บทที่ 2

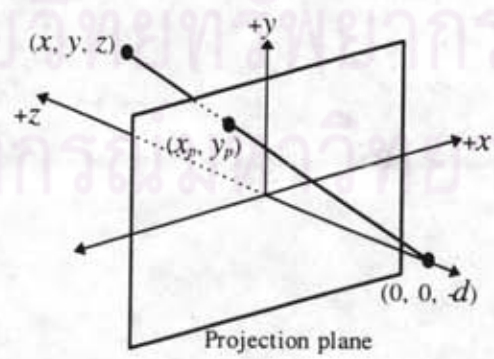
การสร้างภาพสามมิติสเตอริโอ

ในระบบการแสดงภาพสเตอริโอสามมิตินั้น จะต้องสร้างภาพสองภาพสำหรับตาแต่ละข้าง ภาพทั้งสองเกิดจากการคำนวณภาพฉาย (Projection) ของวัตถุบนระนาบการฉาย ซึ่งสามารถคำนวณได้ในสองลักษณะ (Hodges, 1992) คือ การฉายภาพนอกแกน (Off-axis Projection) และการฉายภาพบนแกน (On-axis Projection) ถึงแม้ว่าวิธีทั้งสองจะเหมือนกันในทางคณิตศาสตร์ก็ตาม แต่ในทางปฏิบัติแล้วจะได้ภาพที่แตกต่าง ดังจะได้นำเสนอต่อไป

การฉายภาพ

กำหนดให้พิกัดของจุด p คือ (x, y, z) การฉายจุด p ลงบนระนาบ $(x, y, 0)$ โดยมีจุดศูนย์กลางการฉาย (center of projection) อยู่ที่ $(0, 0, -d)$ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 จะได้จุดฉาย (x_p, y_p) บนระนาบ ดังนี้

$$x_p = \frac{xd}{d+z} \qquad y_p = \frac{yd}{d+z} \qquad (1)$$



รูปที่ 2.1 การฉายภาพ

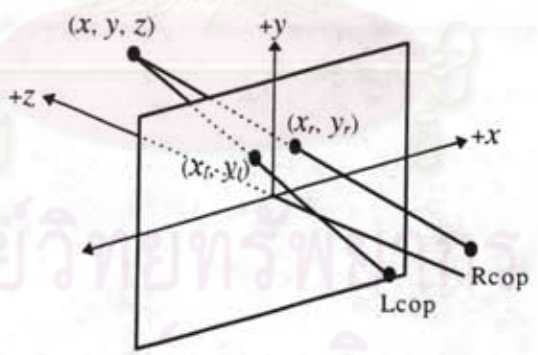
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การฉายภาพนอกแกน

การฉายภาพนอกแกนใช้จุดศูนย์กลางการฉายสองจุด คือจุดศูนย์กลางการฉายด้านขวา (Rcop) และจุดศูนย์กลางการฉายด้านซ้าย (Lcop) จุดสองจุดนี้อยู่นอกแกน z เป็นระยะทาง $e/2$ นั่นคือพิกัดของ Rcop และ Lcop เป็น $(e/2, 0, -d)$ และ $(-e/2, 0, -d)$ ตามลำดับ โดยที่ e คือระยะห่างระหว่างจุดทั้งสอง (ระยะห่างนี้มีผลต่อการแสดงภาพแบบสเตอริโอซึ่งจะได้กล่าวในภายหลัง) เมื่อใช้ Rcop เป็นจุดศูนย์กลางการฉายจุดบนระนาบสำหรับภาพตาขวา และใช้ Lcop เป็นจุดศูนย์กลางการฉายจุดบนระนาบสำหรับตาซ้าย จะได้ภาพคู่ของวัตถุบนระนาบสำหรับตาทั้งสองเพื่อการรับรู้ภาพสามมิติแบบสเตอริโอ สมมุติให้ p เป็นจุดบนวัตถุ มีพิกัด (x, y, z) การฉายภาพนอกแกนของจุด p จะได้จุดสองจุดคือ จุด (x_l, y) และจุด (x_r, y) บนระนาบ ซึ่งได้การฉายโดยใช้จุด Rcop และ Lcop เป็นจุดศูนย์กลางการฉายตามลำดับ ดังนี้ (ดูรูปที่ 2.2 ประกอบ)

