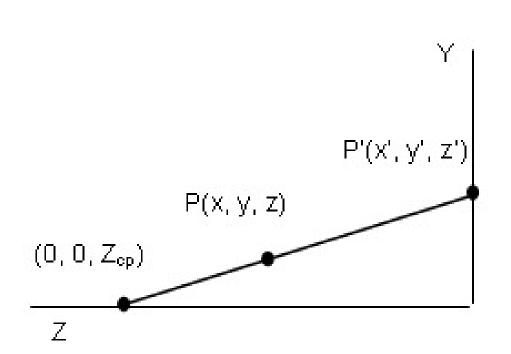
■ Tâm chiếu trên trục z có giá trị *Zcp*. (Có thể chọn tâm chiếu bất kỳ theo yêu cầu )



- Giả sử ta có điểm P(x, y, z) trong không gian. Hình chiếu phối cảnh của điểm P trên mặt phẳng xy là điểm P'(x', y', z') được xác định như sau
  - Nhìn theo trục y về phía gốc tọa độ



■ Nhìn theo trục x về phía gốc tọa độ



$$\frac{y}{y} = \frac{z_{cp}}{z_{cp} - z}$$

$$y' = \frac{y}{1 - \frac{z}{z_{cp}}}$$

$$P' = \begin{bmatrix} x' & y' & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{x}{1 - \frac{z}{z_{cp}}} & \frac{y}{1 - \frac{z}{z_{cp}}} & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 0 & \left(1 - \frac{z}{z_{cp}}\right) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{z_{cp}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ma trận chiếu phối cảnh sẽ là

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{z_{cp}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

#### Bài tập ví dụ

Cho hình chóp ABCD. A(5,5,5), B(7,5,5), C(5,8,5), D(5,5,9). Tìm tọa độ mới của hình chóp sau khi chiếu nó lên mặt phẳng z=0 với tâm chiếu P(11,11,11).

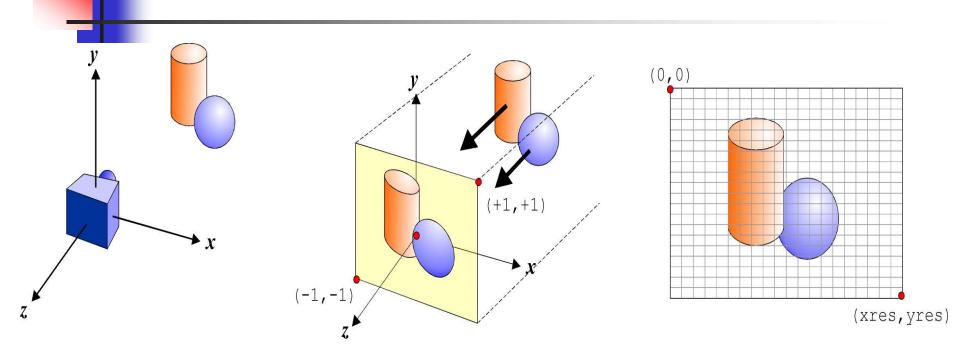
## 3. Biến đổi quan sát

- Phát sinh quan sát đối tượng 3-D tương tự chụp ảnh đối tượng. Chụp ảnh từ góc độ, khoảng cách khác nhau.
- Ý tưởng này trùng hợp với hệ thống đồ họa máy tính. Ta yêu cầu người dùng xác định điểm từ đó để quan sát đối tượng.
  - Xác định mặt phẳng quan sát(view plane)
  - Xác định khối quan sát(view volumes)

## Mặt phẳng quan sát

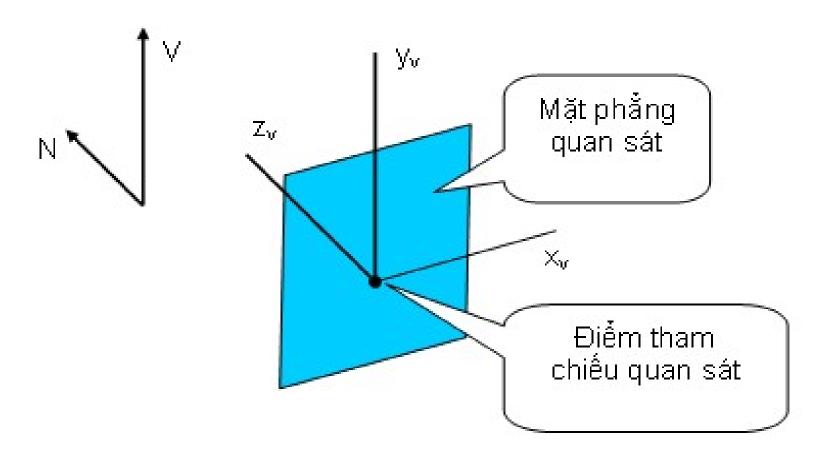
- Người dùng chỉ định rõ cách nhìn cụ thể cảnh bằng việc định nghĩa một mặt phẳng quan sát (view plane).
- Mặt phẳng quan sát là bề mặt để ta chiếu quang cảnh của một đối tượng lên đó. Chúng ta có thể nghĩ về nó như film trong một camera, cái được bố trí và được định hướng để đặt các bức ảnh được yêu cầu vào
- Mặt phẳng quan sát được xây dựng bằng việc định rõ hệ quan sát (view coordinate system)

