การบรรยายครั้งที่ 1

418441 คอมพิวเตอร์กราฟิกส์

คอมพิวเตอร์กราฟิกส์

- การใช้คอมพิวเตอร์เพื่อสร้างและจัดการสื่อวิทัศน์
- ประโยชน์
  - ความบันเทิง: ภาพยนตร์, เกมส์
  - การศึกษา: ซิมูเลชัน, สื่อประสม
  - อุตสาหกรรม: CAD/CAM

ปัญหาที่สำคัญทางคอมพิวเตอร์กราฟิกส์

- การจัดการแบบจำลอง (modeling)
  - การเก็บข้อมูลรูปร่าง สมบัติพื้นผิว แสง ฯลฯ ของวัตถุที่อยู่นิ่งๆ
- การจัดการความเคลื่อนไหว (animation)
  - การเก็บ สร้าง และดัดแปลงข้อมูลความเคลื่อนไหวของวัตถุต่างๆ
- การให้แสงและเงา (rendering)
  - การนำเอาข้อมูลแบบจำลองและความเคลื่อนไหวของแบบจำลองมาสร้างเป็นรูปภาพ

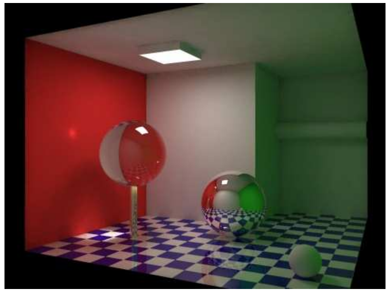
ปัญหาที่สำคัญทางคอมพิวเตอร์กราฟิกส์

- การจัดการแบบจำลอง
  - ยังไม่มีวิชาเฉพาะที่เกษตร
  - อาจจะเคยเรียนมาบ้างใน 418341 Computer Graphics Working Environment (ใน OpenGL)
- การจัดการความเคลื่อนไหว
  - 418342 Principle of Computer Animation
- การให้แสงและเงา
  - คอร์สนี้ (ขอโทษครับที่ชื่ออาจจะทำให้คุณเข้าใจผิดไป)

การให้แสงและเงา (Rendering)

- สร้างรูปภาพจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

40.3765	246.3446	-13.3601
41.7488	226.0027	-5.0658
48.3294	235.3752	-7.3497
37.2949	230.1558	-9.6773
46.8526	239.2049	-10.7724
35.0925	232.2118	-10.9210
49.2234	231.9015	-5.4622
39.5274	227.7154	-6.8570
36.7923	240.2518	-18.0725
40.9546	241.5318	-16.3400
53.2942	227.1024	-17.4600
51.4157	231.8651	-20.9840
45.7685	234.6469	-25.0268
32.3952	239.7475	-5.4070
36.2495	235.5937	-5.3574
31.0568	236.1462	-9.5742
34.1015	253.4861	-8.2545
31.5805	251.6262	-9.3695
33.9048	256.8511	-4.1244



http://en.wikipedia.org/wiki/Global_illumination

Physically Based Rendering

- ให้แสงเงาให้สมจริงตามหลักฟิสิกส์

http://en.wikipedia.org/wiki/Rendering

Non-Photorealistic Rendering

- ให้สีไม่ตรงกับความเป็นจริงเพื่อความสวยงาม

The Legend of Zelda: The Wind Waker
http://en.wikipedia.org/wiki/Toon_shading

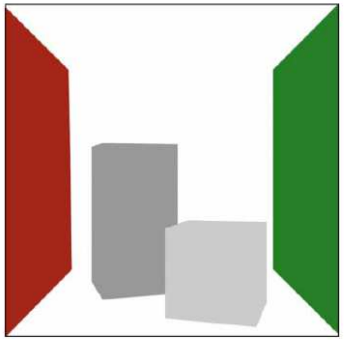
วิชานี้

- เน้น Physically Based Rendering
- เป็นวิชา**เขียนโปรแกรม**
  - คุณจะได้เขียนโปรแกรมสร้างภาพจากโมเดลสามมิติขึ้นมาเอง
- คุณจะได้เรียน
  - **ทฤษฎี**การสร้างภาพในเชิงคอมพิวเตอร์กราฟิกส์
  - **อัลกอริทึม**สำหรับสร้างรูปภาพต่างๆ (เน้น Ray Tracing)
  - **โครงสร้างข้อมูล**ที่ช่วยให้อัลกอริทึมเหล่านั้นทำงานได้อย่างรวดเร็ว