$$x_l = \frac{xd - \frac{ze}{2}}{d+z} \qquad y_l = \frac{yd}{d+z} \qquad (2)$$

$$x_r = \frac{xd + \frac{ze}{2}}{d+z} \qquad y_r = \frac{yd}{d+z} \qquad (3)$$



รูปที่ 2.2 การฉายภาพนอกแกน

การฉายภาพบนแกน

สมการการฉายภาพนอกแกน ที่เสนอในหัวข้อที่แล้วสามารถเขียนได้ใหม่ ในรูปแบบดังต่อไปนี้

$$x_l = \frac{xd - \frac{ze}{2}}{d+z} = \frac{d\left(x+\frac{e}{2}\right)}{d+z} - \frac{e}{2} \qquad (4)$$

$$x_r = \frac{xd + \frac{ze}{2}}{d+z} = \frac{d\left(x-\frac{e}{2}\right)}{d+z} + \frac{e}{2} \qquad (5)$$

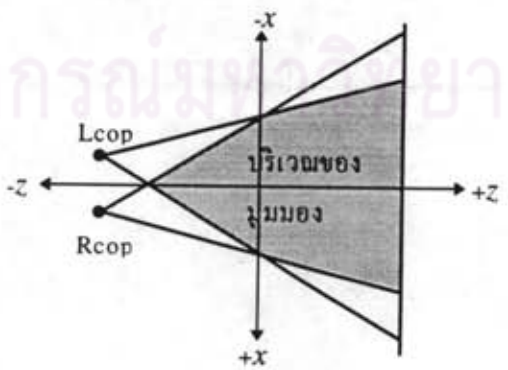
ซึ่งสามารถตีความการฉายภาพบนระนาบได้ในอีกหนึ่งลักษณะดังนี้

ขั้นตอนการฉายภาพบนแกน	ภาพตาขวา	ภาพตาซ้าย
1. เริ่มด้วยการย้ายจุด (x, y, z) ตามแนวนอนไป $e/2$ (หรือ $-e/2$)	$x-\frac{e}{2}$	$x+\frac{e}{2}$
2. จากนั้นฉายจุดที่ย้ายตำแหน่งแล้วลงบนระนาบ โดยใช้ (0, 0 $-d$) เป็นจุดศูนย์กลางการฉาย (ซึ่งอยู่บนแกนความลึก)	$\frac{d\left(x-\frac{e}{2}\right)}{d+z}$	$\frac{d\left(x+\frac{e}{2}\right)}{d+z}$
3. แล้วจึงย้ายจุดฉายบนระนาบกลับตามแนวนอนไป $-e/2$ (หรือ $e/2$)	$\frac{d\left(x-\frac{e}{2}\right)}{d+z}+\frac{e}{2}$	$\frac{d\left(x+\frac{e}{2}\right)}{d+z}-\frac{e}{2}$

บริเวณของมุมมอง

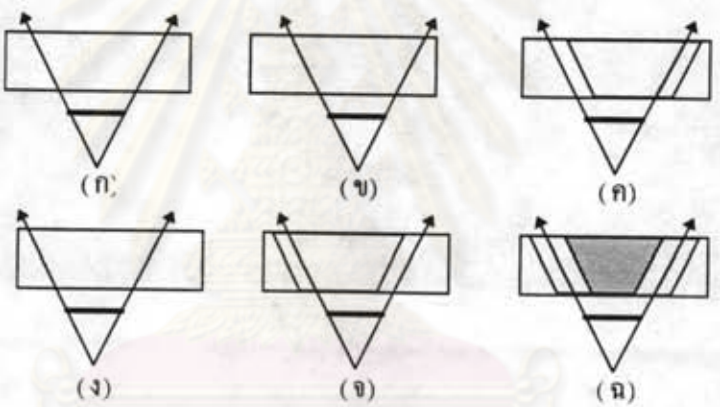
การฉายภาพแบบนอกแกน และแบบบนแกน มีรูปลักษณะทางคณิตศาสตร์ที่เหมือนกัน แต่จะต่างกันในเรื่องของบริเวณที่ถูกฉายบนระนาบของตาทั้งสองซึ่งเรียกว่า บริเวณของมุมมอง (Field of view) ในกรณีของการฉายภาพนอกแกนนั้น บริเวณของมุมมองหาได้จากบริเวณร่วมของการฉายภาพจากจุดศูนย์กลางทางซ้ายและทางขวา ที่ฉายลงบนพื้นที่ร่วมกันบนระนาบ ดังแสดงในรูปที่ 2.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3 บริเวณของมุมมอง สำหรับการฉายภาพนอกแกน