# Mặt phẳng quan sát



Để xây dựng hệ tọa độ quan sát, người sử dụng lấy vị trí tọa độ thế giới thực để làm điểm tham chiếu quan sát (view reference point); đó sẽ là tọa độ gốc của hệ thống tọa độ quan sát.

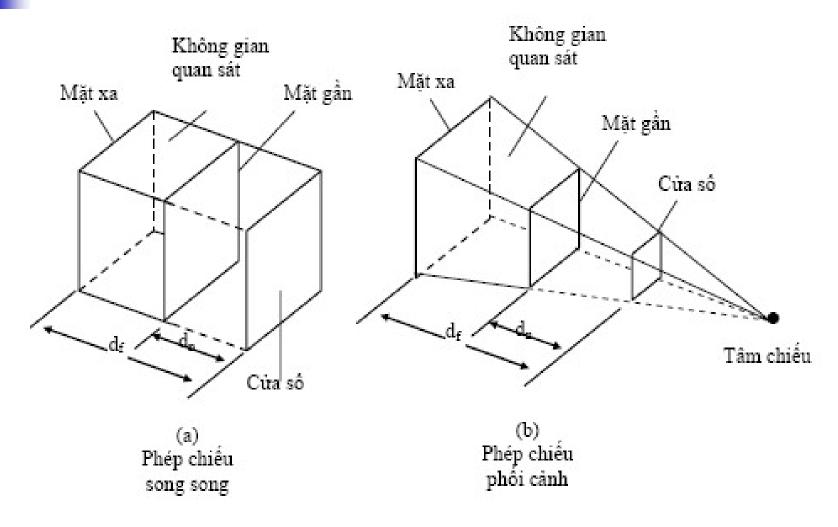
# Mặt phẳng quan sát



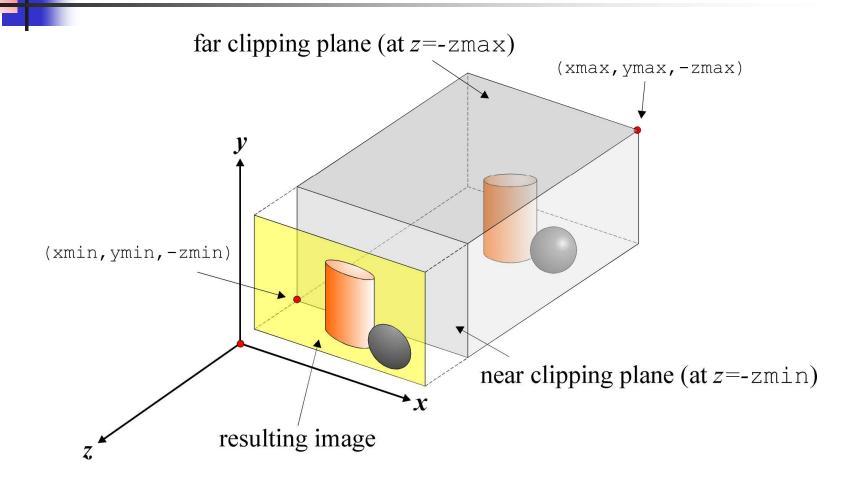
## Khối quan sát

- Tương tự máy chụp ảnh, với ống kính góc rộng thì máy có thể chụp ảnh lớn. Trong quan sát 3-D thì cửa sổ chiếu có ảnh hưởng tương tự; cửa sổ được xác định bởi giá trị max và min của trục x, y trong mặt quan sát
- Sử dụng cửa sổ chiếu để xác định khối quan sát. Chỉ các đối tượng trong khối quan sát mới được chiếu và hiển thị trên mặt quan sát