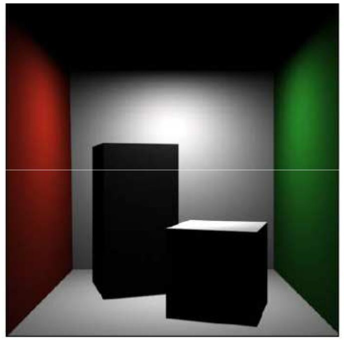
การทำ Physically Based Rendering

- ต้องจำลองการแพร่กระจายตัวของแสงในฉาก
- แก้สมการ Rendering Equation
  - แก้ได้อย่างสมบูรณ์ในฉากที่ไม่ซับซ้อนมากๆ เท่านั้น
  - นอกนั้นต้องแก้โดยประมาณ
- มีปรากฏการณ์หลายอย่างที่ต้องจำลอง

Lighting: Diffuse Reflection

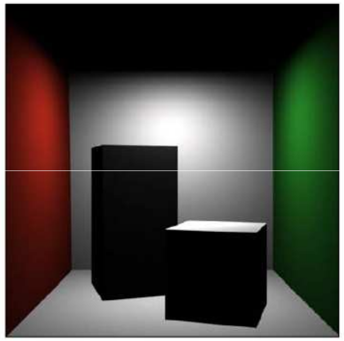


Surface Color

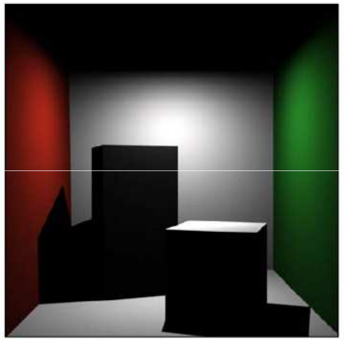


Diffuse Shading
Point Light Source

Lighting: Shadows

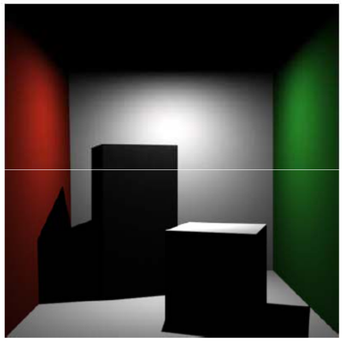


No Shadows
Point Light Source

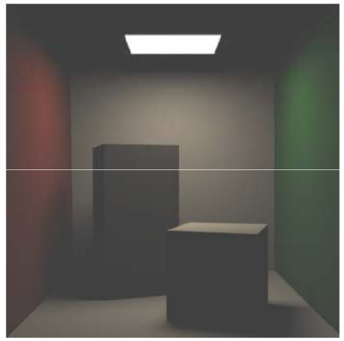


Shadows
Point Light Source

Lighting: Soft Shadows

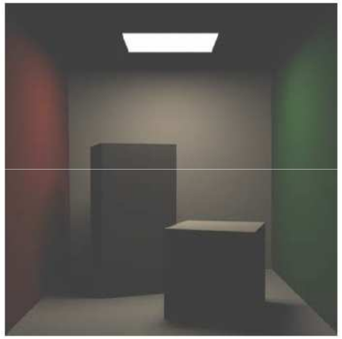


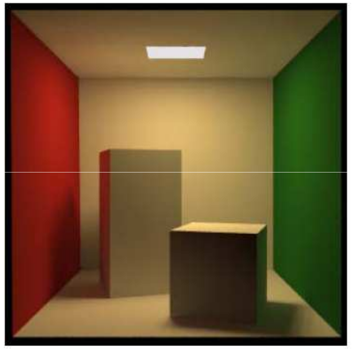
Hard Shadows
Point Light Source



Soft Shadows
Area Light Source

Lighting: Radiosity





Soft Shadows
Area Light Source

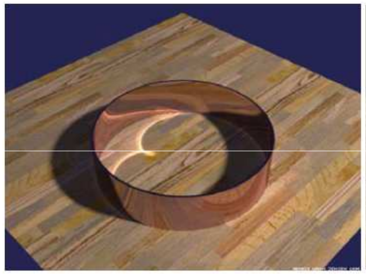
Inter-reflection, Diffuse)
Area Light Source