สำหรับการฉายภาพบนแกนนั้น ให้พิจารณาจากรูปที่ 2.4 กล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าแทนขอบเขตของวัตถุที่สนใจที่ถูกฉายลงบนระนาบการฉาย ในกรณีของภาพฉายสำหรับตาขวานั้นหาได้จากการย้ายตำแหน่งของทุกๆ วัตถุในขอบเขตที่สนใจไปทางซ้าย เป็นระยะทาง $e/2$ (รูปที่ 2.4 ข) จากนั้นฉายภาพลงบนระนาบแล้วจึงเลื่อนภาพฉายบนระนาบทั้งภาพกลับไปทางขวาเป็นระยะทาง $e/2$ (รูปที่ 2.4 ค) ให้สังเกตว่าการย้ายภาพกลับนี้เอง ที่ทำให้เกิดการสูญเสียข้อมูลที่ทำการฉายแล้วทางด้านซ้ายของจอภาพ นั่นคือเกิดช่องว่างทางด้านซ้าย ในทำนองเดียวกันการสร้างภาพฉายสำหรับตาซ้ายนั้น หาได้จากการย้ายตำแหน่งของทุกๆ วัตถุในขอบเขตที่สนใจไปทางขวา ฉายภาพลงบนระนาบ (รูปที่ 2.4 ง) แล้วย้ายภาพที่ได้กลับไปทางซ้าย (รูปที่ 2.4 จ) เมื่อรวมภาพฉายทั้งสองจะได้บริเวณของมุมมองร่วมของตาซ้ายและขวาในรูปที่ 2.4 ฉ บริเวณของมุมมองที่ได้นี้จะครอบคลุมบริเวณได้น้อยกว่าการฉายภาพแบบนอกแกน ซึ่งโดยทั่วไปอาจแตกต่างได้มากถึง 40%



รูปที่ 2.4 บริเวณของมุมมอง สำหรับการฉายภาพบนแกน

แม้ว่าการฉายภาพแบบบนแกนจะคลอบคลุมบริเวณได้น้อยกว่า การฉายภาพแบบนอกแกนนั้น วิธีการฉายภาพแบบบนแกนง่ายต่อการดำเนินการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับส่วนแสดงผลกราฟิกส์ระดับเครื่องเวอร์คสเตชันที่สามารถทำการฉายภาพ การย้ายจุด และการย้ายภาพได้ด้วยฮาร์ดแวร์ ดังนั้นจะสามารถฉายภาพคู่สเตอริโอได้รวดเร็วกว่า

การเหลื่อมในแนวนอน

ในการเลือกระยะระหว่าง Lcop และ Rcop หรือ ค่า e ที่อธิบายในส่วนที่แล้วเป็นสิ่งสำคัญ ในการที่ผู้มองภาพจะรวมภาพที่ได้รับบนตาซ้ายและตาขวามาเป็นภาพเดียว การเลือกค่า e ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการเช่น สีเด่นของวัตถุ, ตำแหน่งของวัตถุบนจอภาพ, วิธีเหลื่อมภาพที่นำ

มาใช้ แบบลบ (สองภาพไขว้กัน) หรือแบบบวก (สองภาพไม่ไขว้กัน), ประสบการณ์และระบบสายตาของผู้สังเกต,ระยะของตาจนถึงจอภาพ, ขนาดของจอภาพ และ ระยะจากวัตถุไปยังระนาบการฉาย