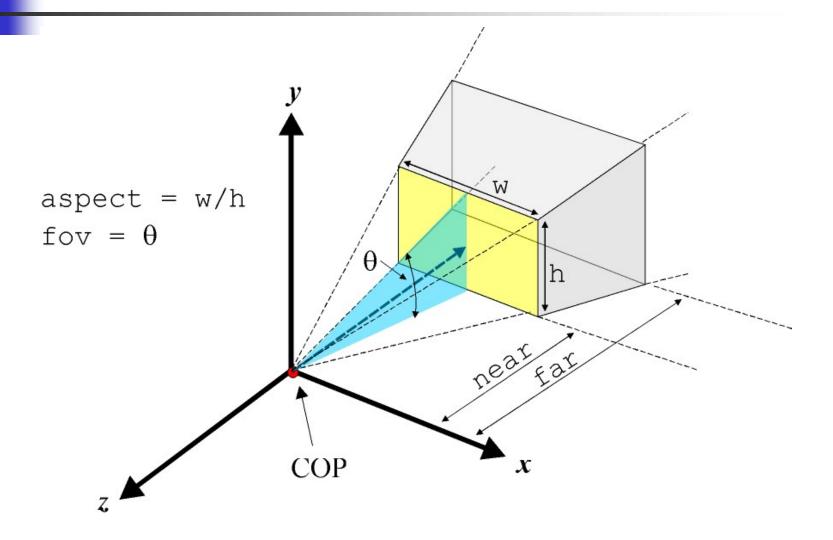
### Khối quan sát(tt)



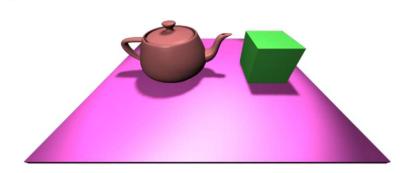
## Khối quan sát của phép chiếu song song



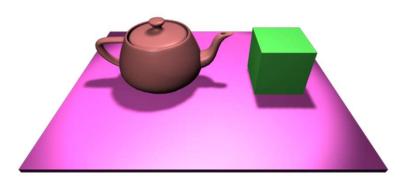
## Khối quan sát của phép chiếu phối cảnh



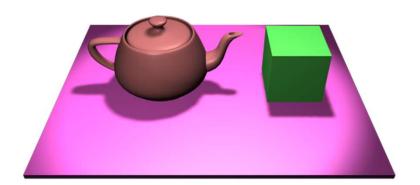
### Ví dụ khối quan sát

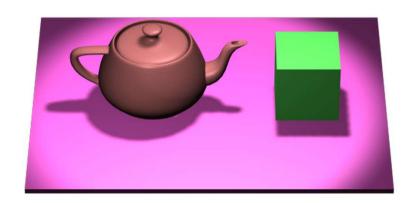


10mm Lens (fov =  $122^{\circ}$ )



20mm Lens (fov =  $84^{\circ}$ )

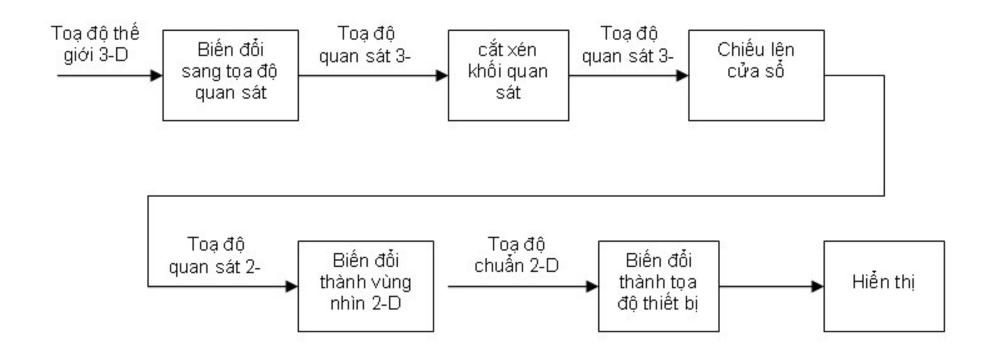




40

35mm Lens (fov = 54°) Quan sát đồ họa ba chiều Lens (fov = 10°)

#### Các bước thực hiện các thao tác quan sát

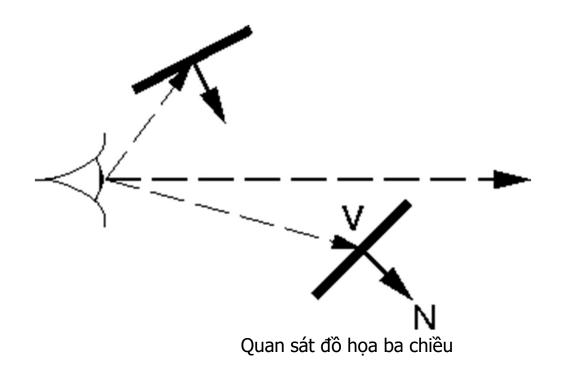


#### 4. Khử mặt khuất

- Khi các đối tượng có khoảng cách khác nhau tới điểm quan sát thì chúng sẽ che khuất nhau. Tia sáng từ đối tượng đến người quan sát bị che khuất. Cần loại bỏ các mặt khuất
- Có nhiều cách tiếp cận để loại bỏ mặt khuất. Mỗi giải pháp phù hợp với một loại ứng dụng cụ thể vàcó thể được chia thành 2 nhóm:
  - Phương pháp không gian đối tượng (object-space)
  - Phương pháp không gian ảnh (image-space)