Early Radiosity

Early Diffuse+Glossy

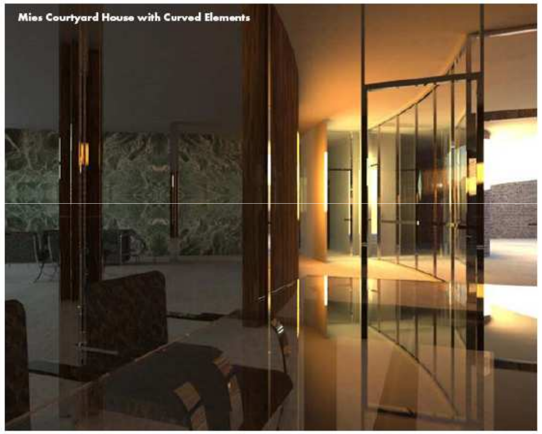
Tribute to Vermeer
Program of Computer Graphics, Cornell

Caustics



Jensen 1995

Complex Indirect Illumination



Modeling: Stephen Duck; Rendering: Henrik Wann Jensen

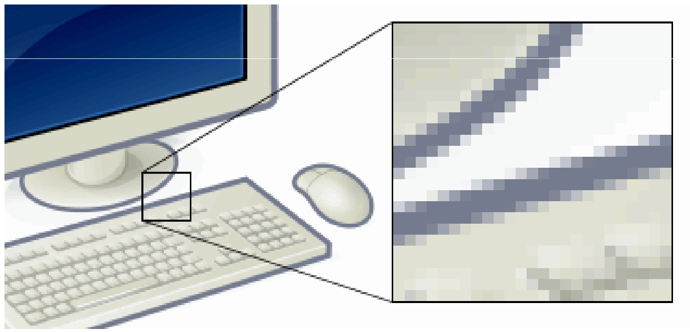
Translucency


Surface Reflection


Subsurface Reflection

ภาพ

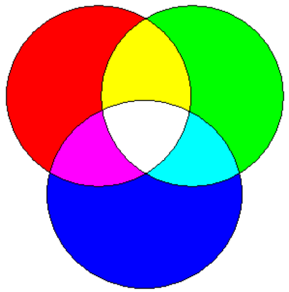
- ตารางสี่เหลี่ยมผืนผ้า แต่ละช่องมีสีหนึ่งสี
- แต่ละช่องเรียกว่า พิกเซล (pixel)



http://en.wikipedia.org/wiki/Pixels

สี

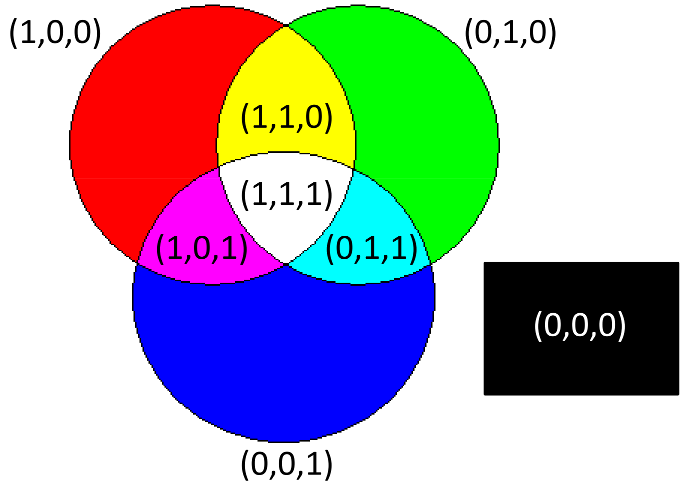
- สี = เวกเตอร์ (R, G, B) เลขแต่ละตัวมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1
  - R บอกระดับความเข้มของแสงสีแดง
  - G บอกระดับความเข้มของแสงสีเขียว
  - B บอกระดับความเข้มของแสงสีน้ำเงิน