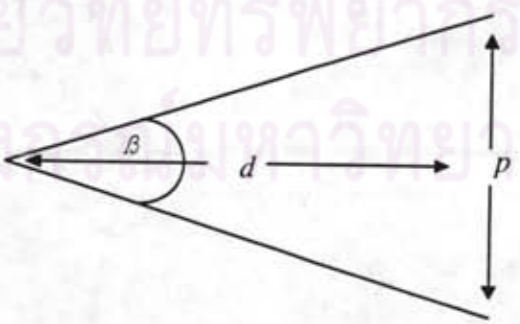
ขนาดของการเหลื่อมในแนวนอน ที่ปรากฏบนจอภาพเนื่องมาจากค่า e ใดๆ ขึ้นกับระยะตั้งฉากจากระนาบการฉายของ วัตถุในฉาก เราสามารถ คำนวณจากจุดใดๆ จากค่าแตกต่างของ x, $(x_r - x_l)$ จากสมการ (4) และ (5) จะได้ ขนาดของการเหลื่อมในแนวนอน, p คือ

$$\begin{aligned} p = \quad & x_r - x_l \\ = \quad & \left[\frac{d\left(x-\frac{e}{2}\right)}{d+z}+\frac{e}{2}\right]-\left[\frac{d\left(x+\frac{e}{2}\right)}{d+z}-\frac{e}{2}\right] \\ = \quad & e\left(1-\frac{d}{d+z}\right) \end{aligned} \qquad (6)$$

โดยทั่วไป ค่าของ e จะสัมพันธ์กับปริมาณของ การเหลื่อมในแนวนอน โดย

$$e = \frac{p}{1-\frac{d}{d+z}} = \frac{p(i+1)}{i} \qquad (7)$$

โดยที่ $i.d$ เป็นค่าความลึกที่มากที่สุดของบริเวณที่มีวัตถุในฉาก



รูปที่ 2.5 แสดงมุมการมองในแนวนอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความสัมพันธ์ของการเหลื่อมในแนวนอนกับมุมการมอง

จอภาพที่ใช้สำหรับแสดงภาพสเตอริโอ มีความหลากหลายตั้งแต่จอภาพธรรมดาเล็กๆ ไปจนถึงภาพฉายขนาดใหญ่ ดังนั้น เราจึงเลือกที่จะแสดงค่า e ในรูปของ มุมการมองในแนวนอน (Horizontal Visual Angle :-HVA) สำหรับ การเหลื่อมในแนวนอนขนาด p หน่วย บนจอภาพ HVA คือ มุม ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.5

$$p = 2d.\tan\left(\frac{\beta}{2}\right) \qquad (8)$$

จากสมการที่ (8) แทนค่า p ในรูปของ HVA ลงในสมการที่ (7) เราสามารถคำนวณค่า e โดยใช้ค่า

HVA ที่มากที่สุดที่ยอมได้ ได้ดังนี้

$$e = 2d.\tan\left(\frac{\beta}{2}\right).\frac{(i+1)}{i} \qquad (9)$$

โดยที่

d = ระยะตั้งฉาก ระหว่าง Cop จาก ระนาบการฉาย

e = ระยะระหว่าง Lcop และ Rcop

β = มุมการมองในแนวนอน (HVA) ที่มากที่สุด

i = ความลึกของฉากในหน่วยของ d (เป็นจำนวนเท่าของ d)

การหาค่าที่เหมาะสมของมุมการมองในแนวนอน

ในการเลือกค่าสำหรับ HVA เป็นส่วนที่สำคัญในการสร้างภาพสเตอริโอ หาก HVA มีค่ามากเกินไป การรวมภาพที่สร้างขึ้นของสมองจะยากในบางส่วนหรือทั้งหมดของภาพหาก ค่า HVA น้อยเกินไปผลที่เกิดจากความเป็นสเตอริโอก็จะหายไป จะดูเป็นธรรมชาติมากหากจะกำหนดค่า HVA ที่มากที่สุดตามระยะจากตาไปยังจอภาพและระยะห่างระหว่างตายกตัวอย่างเช่น หากกำหนดให้ระยะระหว่างตาเป็น 6.35 เซนติเมตร และ อยู่ห่างจากจอภาพ 61 เซนติเมตร วัตถุที่อยู่ไกลเป็นอนันต์จะทำมุมระหว่างกันบนระนาบการฉายประมาณ 6 องศา และ HVA ของวัตถุที่อยู่