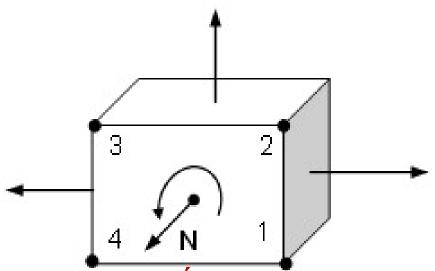
#### Phương pháp Lọc mặt sau

Trong phương pháp này(**Backface Culling**), mặt nhìn thấy của đối tượng được xác định bằng góc giữa véc tơ pháp tuyến và véc tơ góc nhìn. Phương pháp này chỉ áp dụng cho khối đa diện lồi.



#### Xác định véc tơ pháp tuyến của mặt nhìn thấy

Các điểm xác định mặt phẳng được sắp xếp theo thứ tự ngược chiều kim đồng hồ 1, 2, 3, 4

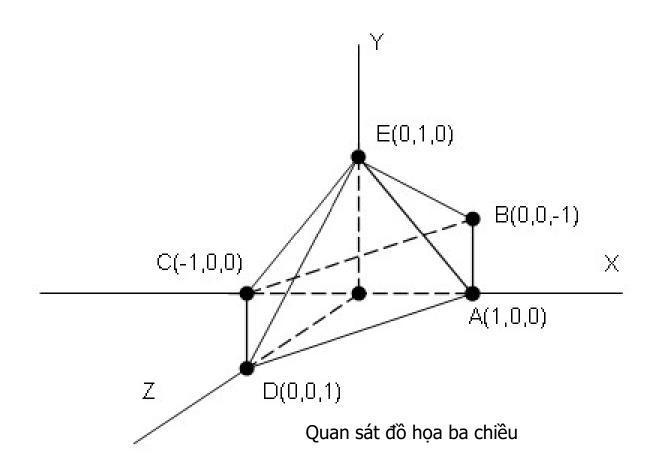


 Từng cặp tọa độ liên tiếp sẽ tạo thành véctơ nằm trên mặt phẳng 12, 23, 34, 41

#### Xác định véc tơ pháp tuyến của mặt nhìn thấy

- Véctơ pháp tuyến (véctơ N) là véctơ trùng với véctơ là kết quả của tích có hướng của một véctơ bất kỳ trên mặt phẳng (thí dụ véctơ 12) với véctơ tiếp theo nó (thí dụ véctơ 23).
- Giả sử véc tơ hướng nhìn là V, mặt nhìn thấy được là mặt có véctơ pháp tuyến N tạo với véc tơ V một góc  $\theta$  trong khoảng [-90 $^{0}$ , 90 $^{0}$ ] hay  $\cos\theta \ge 0$ .
- Xét dấu cosθ bằng cách kiểm tra dấu tích vô hướng vécto N và V:
  - Nếu  $V.N \ge 0$  thì mặt của đối tượng nhìn thấy

 Cho hình chóp như hình vẽ. Tìm các mặt phẳng nhìn thấy được từ điểm P(5, 5, 5) đến hình chóp



- Hãy xét mặt phẳng AED:
  - Véctor AE = (-1,1,0) hay AE = -i+j
  - Vécto DA=(1,0,-1) hay DA=i-k
  - Trong đó: i, j, k là véctơ đơn vị theo trục x, y, z.
  - Véc tơ pháp tuyến N sẽ là:

$$\mathbf{N} = \mathbf{D}\mathbf{A} \times \mathbf{A}\mathbf{E} = \begin{bmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \end{bmatrix} = (\mathbf{i} + \mathbf{j} + \mathbf{k})$$

Gọi véctơ quan sát là V được lập từ điểm nhìn (5, 5, 5) đến một điểm trong mặt phẳng AED, ta chọn điểm A(1,0,0).

$$V=(x_2-x_1, y_2-y_1, z_2-z_1)=4i+5j+5k$$

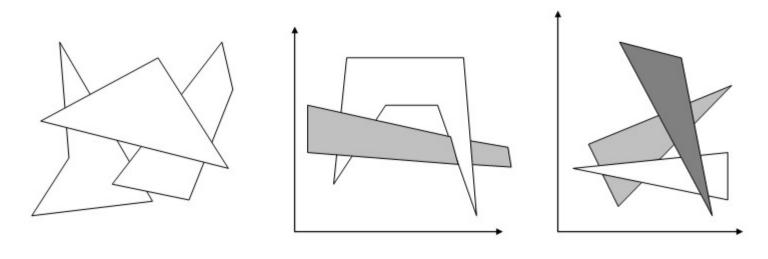
Tích vô hướng của N và V như sau:

$$N.V = x_2x_1 + y_2y_1 + z_2z_1 = 4.1 + 5.1 + 5.1 = 14 > 0$$

- Vậy, mặt phẳng AED là nhìn thấy.
- Tương tự tính cho các mặt phẳng còn lại, kết quả là:
- Nhìn thấy: AED, BEA, DEC
- Không nhìn thấy: CEB và ABCD

#### Phương pháp Sắp xếp chiều sâu

Phương pháp này tương tự thuật toán "người họa sỹ". Để vẽ tranh dầu, họa sỹ phải vẽ nền trước. Sau đó bổ xung các vật thể từ xa hơn. Cuối cùng là các vật thể cận cảnh. Có nghĩa rằng vẽ đối tượng theo thứ tự độ sâu.



Quan sát đồ họa ba chiều

#### Phương pháp Sắp xếp chiều sâu (tt)

- Ý tưởng của thuật toán Sắp xếp theo chiều sâu:
  - Sắp xếp các mặt theo chiều sâu z giảm dần
  - Giải quyết vấn đề nhập nhằng khi z gối lên nhau (cần bẻ gẫy các đa giác)
  - Duyệt lại từ z lớn nhất đến nhỏ nhất
- Ưu điểm: Vì vẽ đa giác gần nhất sau cho nên nó sẽ ở trên đỉnh (do vậy có thể nhìn thấy).
- Bất lợi: Đòi hỏi sắp xếp và bẻ gẫy; các pixel được hiển thị nhiều lần.Độ phức tạp: Ω(n2)

#### Phương pháp vùng đệm (Z - buffering)

- Mỗi điểm (x, y, z) trên vật thể tương ứng với tọa độ (x, y) của nó trên mặt quan sát. Giá trị z tăng theo khoảng cách tới camera. Đoạn thẳng được ánh xạ vào đoạn thẳng, đa giác được ánh xạ thành đa giác trong khung nhìn.
- Sử dụng Z-buffer (hay còn gọi là depth buffer) để lưu trữ giá trị z (hay độ sâu) của mỗi điểm sẽ được vẽ trên màn hình. Khi lưu trữ giá trị z của cùng vị trí thì phải kiểm tra xem nó có gần điểm quan sát? Sau đó chỉ vẽ cho giá trị gần điểm quan sát hơn.

#### Phương pháp vùng đệm (Z - buffering)

Thuật toán cơ sở:

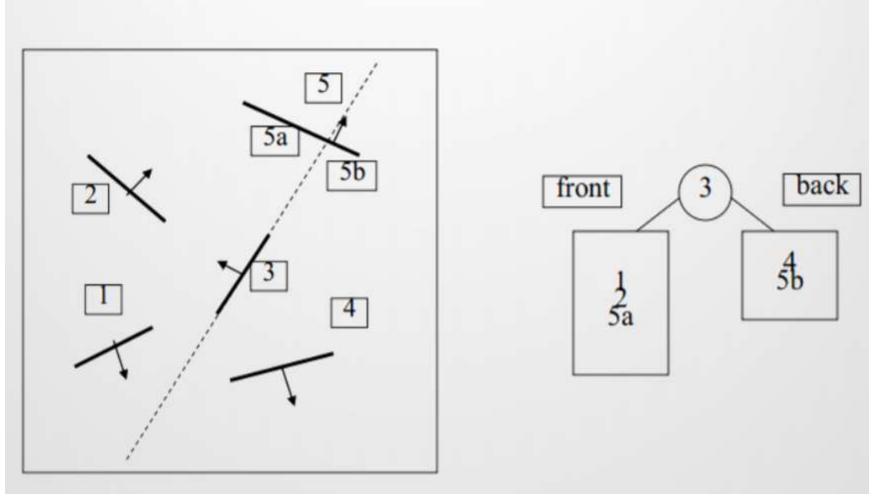
```
Gán giá trị max cho zbuf
For mỗi đối tượng
  For mỗi điểm P(x, y, z) trong hàng quét
   If z < zbuf[x][y]
   Begin
          zbuf[x][y] = z; Writepixel(x, y);
   End
```

 Có thể vẽ các đa giác theo trật tự bất kỳ. Không cần so sánh các đối tượng với nhau. Có khả năng làm việc với mặt cong và mặt phẳng. Bất lợi là đồi hỏi bộ nhớ lớn để xử lý.

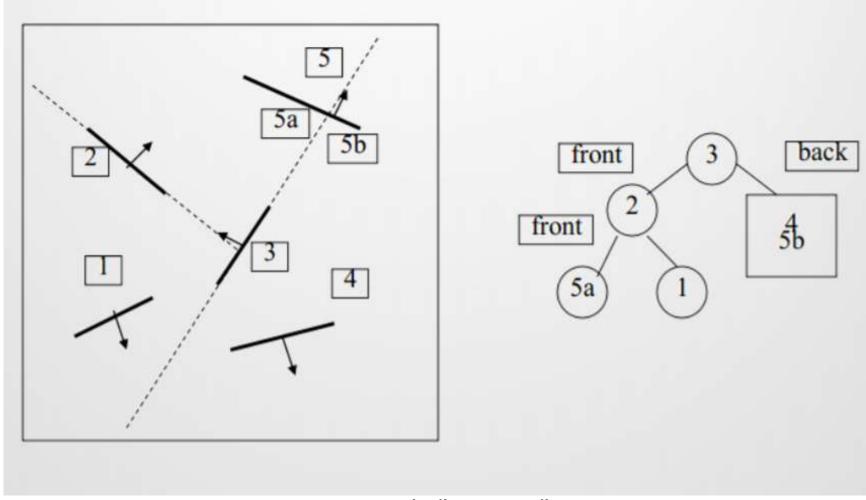
#### Phương pháp BSP Tree

- BSP (Binary Space Partitioning)
- Ý tưởng
  - Chọn một đa giác tùy ý
  - Chia scene ra làm 2 nửa: Phía trước và phía sau (theo normal vector)
  - Chia đôi bất kỳ đa giác nào nằm trên cả hai nửa
  - Chọn một đa giác ở mỗi bên, thực hiện lại việc chia
  - Thực hiện đệ quy việc chia mỗi nửa cho đến khi mỗi node chỉ chứa 1 đa giác

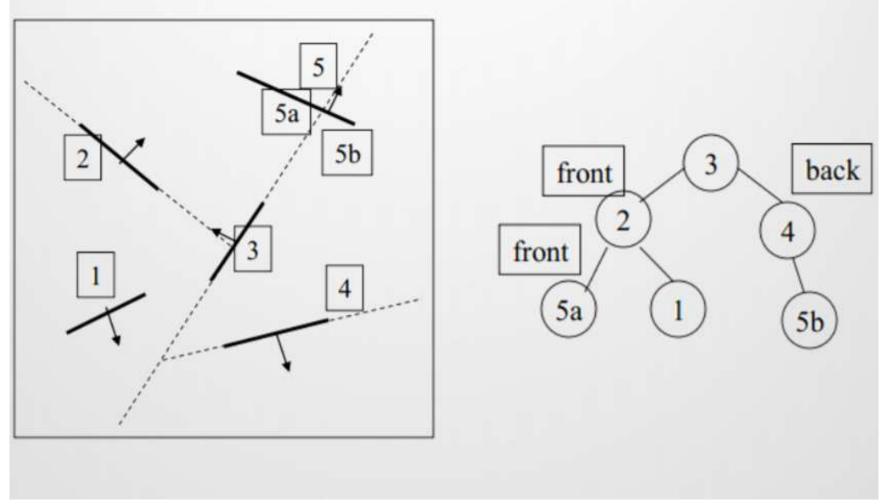
#### Phương pháp BSP Tree –ví dụ



#### Phương pháp BSP Tree –ví dụ



#### Phương pháp BSP Tree –ví dụ



#### Phương pháp BSP Tree

- Hiển thị BSP Tree
  - Cây BSP có thể được duyệt để tạo ra một danh sách ưu tiên cho một góc nhìn bất kỳ
  - Từ sau ra trước (Back-to-front): Tương tự thuật toán painter
  - Từ trước đến sau (Front-to-back): Có hiệu quả hơn

#### BSP Tree - Từ sau ra trước

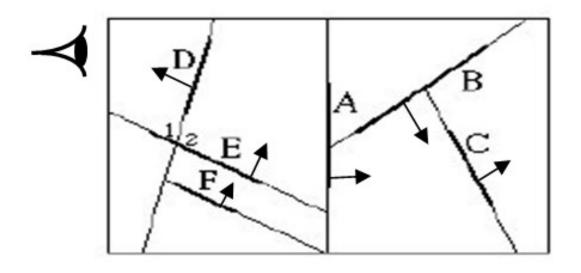
- Bắt đầu ở đa giác gốc
  - Nếu người xem là ở phía trước nửa không gian, vẽ hình đa giác đằng sau đa giác gốc trước, sau đó đến đa giác gốc, sau đó là các đa giác ở phía trước.
  - Nếu người xem là ở phía sau nửa không gian, vẽ hình đa giác đằng sau đa giác gốc trước, sau đó đến đa giác gốc, sau đó là các đa giác ở phía sau
  - Nếu đa giác là trên cạnh, có thể vẽ thế nào cũng được
  - Đệ quy xuống các node ở dưới cây Có hiệu quả hơn

#### Phương pháp BSP Tree – Nhận xét

- Đòi hỏi rất nhiều tính toán trước khi vẽ
  - Cần xây dựng một cây cân bằng
  - Tính toán các đa giác giao nhau có thể tốn kém tài nguyên
- Dễ dàng tính khả năng hiển thị một khi cây BSP đã được tạo
- Hiệu quả đối với các khung cảnh tĩnh mà các đối tượng không thay đổi thường xuyên
- Thường được kết hợp với z-buffer
- Render các đối tượng tĩnh trước (trước đến sau) với z-buffer
- Sau đó vẽ các đối tượng động (nhận vật, cửa...)

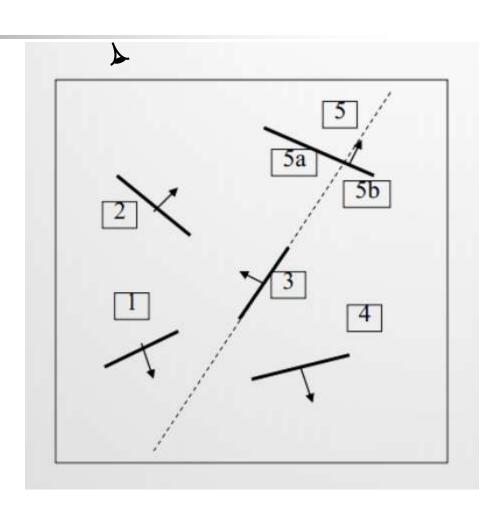
#### BSP Tree - Ví dụ

- Cho một tập hợp đa giác và vị trí mắt nhìn như hình vẽ. Sử dụng đa giác A làm nút gốc, hãy xây dựng cây phân hoạch không gian nhị phân (BSP).
- Với vị trí mắt đã cho, hãy xác định thứ tự hiển thị



# Bài tập

- Cho một tập hợp đa giác và vị trí mắt nhìn như hình vẽ. Sử dụng đa giác 3 làm nút gốc, hãy xây dựng cây phân hoạch không gian nhị phân (BSP).
- Với vị trí mắt đã cho, hãy xác định thứ tự hiển thị

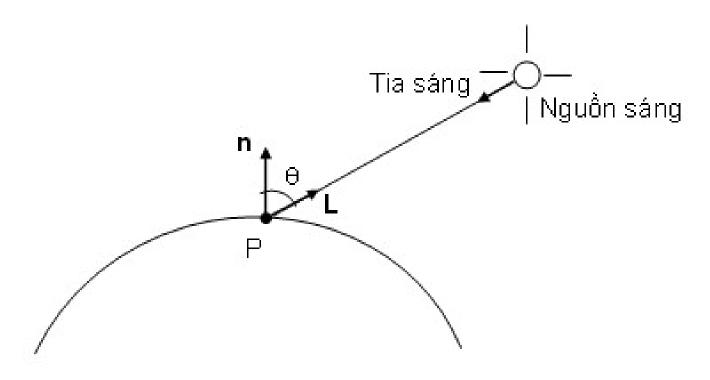


#### 5 Tô bóng

- Các vấn đề liên quan khi tô bóng
  - Mô tả nguồn sáng: vị trí, cường độ.
  - Đặc điểm bề mặt tô
  - Khoảng cách giữa mặt tô và các nguồn sáng.
- Hai loại nguồn sáng:
  - Ánh sáng điểm: ánh sáng từ một điểm chiếu lên vật thể, theo hướng nhất định
  - Ánh sáng môi trường: ánh sáng đi đến từ mọi hướng, không quan tâm đến vị trí nguồn sáng.

# Tô bóng

 Nhiệm vụ là phải tính cường độ ánh sáng trên mỗi điểm của ảnh đối tượng



#### Kỹ thuật tô bóng mặt của Lambert

Sử dụng định luật Lambert về phản xạ ánh sáng. Nếu nguồn sáng phù hợp với quy luật của tia lazer (ta gọi loại nguồn sáng này là đèn rọi) thì bức xạ lý tưởng của Lambert sẽ như sau:

$$I = I_s k_d \cos \theta$$

- Trong đó, Is là cường độ điểm nguồn, kd là hệ số phản xạ có giá trị trong khoảng [0..1].
- Công thức tính đến cường độ ánh sáng môi trường  $I = I_a k_a + I_s k_d \cos\theta$  với  $\cos\theta = n.L/|n|.|L|$

#### Kỹ thuật tô bóng mặt của Lambert

Công thức có tính đến cường độ ánh sáng môi trường và khoảng cách từ nguồn sáng đến vật thể:

$$I = I_a k_a + \frac{I_s k_d \cos \theta}{D^2}$$

Trong đó, I<sub>a</sub> và k<sub>a</sub> là cường độ và tham số của ánh sáng môi trường; D là khoảng cách từ nguồn sáng tới vật thể

### Kỹ thuật tô bóng mặt của Lambert

Nếu nguồn sáng đồng thời và có nguồn sáng môi trường thì định luật Lambert được điều chỉnh như sau:

$$I = I_a k_a + \sum_{j=1}^{m} \frac{I_j k_d \cos \theta}{D_j^2} = I_a k_a + \sum_{j=1}^{m} \frac{I_j k_d (\mathbf{i}_j \cdot \mathbf{L})}{D_j^2}$$

- $\blacksquare$  Trong đó,  $I_a=$  cường độ của ánh sáng môi trường,  $I_j=$  cường độ của ánh sáng nguồn
- Nhận xét: Nếu đối tượng cấu tạo bằng các mặt đa giác thì phương pháp này tạo ra các cường độ sáng như nhau cho các điểm trên cùng mặt, do vậy sẽ có ảnh bao gồm nhiều ô sáng. Giải pháp này có tốc độ nhanh.

■ Cho ba điểm A(0,0,1), B(1,0,0) và C(0,1,0) và nguồn sáng có cường độ là 9 đặt tại khoảng cách xa theo hướng:

 $\sqrt{2}i + 3j + 4k$ 

 Hãy xác định cường độ bức xạ lý tưởng tô bóng với hệ số phản chiếu là 0.25.

# Ví dụ (tt) $I_s = 9$

$$\mathbf{p} = \frac{(\sqrt{2}\mathbf{i} + 3\mathbf{j} + 4\mathbf{k})}{\sqrt{2 + 3^2 + 4^2}} = \frac{(\sqrt{2}\mathbf{i} + 3\mathbf{j} + 4\mathbf{k})}{3\sqrt{3}}$$

$$k_d = 0.25$$

Véc tơ pháp tuyến đơn vị của mặt ABC được tính như sau:

$$\mathbf{AB} \times \mathbf{BC} = \begin{bmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \end{bmatrix} = \mathbf{i} + \mathbf{j} + \mathbf{k}$$

# Ví dụ (tt)

$$\mathbf{n} = \frac{\mathbf{A}\mathbf{B} \times \mathbf{B}\mathbf{C}}{\|\mathbf{A}\mathbf{B} \times \mathbf{B}\mathbf{C}\|}$$

$$\mathbf{n} = \frac{\mathbf{i} + \mathbf{j} + \mathbf{k}}{\sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2}} = \left(\frac{\sqrt{3}}{3}\mathbf{i} + \frac{\sqrt{3}}{3}\mathbf{j} + \frac{\sqrt{3}}{3}\mathbf{k}\right)$$

Khi đó cường độ tô bóng là :

$$I = 9x0.25x \left(\frac{\sqrt{3}}{3}\mathbf{i} + \frac{\sqrt{3}}{3}\mathbf{j} + \frac{\sqrt{3}}{3}\mathbf{k}\right)x \frac{\sqrt{2}\mathbf{i} + 3\mathbf{j} + 4\mathbf{k}}{3\sqrt{3}}$$
$$I = 2.1$$

# Bài tập

Cho ba điểm A(0, 0, 1), B(1, 0, 0) và C(0, 1, 0) và nguồn sáng có cường độ là 9 đặt tại khoảng cách xa theo hướng 2i + 3j. Hãy xác định cường độ bức xạ lý tưởng tô bóng với hệ số phản chiếu là 0.35.

# Bài tập

- Tìm hiểu cách thiết lập phép chiếu trong OpenGL(song song, phối cảnh)
- Tìm hiểu cách thiết lập các thông số của mặt phẳng quan sát và khối quan sát trong OpenGL
- Tìm hiểu cách thiết lập các thông số cho tô bóng (Lighting) trong OpenGL
- Thử nghiệm các kỹ thuật 3D với OpenGL