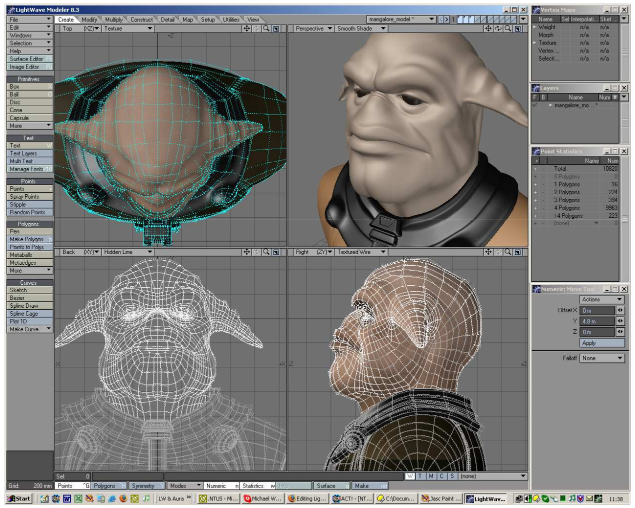
Trichromatic Theory of Vision

- สีที่มนุษย์มองเห็นแบ่งออกเป็นสามส่วน
  - แดง เขียว น้ำเงิน
  - ประสาทสัมผัสของมนุษย์ของแต่ละสีเป็นอิสระจากกัน
  - สีอื่นๆ เกิดจาก การนำสีทั้งสามนี้มาประกอบกัน
- หลักฐาน
  - เซลล์โคนในเรตินามีสามชนิด
  - แต่ละชนิดไวต่อ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน ตามลำดับ

สีหลักๆ



แบบจำลอง (Models)



http://en.wikipedia.org/wiki/3D_Models

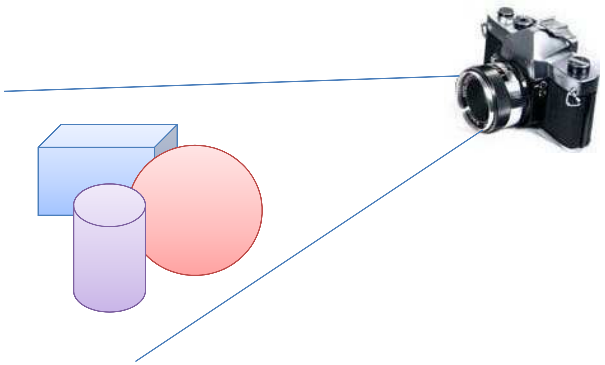
แบบจำลอง (ต่อ)

- รูปร่าง รูปทรง
  - สามเหลี่ยม, ระนาบ, ทรงกลม
- สมบัติของพื้นผิว
  - สี
  - สมบัติการสะท้อนแสง: ด้าน, เลื่อม, กระจก, แก้ว
- แสง
- กล้อง
  - ตั้งอยู่ที่ไหน
  - กล้องแบบใด

ฉาก

ถ่ายรูป

- พูดง่ายๆ การให้แสงและเงาก็เหมือนกับการถ่ายรูป
- แค่ฉากเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์



รูปกล้องจาก http://en.wikipedia.org/wiki/Camera

Graphics Pipeline

- อัลกอริทึมที่ใช้ในการ์ดจอทั่วไป
- สำหรับวัตถุทุกๆ อัน {

    สำหรับพิกเซลทุกพิกเซลที่อยู่ในเงาของวัตถุที่ฉายลงไปบนระนาบ {

        หาค่าความลึกของจุดที่ตรงกับพิกเซลนั้น

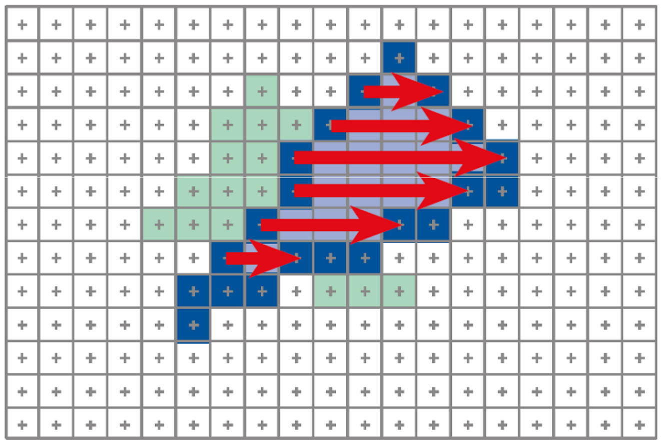
        Shade (ให้สีพิกเซลนั้น)

        ปรับสีของพิกเซลถ้าจุดที่อยู่ที่พิกเซลนั้นลึกน้อยกว่าจุดที่ผ่านมา

    }

  }

Graphics Pipeline (ต่อ)



รูปจาก http://ocw.mit.edu/ วิชา 6.837: Computer Graphics (Fall 2003)

Graphics Pipeline (ต่อ)