หลังจากระนาบการฉาย 61 เซนติเมตร จะทำมุมประมาณ 3 องศา โดยทั่วไปแล้ว หากกำหนด HVA แล้วทำให้เป็นการยากที่จะดูภาพให้เป็นสามมิติก็ควรจะลดมุม HVA ลงมา

ปัจจัยที่มีผลกับคุณภาพของภาพ

มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพที่ได้ ได้แก่

1. ภาพหลอนและการรบกวนข้ามช่อง (Interocular Cross Talk and Ghosting)

ในระบบภาพสลับเชิงเวลา (Time-Multiplexed) ที่สมบูรณ์ เมื่อภาพสำหรับตาขวากำลังแสดงบนจอภาพ ภาพสำหรับตาซ้ายก็จะถูกบิดไปอย่างหมดจด หรือในทางกลับกัน เมื่อภาพสำหรับตาซ้ายกำลังแสดงบนจอภาพสำหรับตาขวาก็จะถูกปิดไปอย่างหมดจดเช่นกัน แต่ในระบบจริงๆ แล้ว การรบกวนข้ามช่องระหว่างภาพจะเกิดขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการรบกวนข้ามช่องได้แก่ อัตราการส่งผ่านแสงในสภาวะเปิดต่อสภาวะปิด (Dynamic Range) ของชัตเตอร์,การคงอยู่ของฟอสฟอรัสบนจอภาพ (Phosphor Persistance) และตำแหน่งทางแนวตั้งของภาพ ปัจจัยที่มีผลต่อการได้รับหรือเห็นภาพหลอน (Ghosting) ระหว่างภาพของตาซ้ายและขวา ซึ่งเป็นผลมาจากการรบกวนข้ามช่องได้แก่ ความสว่างของภาพ, ความเข้ม,ความซับซ้อนของพื้นผิว, และ การเหลื่อมในแนวนอน

การรบกวนข้ามช่องเป็นผลมาจากการรวมกันของผลที่เกิดจากการรั่วของชัตเตอร์ ในขณะที่ยังปิดอยู่และฟอสฟอรัสที่ยังไม่จางหายไปของภาพตรงข้ามกับที่แสดงอยู่ในขณะที่ชัตเตอร์กำลังเปิดอยู่ ปริมาณการรั่วของชัตเตอร์ที่อยู่ในสถานะปิด จะถูกวัดในรูปของอัตราส่วนของการส่งผ่านของแสงในสภาวะเปิดต่อสภาวะปิด สำหรับการวัดปริมาณฟอสฟอรัสที่ตกค้างมาจากภาพตรงข้ามจะวัดโดยใช้ระยะเวลาที่ความสว่างของฟอสฟอรัสลดลงเหลือ 10 เปอร์เซ็นต์ จากความสว่างเริ่มต้น ซึ่งมักขึ้นอยู่กับสีของวัตถุเช่น ฟอสฟอรัสหมายเลข P22 ที่ใช้กันมากในจอสีทั่วไป ฟอสฟอรัสสีแดงและน้ำเงินจะลดความสว่างลงเร็วกว่าฟอสฟอรัสสีเขียว

ผลกระทบเรื่องการคงอยู่ของฟอสฟอรัสยังขึ้นกับตำแหน่งของวัตถุบนจอภาพแบบราสเตอร์สแกน (Raster Scan) ฟอสฟอรัสที่อยู่ด้านบนของจอภาพจะมีเวลาในการสลายตัวมากกว่าบริเวณอยู่ด้านล่าง เมื่อชัตเตอร์เริ่มเปลี่ยนสถานะ ดังนั้นภาพที่อยู่ส่วนบนๆ จะได้รับผลกระทบน้อยกว่าบริเวณที่อยู่ด้านล่าง

ปรากฏการณ์ภาพหลอน ซึ่งเป็นผลมาจากการรบกวนข้ามช่องระหว่างตาซ้ายและขวา สามารถลดลงได้โดยหลายปัจจัยเช่น ความสว่างของภาพ, ความเข้ม, ความซับซ้อนของพื้นผิว, และปริมาณการเหลื่อมในแนวนอน ปริมาณผลกระทบที่ได้รับจากปัจจัยเหล่านี้ ไม่สามารถวัดเป็นปริมาณที่วัดได้ง่ายๆ แต่สามารถใช้หลักการง่ายๆ ในการเพิ่มคุณภาพของภาพได้โดยที่ ภาพหลอนจะแปรผันโดยตรงกับความสว่างของภาพ, ความเข้ม, และปริมาณการเหลื่อมในแนวนอน และแปรผกผันกับความซับซ้อนของพื้นผิวหรือรายละเอียดของภาพ

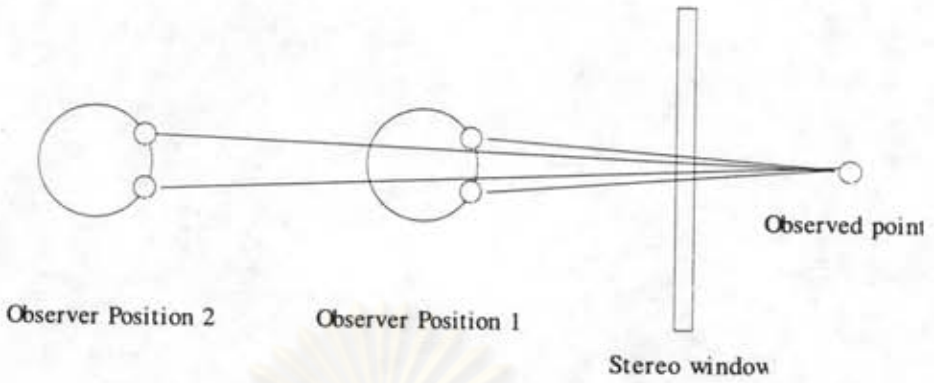
2. อัตราการกวาดภาพของจอแสดงผล

อัตราการกวาดภาพของจอแสดงผลจะมีผลต่อการกระพริบของภาพที่แสดงในจอส่วนใหญ่ที่มีอัตราการกวาดภาพเป็น 60 ภาพต่อวินาที จะทำให้ แต่ละตาได้รับภาพในอัตรา 30 ภาพต่อวินาที การสลับภาพมักจะทำโดยใช้ ฮาร์ดแวร์ และมีสองบัฟเฟอร์ (Buffer) การทำระบบแบบตอบโต้มักทำได้ยากเนื่องจากการเตรียมภาพสำหรับแต่ละตานั้น ต้องทำให้ได้ภายใน 1/60 วินาที ในจอภาพที่มีอัตราการกวาดภาพเป็น 120 ภาพต่อวินาที มักจะทำการลดความละเอียดของภาพการแสดงผลและเพิ่มบัฟเฟอร์อีกสองบัฟเฟอร์สำหรับการเตรียมภาพที่ใช้แสดงผล การทำระบบแบบโต้ตอบทันทีสำหรับระบบเช่นนี้จะมีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติมากกว่าแบบแรก