- ข้อดี
  - จุดแต่ละจุดเป็นอิสระจากกัน
  - ใช้ฮาร์ดแวร์แบบขนานให้สีได้อย่างรวดเร็ว
- ข้อเสีย
  - การจำลองปรากฏการณ์ธรรมชาติยาก
    - เงา
    - Interreflection
    - Caustics

Ray Tracing

- อัลกอริทึมที่เราจะเรียนในเทอมนี้
- ใช้สร้างภาพยนตร์
  - ก้านกล้วย, Monster Inc., Ratatouille

http://en.wikipedia.org/wiki/Ratatouille_%28film%29

Ray Tracing (ต่อ)

- สำหรับพิกเซลทุกๆ พิกเซลบนระนาบ {

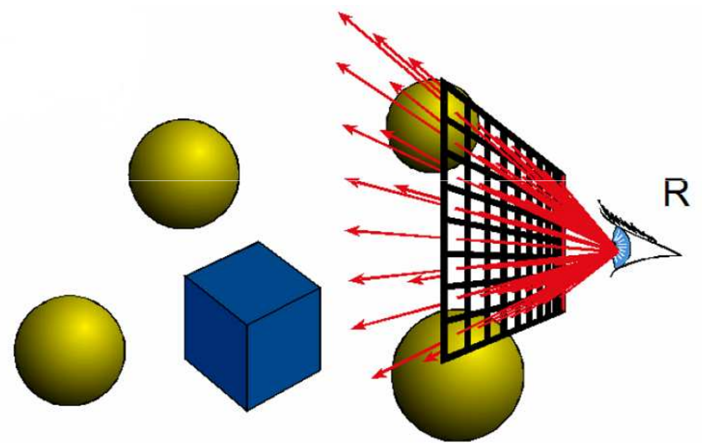
  ฉากรังสีจากตาไปยังพิกเซล

  หาจุดบนวัตถุแรกที่รังสีตกกระทบ

  Shade

  }

Ray Tracing (ต่อ)



รูปจาก http://ocw.mit.edu/ วิชา 6.837: Computer Graphics (Fall 2003)

Ray Tracing (ต่อ)

- ข้อดี
  - จำลองปรากฏการณ์ธรรมชาติง่าย
- ข้อเสีย
  - ช้า
  - ก้านกล้วยใช้เวลา render นานเป็นเดือนๆ

เวกเตอร์สามมิติ

- ลำดับของจำนวนจริงสามตัว

$$(x, y, z)$$

- สัญลักษณ์: ตัวอักษรตัวพิมพ์เล็กหนา

$$\mathbf{u}, \mathbf{v}, \mathbf{w}$$

- เซตของเวกเตอร์สามมิติ

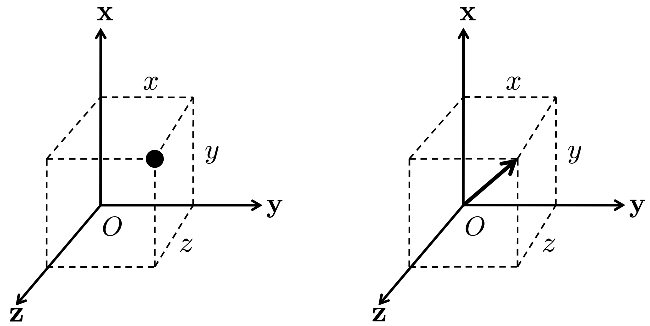
$$\mathbb{R}^3 = \{(x, y, z) : x, y, z \in \mathbb{R}\}$$

- เวกเตอร์พิเศษ

$$\mathbf{x} = (1, 0, 0),\ \mathbf{y} = (0, 1, 0),\ \mathbf{z} = (0, 0, 1),\ \mathbf{0} = (0, 0, 0)$$

เวกเตอร์สามมิติ (ต่อ)

- ความหมาย
  - จุดในสามมิติ
  - ทิศทางในสามมิติ



ปฏิบัติการบนเวกเตอร์สามมิติ

- กำหนดให้

$$\begin{aligned} \mathbf{u} &= (x_1, y_1, z_1) \\ \mathbf{v} &= (x_2, y_2, z_2) \end{aligned}$$

- การบวกและลบเวกเตอร์

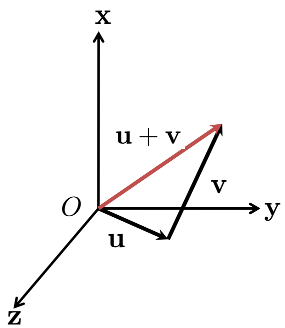
$$\mathbf{u} + \mathbf{v} = (x_1 + x_2,\ y_1 + y_2,\ z_1 + z_2)$$

- การคูณเวกเตอร์ด้วยสเกลาร์

$$c\mathbf{u} = (cx_1, cx_2, cx_3)$$

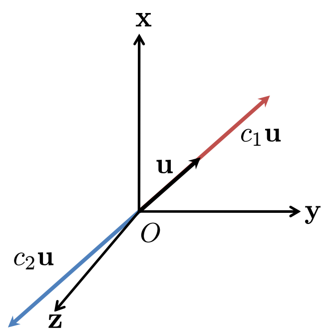
ปฏิบัติการบนเวกเตอร์สามมิติ (ต่อ)

- การบวก = เอาท้ายต่อหัว



ปฏิบัติการบนเวกเตอร์สามมิติ (ต่อ)

- การคูณด้วยสเกลาร์ = การยืด/หด



Linear Combination

- ให้ $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \ldots, \mathbf{v}_n$ เป็นเวกเตอร์ใดๆ

  และ $c_1, c_2, \ldots, c_n$ คือจำนวนจริงใดๆ

  เราเรียก

$$c_1\mathbf{v}_1 + c_2\mathbf{v}_2 + \ldots + c_n\mathbf{v}_n$$

  ว่า linear combination ของ $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \ldots, \mathbf{v}_n$

Linear Combination (ต่อ)

- เวกเตอร์สามมิติทุกเวกเตอร์เป็น linear combination ของ

  $\mathbf{x}$, $\mathbf{y}$, และ $\mathbf{z}$

$$(x, y, z) = x(1,0,0) + y(0,1,0) + z(0,0,1) = x\mathbf{x} + y\mathbf{y} + z\mathbf{z}$$

Span

- ถ้า $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \ldots, \mathbf{v}_n$ เป็นเวกเตอร์ใดๆ แล้ว

  เราเรียกเซต

$$\{c_1\mathbf{v}_1 + c_2\mathbf{v}_2 + \cdots + c_n\mathbf{v}_n : c_1, c_2, \ldots, c_n \in \mathbb{R}\}$$

  ว่า span ของ $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \ldots, \mathbf{v}_n$

Span (ต่อ)

- Span ของ $\mathbf{x}$, $\mathbf{y}$, และ $\mathbf{z}$ มีค่าเท่ากับ $\mathbb{R}^3$
- Span ของ $\mathbf{x}$ มีค่าเท่ากับแกน x
- Span ของ $\mathbf{y}$ มีค่าเท่ากับแกน y
- Span ของ $\mathbf{z}$ มีค่าเท่ากับแกน z
- Span ของ $\mathbf{x}$ และ $\mathbf{y}$ มีค่าเท่ากับระนาบ xy
- Span ของ $\mathbf{x}$ และ $\mathbf{z}$ มีค่าเท่ากับระนาบ xz
- Span ของ $\mathbf{y}$ และ $\mathbf{z}$ มีค่าเท่ากับระนาบ yz

Linear Dependence

- เรากล่าวว่า $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \ldots, \mathbf{v}_n$

  เป็นกลุ่มของเวกเตอร์ที่ linearly dependent

  ถ้ามีสเกลาร์ $c_1, c_2, \ldots, c_n$ ที่มีตัวใดตัวหนึ่งมีค่าไม่เท่ากับ 0

  ที่ทำให้

$$c_1\mathbf{v}_1 + c_2\mathbf{v}_2 + \ldots + c_n\mathbf{v}_n = \mathbf{0}$$

Linear Independence

- ตรงข้ามกับ linear dependence
- เรากล่าวว่า $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \ldots, \mathbf{v}_n$

  เป็นกลุ่มของเวกเตอร์ที่ linearly independent

  ถ้าค่า $c_1, c_2, \ldots, c_n$ ที่ทำให้

$$c_1\mathbf{v}_1 + c_2\mathbf{v}_2 + \ldots + c_n\mathbf{v}_n = \mathbf{0}$$

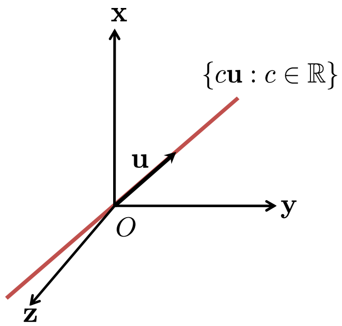
  คือ $c_1 = c_2 = \cdots = c_n = 0$ เท่านั้น

Linear Independence (ต่อ)

- $\mathbf{x}$, $\mathbf{y}$, และ $\mathbf{z}$ **---** linearly independent
- (1,2,0) และ (2,4,0) --- linearly dependent
  เพราะ 2*(1,2,0) – (2,4,0) = (0,0,0)
- (1,0,1), (2,3,0), (2,1.5,1) --- linearly dependent
  เพราะ (1,0,1) + 0.5*(2,3,0) – (2,1.5,1) = (0,0,0)
- (0,0,0) --- linearly dependent
  เพราะ c(0,0,0) = (0,0,0) สำหรับค่า c ใดๆ ที่ไม่เท่ากับ 0

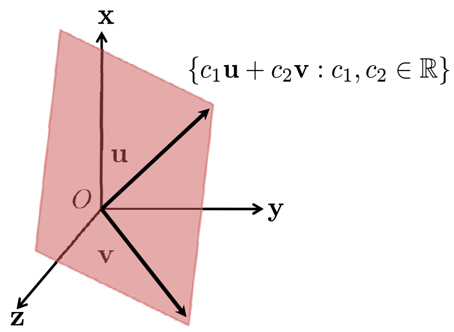
เส้นตรง

- ถ้า $\mathbf{u} \neq \mathbf{0}$ แล้ว span ของ $\mathbf{u}$ คือเส้นตรงที่ผ่านจุด O และ $\mathbf{u}$



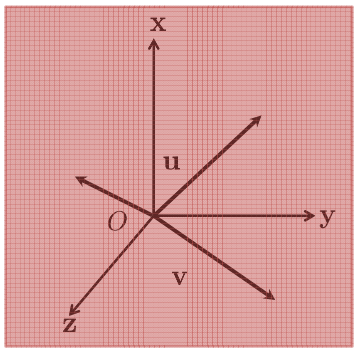
ระนาบ

- ถ้า $\mathbf{u}$ และ $\mathbf{v}$ เป็นเวกเตอร์ที่ linearly independent กันแล้ว span ของ $\mathbf{u}$ และ $\mathbf{v}$ คือระนาบที่ผ่านจุด O, $\mathbf{u}$, และ $\mathbf{v}$



ปริภูมิเวกเตอร์

- ถ้า $\mathbf{u}$, $\mathbf{v}$, และ $\mathbf{w}$ เป็นเวกเตอร์ที่ linearly independent กันแล้ว span ของ $\mathbf{u}$, $\mathbf{v}$, และ $\mathbf{w}$ เซตของเวกเตอร์สามมิติทั้งหมด



$\{c_1\mathbf{u} + c_2\mathbf{v} + c_3\mathbf{w} : c_1, c_2, c_3 \in \mathbb{R}\}$

Basis

- ถ้า span ของ $\mathbf{u}$, $\mathbf{v}$, และ $\mathbf{w}$ มีค่าเท่ากับเซตของเวกเตอร์สามมิติทั้งหมด

  เราเรียก $\mathbf{u}$, $\mathbf{v}$, และ $\mathbf{w}$ ว่าเป็น basis ของปริภูมิเวกเตอร์สามมิติ

Basis (ต่อ)

- $\mathbf{x}$, $\mathbf{y}$, และ $\mathbf{z}$ เป็น basis ของปริภูมิเวกเตอร์สามมิติ
- (1,1,0), (0,1,1), และ (1,0,1) ก็เป็น basis
- แต่ (1,0,1), (2,3,0), (2,1.5,1) ไม่ใช่ เพราะมันไม่ linearly independent

ผลคูณสเกลาร์

- ผลคูณสเกลาร์ (dot product)

$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = x_1 x_2 + y_1 y_2 + z_1 z_2$$

- ขนาดเวกเตอร์

$$\|\mathbf{u}\| = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2} = (\mathbf{u} \cdot \mathbf{u})^{\frac{1}{2}}$$

- สมบัติต่างๆ

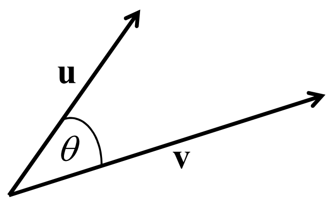
$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{v} \cdot \mathbf{u}$$
$$\mathbf{u} \cdot (\mathbf{v} + \mathbf{w}) = \mathbf{u} \cdot \mathbf{v} + \mathbf{u} \cdot \mathbf{w}$$
$$\mathbf{u} \cdot (c\mathbf{v}) = c(\mathbf{u} \cdot \mathbf{v})$$
$$\|\mathbf{u} + \mathbf{v}\|^2 = \|\mathbf{u}\|^2 + \|\mathbf{v}\|^2 + 2(\mathbf{u} \cdot \mathbf{v})$$
$$\|c\mathbf{u}\| = c\|\mathbf{u}\|$$

ผลคูณสเกลาร์ (ต่อ)

- สมบัติ

$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = \|\mathbf{u}\|\|\mathbf{v}\| \cos\theta$$

เมื่อ θ คือมุมระหว่าง $\mathbf{u}$ กับ $\mathbf{v}$



- $\mathbf{u}$ กับ $\mathbf{v}$ ตั้งฉากกันก็ต่อเมื่อ $\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = 0$

เวกเตอร์หนึ่งหน่วย

- เวกเตอร์ที่มีขนาดเท่ากับ 1
- $\|\mathbf{u}\| = 1$
- ถ้า $\mathbf{u}$ เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยแล้ว

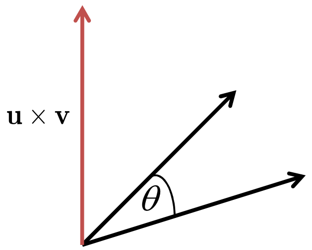
$\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = \|\mathbf{v}\| \cos\theta$ คือความยาวของ $\mathbf{v}$ เมื่อแตกแรงไปในทิศของ $\mathbf{u}$

ผลคูณเวกเตอร์

- ผลคูณเวกเตอร์ (cross product)

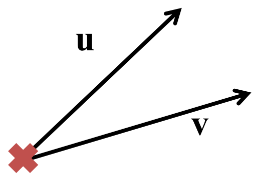
$$\begin{aligned}\mathbf{u}\times\mathbf{v} &= (y_1z_2 - y_2z_1,\ z_1x_2 - z_2x_1,\ x_1y_2 - x_2y_1)\\ &= (y_1z_2 - y_2z_1)\mathbf{x} + (z_1x_2 - z_2x_1)\mathbf{y} + (x_1y_2 - x_2y_1)\mathbf{z}\\ &= \begin{vmatrix}\mathbf{x} & \mathbf{y} & \mathbf{z}\\ x_1 & y_1 & z_1\\ x_2 & y_2 & z_2\end{vmatrix}\end{aligned}$$

- $\mathbf{u}\times\mathbf{v}$ ตั้งฉากกับทั้ง $\mathbf{u}$ และ $\mathbf{v}$
- $\|\mathbf{u}\times\mathbf{v}\| = \|\mathbf{u}\|\|\mathbf{v}\|\sin\theta$

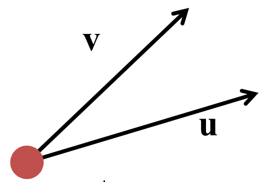


ผลคูณเวกเตอร์ (ต่อ)

- ทิศทางของ $\mathbf{u}\times\mathbf{v}$ คิดตาม**กฎมือขวา**
  - เอามือขวาชี้ไปตามทิศของ $\mathbf{u}$ ให้ฝ่ามือหันไปทาง $\mathbf{v}$
  - $\mathbf{u}\times\mathbf{v}$ ตั้งฉากกับระนาบที่นิยามโดย $\mathbf{u}$ กับ $\mathbf{v}$ พุ่งออกไปฝั่งที่นิ้วโป้งขวาอยู่



$\mathbf{u}\times\mathbf{v}$ พุ่งเข้ากระดาษ



$\mathbf{u}\times\mathbf{v}$ พุ่งออกกระดาษ

ผลคูณเวกเตอร์ (ต่อ)

- สมบัติต่างๆ

$$\begin{aligned}\mathbf{u}\times\mathbf{v} &= -\mathbf{v}\times\mathbf{u}\\ \mathbf{u}\times(\mathbf{v}+\mathbf{w}) &= \mathbf{u}\times\mathbf{v} + \mathbf{u}\times\mathbf{w}\\ \mathbf{u}\times(r\mathbf{v}) &= (r\mathbf{u})\times\mathbf{v} = r(\mathbf{u}\times\mathbf{v})\end{aligned}$$