การปรับขนาดของภาพ

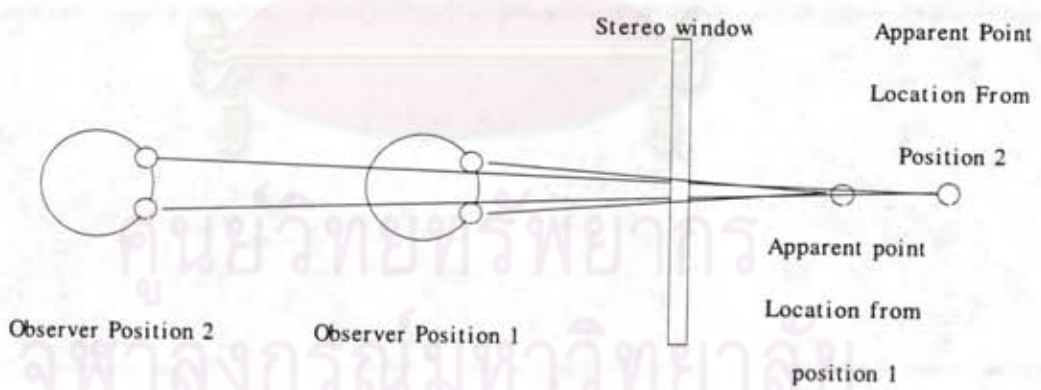
การปรากฏความลึกของจุดหรือวัตถุในระบบแสดงผลแบบสเตอริโอขึ้นกับตำแหน่งของผู้สังเกตเทียบกับจอภาพ ความสัมพันธ์นี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.6 เมื่อผู้สังเกตอยู่ห่างจากจอภาพมากขึ้น การเหลื่อมในแนวนอนสำหรับจุดคงที่จุดหนึ่งจะลดลง เมื่อผู้สังเกตอยู่ใกล้จอมากขึ้นการเหลื่อมในแนวนอนก็จะมากขึ้น

เนื่องจากระยะห่างของผู้สังเกตกับจอภาพมักไม่สามารถกำหนดได้อย่างตายตัวหรือไม่ทราบค่าโดยทั่วไปมักจะคำนวณภาพ โดยการสมมุติให้ผู้สังเกตอยู่ที่ตำแหน่งตรงกลางและมีระยะห่างจากระนาบการฉายเป็นระยะคงที่ระยะหนึ่งยิ่งไปกว่านั้น (ยกเว้น Head Sensing Display) ภาพจะไม่ถูกเปลี่ยนเมื่อผู้สังเกตเปลี่ยนตำแหน่งการมองไป สมมุติฐานเช่นนี้ทำให้ระบบมีการเหลื่อมในแนวนอนแบบคงที่ (Fixed Horizontal Parallax) สำหรับจุดหนึ่งจากระนาบการฉาย ไม่ว่าผู้สังเกตจะอยู่ตำแหน่งใดก็ตาม



รูปที่ 2.6 แสดง ความเหลื่อมในแนวนอนที่เปลี่ยนไปเมื่อตำแหน่งของผู้สังเกตเปลี่ยน

ระบบที่มีการเหลื่อมในแนวนอนแบบคงที่ ก่อให้เกิดการบิดเบือนของภาพตามแกนการมองตั้งฉากกับระนาบของผู้มอง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.7 เมื่อผู้สังเกตเคลื่อนออกไปไกลจากจอขึ้นภาพจะยาวเรียวขึ้นและเมื่อผู้สังเกตเคลื่อนที่เข้าใกล้จอมากขึ้นภาพก็จะหดลง เมื่อผู้สังเกตเคลื่อนจากอีกด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งภาพก็จะเลื่อนตามไปด้วย ในทางปฏิบัติแล้วการประยุกต์ใช้ต่อปัจจัยเหล่านี้จะทำการกำหนดตำแหน่งที่น้อยที่สุดในการมองภาพที่จะทำให้การปรับขนาดภาพ ในแนวจากด้านหน้าไปด้านหลังของภาพต่อการปรับสัดส่วนภาพในแนวขึ้นลงหรือซ้ายขวา



รูปที่ 2.7 แสดงความบิดเบือนที่เกิดขึ้น เมื่อตำแหน่งของผู้สังเกตเปลี่ยนไป

แต่ภาพที่แสดงมีขนาดเท่าเดิม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ถูกต้องสำหรับตำแหน่งของศีรษะใดๆ จะทำให้ได้โดยการใช้อุปกรณ์ที่ตรวจจับตำแหน่งของศีรษะ (Head-Tracking Device) และทำการคำนวณภาพใหม่ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งของศีรษะแต่การสร้างภาพแบบเวลาจริง (Real Time) เช่นนี้จะเป็นการจำกัดความซับซ้อนของภาพเนื่องจากต้องใช้เวลานานในการคำนวณและจะสร้างภาพให้ได้กับผู้สังเกตเพียงคนเดียวเท่านั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย