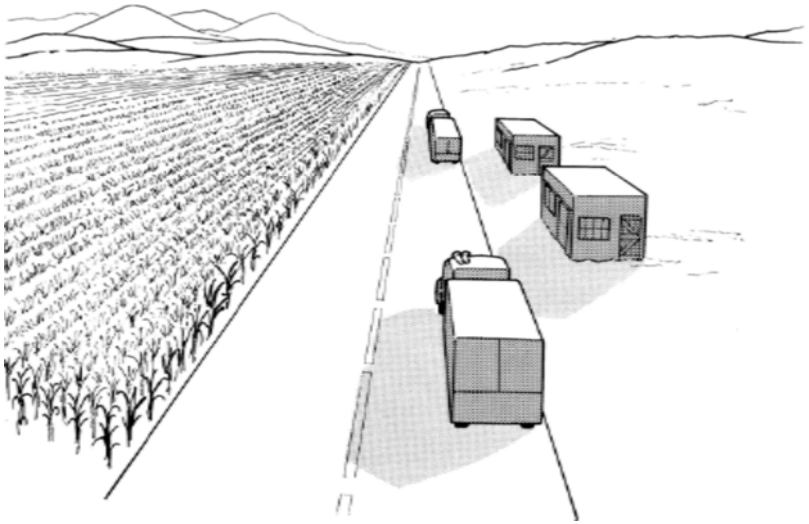
Stereoscopic Computer Graphics

071012-1
2019년 봄학기
5/30/2019
박경신

Overview

- 3D Depth Cues (3차원 깊이 인식 단서들)
- 3D Stereographics Terminology (3차원 입체영상 용어 정리)
- 3D Display (3차원 입체영상 디스플레이)

3D Depth Cues



Visual Depth Cues

- Perceiving "depth" with one eye closed

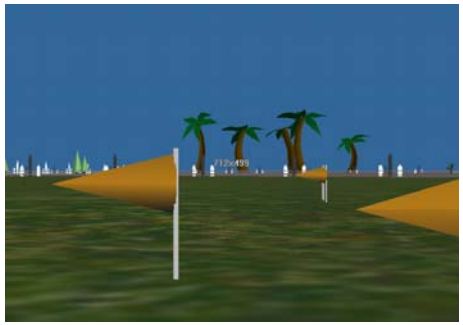
- 대상중심단서들 (Object-centered cues) or 회화적 단서 (Pictorial cues):
  - Linear perspective (직선 조망)
    - 평행선이 한 소실점으로 수렴
  - Size of known objects (알려진 물체들의 상대적 크기)
    - 가까이 있는 물체가 더 크게 보임
  - Detail (texture gradient) (텍스쳐 변화)
    - 가까이 있는 물체의 텍스쳐가 더 선명하게 보임
  - Occlusion (hidden surfaces) (다른 물체에 의한 중첩)
  - Lighting and Shadows (빛에 의한 반사, 그림자에 의한 효과)
    - 가까운 물체가 더 밝고, 먼 물체는 희미하게 보임
    - 그림자는 일종의 occlusion을 보여주는 형태
  - Relative motion (motion parallax due to head motion) (운동시차)
    - 멀리있는 물체가 가까이 있는 것보다 더 천천히 움직임

Perspective

- 도로, 철로와 같은 평행선이 멀어질 수록 하나의 소실점 (Single vanishing point)으로 수렴
- 평행한 선 상에 놓여있는 물체 (예: 빌딩, 가로수)의 경우에 높이 (Height)가 작아질 수록 멀리 있는 것으로 보임

Size

- 우리가 잘 알고 있는 물체들의 크기 (Size)를 비교해서, 어느 것이 더 멀리 있는 지를 측정할 수 있음 – E.g. 코끼리와 작은 공의 크기가 비슷하게 보인다면 코끼리가 멀리 있는 것임
- 같은 물체들끼리의 크기를 비교해서 물체들 간의 상대적인 거리를 측정할 수 있음



Detail

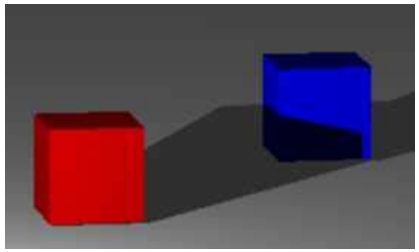
- 인간의 눈은 가까이 있는 것과 비교해서 멀리 있는 물체의 텍스쳐 기울기 상세함 (Details in texture gradient)을 식별하지 못함
- 도로의 보도 블럭과 같이 규칙적이고 동일한 크기의 요소가 일정하게 배열된 텍스쳐가 촘촘하게 보일 수록 멀리 있는 것으로 보임
- 아지랑이 또는 안개와 같은 공기 중의 빛의 산란 때문에 즉, 공중 원근 (Atmospheric perspective)에 의해서, 멀리 있는 물체가 더 희미하게 보임

Occlusion

- 가려진 대상은 가린 대상보다 멀리 있는 것으로 보임
- 가장 강력한 3차원 깊이 인식 단서임

Lighting and Shadow

- 밝은 (Brighter) 물체가 더 가까이 있는 것으로 보임
- 하나의 빛이 있을 경우, 모든 그림자는 한 방향으로 생김
- 빛이 위에서 비춘다고 가정하기 때문에 물체의 아래 부분에 그림자가 있으면 튀어나온 것으로 보임
- 빛과 그림자에 의하여 두 물체 간의 상대적인 위치를 감지함



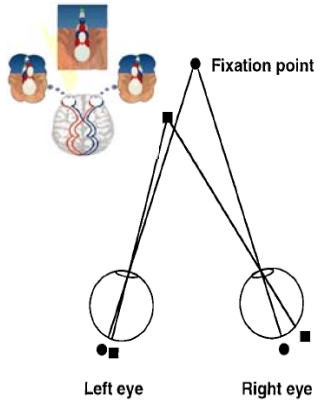
Motion Parallax

- 관찰자가 대상을 보면서 움직이면 가까운 대상은 먼 대상보다 더 많이 눈의 망막 상에서 옮겨지는데 이를 운동 시차 (Motion Parallax)라 함
- 기차를 타고 가다 보면 먼 산은 자기를 따라오고 가까운 나무는 빠르게 뒤로 가는 것처럼 보이는 것으로, 관찰자의 위치와 대상 간의 상대적인 위치의 변화에 의해 생기는 현상
- 가상현실을 위해서 양안시차 (Stereoscopy)보다 더 중요함
- 서로 겹쳐져 보이는 두 대상을 보면서 움직일 때는 방향에 따라 뒤쪽 대상의 표면에서 삭제와 증식 (Deletion & Accretion)이 일어남
- 이 단서는 중첩과 운동시차가 결합된 것으로서 모서리에서의 상대적 거리를 정확히 판단하는데 유용함

Visual Depth Cues
- Using both eyes

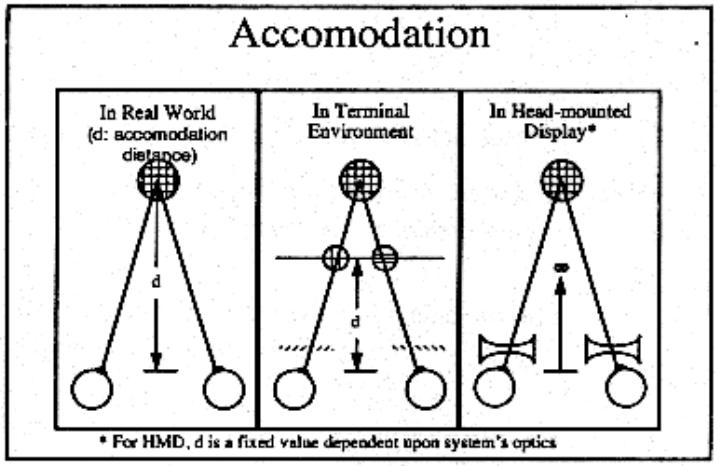
- 양안 단서 (Binocular cues):
  - Binocular disparity (Stereopsis)
    - 인간의 두 눈 사이 거리 (Interocular distance)가 약 6cm 떨어져 있어서 양쪽 눈에 맺힌 망막상은 약간 다르다, 이를 양안시차 (Binocular disparity) 또는 입체시각 (Stereopsis)라고 하며, 이 때문에 거리의 판단과 입체감을 경험함
- 안구운동적 단서 (Oculomotor cues):
  - Accommodation (Focus) (조절/초점)
    - 특정거리에 있는 대상에 초점을 맞추기 위하여 (즉, 물체의 거리에 따라 조절을 통해 정확한 상을 맺게 하기 위해) 눈의 근육에 긴장을 줌
  - Convergence (수렴)
    - 대상에 초점을 맞추기 위하여 두 눈이 대상을 향해서 수렴하게 되어 눈의 근육에 긴장을 줌
  - Accommodation과 Convergence는 특정 거리에 있는 대상에 초점을 맞추기 위해 동시에 작용함

Stereoscopy

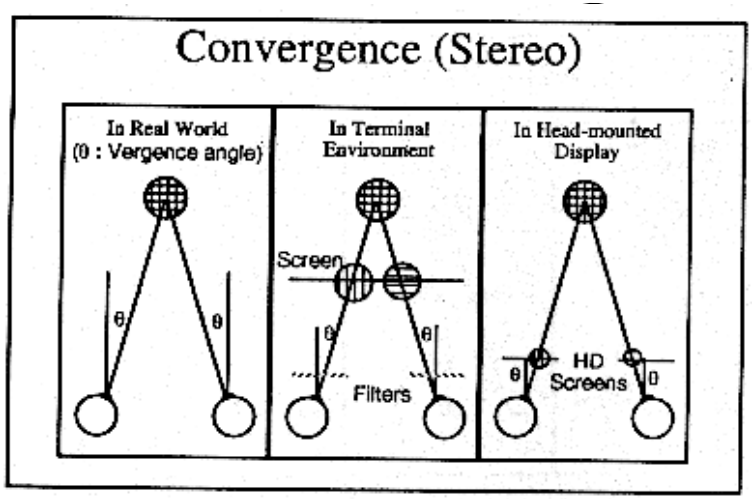


- 양안시차 시각 (Binocular vision)은 두 눈이 약간 다른 방향에서 대상을 인지하는 것으로 두 눈에 약간 다른 영상을 맺힘
- 인간의 뇌에서 두 눈에 맺힌 영상을 합성함
- 두 눈 사이의 거리에 의하여 양쪽 눈에 약간 다른 영상이 맺히게 되는 현상을 양안 시차 (Binocular disparity)라 부름
- 입체시각 (Stereopsis)는 양안시차에 의하여 생긴 깊이 지각임
- 관찰자로부터 두 물체가 서로 다른 거리에 있으면 그 다른 정도에 따라 두 물체가 망막에 맺히는 상대적인 거리가 달라지거나 위치가 역전됨

Accommodation (focus)



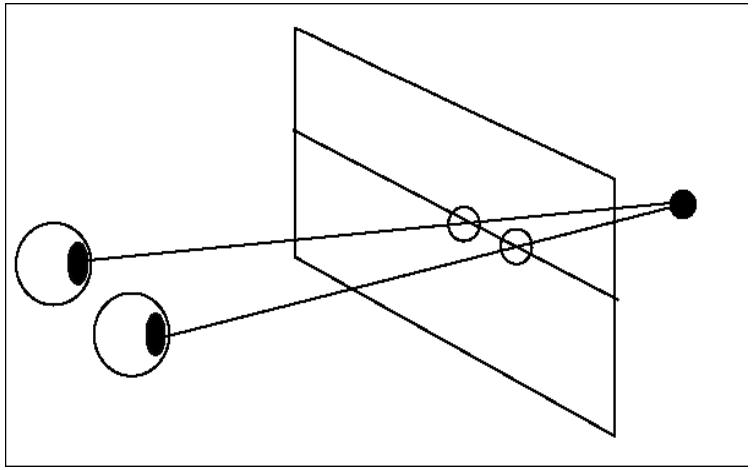
Convergence



Some Terminology

- Horizontal Parallax / Binocular disparity (수평시차)
  - 디스플레이 스크린 상의 동일점 (즉, 두 개의 일치하는 지점) 사이의 수평거리
- Stereo Window/Plane (스테레오 평면)
  - 두 눈으로 보는 것 간에 차이가 없는 지점
  - 일반적으로 동일점이 모니터/프로젝션 스크린과 같은 깊이에 있음
- Homologous Points (동일점)
  - 인간의 시각 시스템 좌, 우 눈에서 나오는 광선이 스크린 상에서 교차하는 점
- Vertical Displacement (수직 시차)
  - 디스플레이 스크린상의 동일점 (즉, 두 개의 일치하는 지점) 사이의 수직거리

Homologous Points



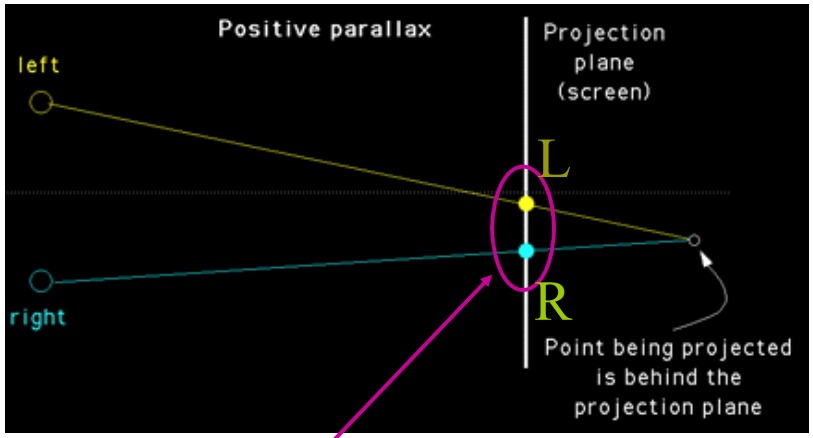
Some Terminology

- Interocular Distance (양안간 거리)
  - 인간의 좌, 우 눈 사이의 거리 (일반적으로 2.5in, 6.5cm)
- Hypostereo/Giantism (준입체)
  - 양안간이 6.5 cm의 표준치 미만인 macro 3차원 입체 이미지를 말하며 접사로 촬영된 입체 이미지를 말함
- Hyperstereo/Lilliputism (초입체)
  - 양안간이 6.5 cm 표준치를 초과하는 원경 3차원 입체 이미지를 말하며 3차원 입체로 촬영한 풍경 이미지가 좋은 예임
- Interocular Crosstalk (Ghosting) 혼신
  - 근접한 어떤 회선으로부터 다른 회선으로 신호가 흘러 들어가는 현상으로, 입체영상에서는 원하지 않는 좌, 우 영상이 다른 쪽 눈에 보여지는 것을 말하는 것 – 눈의 피로감을 일으킴

Some Terminology

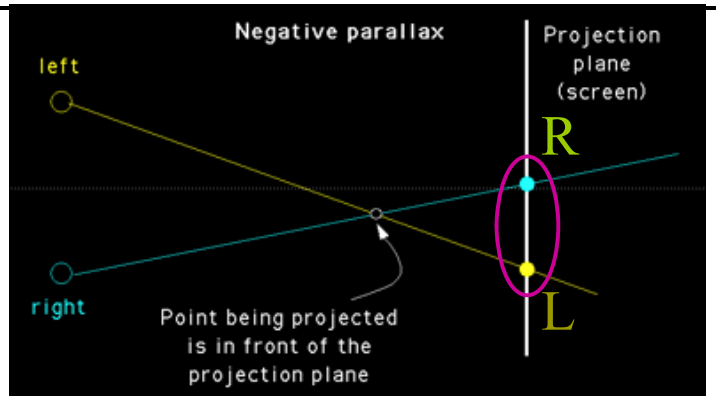
- Positive Parallax (포지티브 입체시차)
  - 스테레오 평면에 맺힌 두 점이 각각 좌, 우 눈으로 들어오고, 뇌에서 하나로 합쳐져서 스테레오 평면보다 들어가 보이는 것
- Negative Parallax (네거티브 입체시차)
  - 스테레오 평면에 맺힌 두 점이 각각 반대쪽 좌, 우 눈으로 들어오고, 뇌에서 하나로 합쳐져서 스테레오 평면보다 앞으로 튀어나와 보이는 것
- Zero Parallax (제로 입체시차)
  - 스테레오 평면 (stereo window)에 정확한 초점을 맺으며 양안 시차가 없는 것

Positive Parallax
Accommodation-convergence mismatch



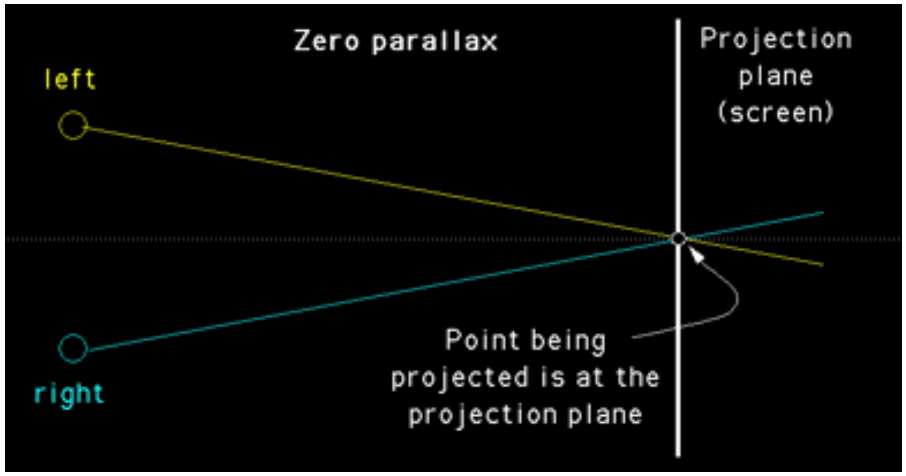
The left and right eye images projected on the screen

Negative Parallax
Accommodation-convergence mismatch

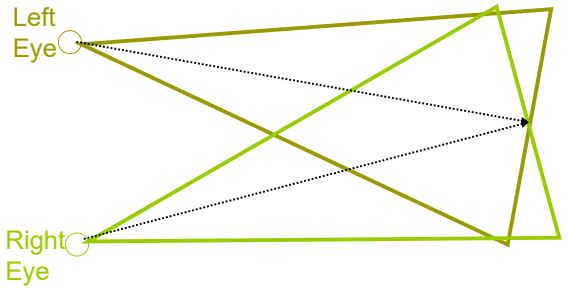


- If Objects are too close in front of the projection plane, negative parallax will increase.
- If negative parallax is wider than eye separation, then result is pain.

Zero Parallax
When the object is actually on the screen

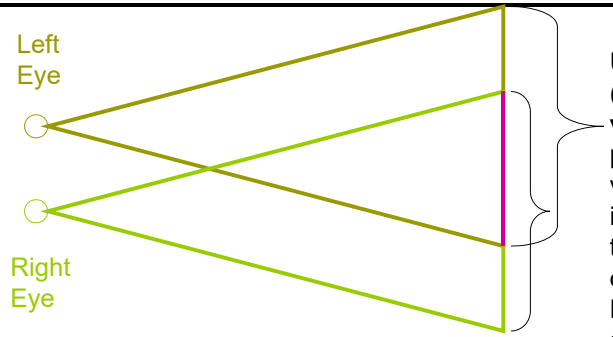


Stereo Approximation



Viewing a point in a scene from two difference camera positions produces differing view planes

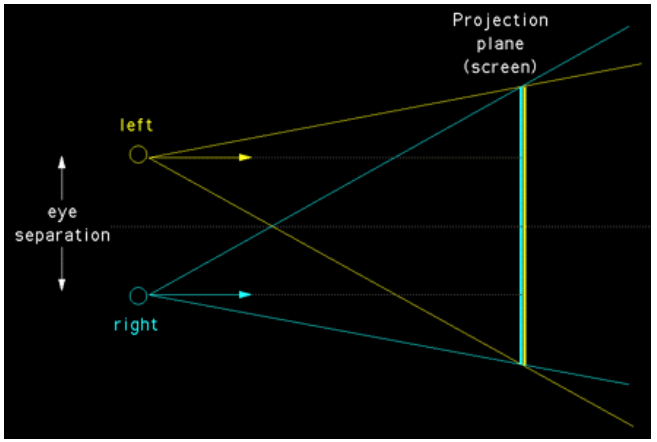
Stereo Approximation



Using parallel views (i.e. **symmetric view frustums)** produces a single view plane, but images must be trimmed to area of overlap - Projection Planes are not the same

- 그러나, 물체가 너무 가까이 있을 경우 경계면에서 물체가 잘려 보여서 눈에 피로를 일으킬 수 있음
- 미간의 차이를 넓히면 문제가 더욱 심각해짐

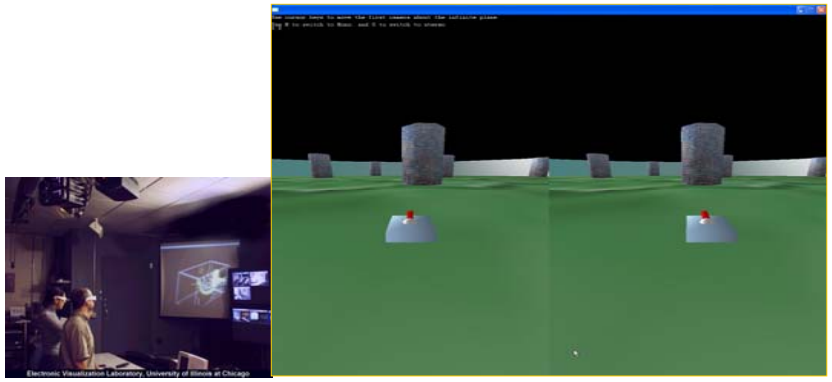
Correct Stereo Computer Graphics



The correct approach using **parallel views and asymmetric view frustrum** produces a single viewplane and overlapped image

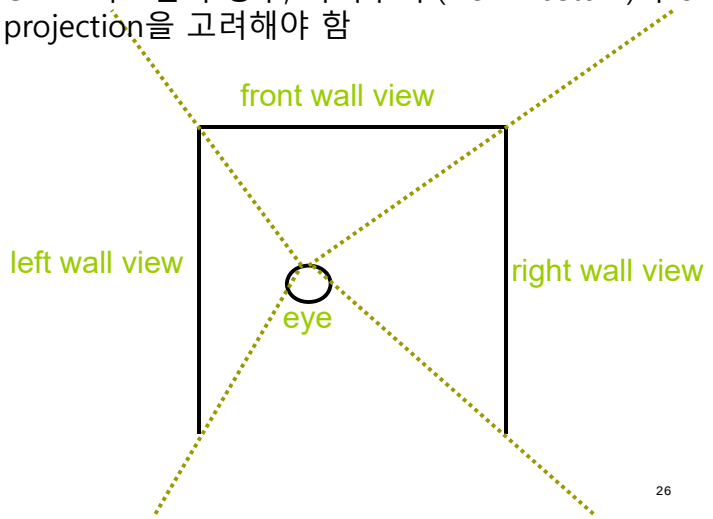
Stereo Images on the GeoWall

- 1개의 2048x768 화면에 좌, 우 이미지를 보여주는 2개의 뷰포트 (viewports)를 생성함
- 각 뷰포트의 이미지는 2개의 프로젝터로 내보냄

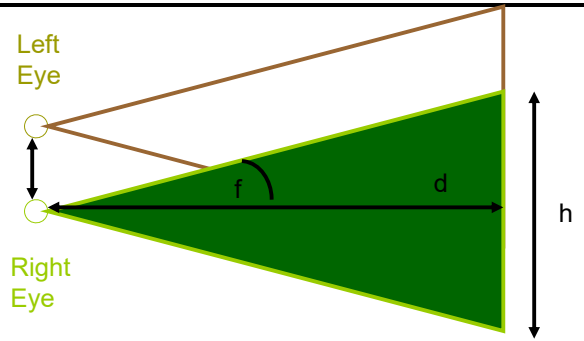


Off-axis Perspective Projection in a CAVE

- CAVE 시스템의 경우, 가시부피 (view frustum)가 off-axis projection을 고려해야 함



Making the virtual world look true to size



- Set camera properties to be the same as real world properties:
  - Set user's distance to screen (i.e. focal length d)
  - Measure the screen's height (h)
  - Compute the field of view (f = 2*atan(h/2d))
  - Use real world eye separation distance (2.5 inches)

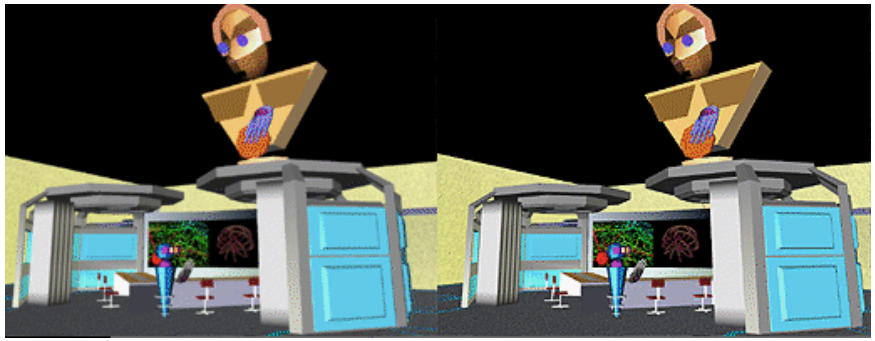
How to Generate Stereo Images

Present a distinct image to each eye:

- Free-viewing
- Optics (lenses)
- Chromadepth
- Pulfrich Effect
- Anaglyph (color)
- Polarization
- Active Shuttering
- Autostereo

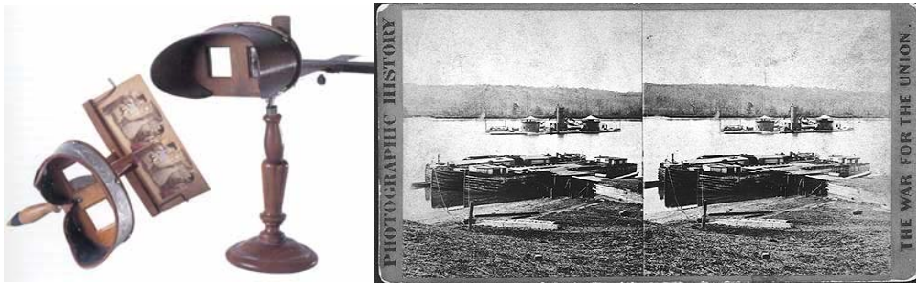
Free-viewing

- Free-viewing (육안 감상)
  - 안경이나 렌즈를 전혀 사용하지 않고 한 쌍의 3차원 이미지를 감상하는 방법을 말하며, 병렬식 (parallel) 육안 감상과 교차식 (cross-eyed) 육안감상이 있음



Optics

- Optics (입체 광학기)
  - 물리적으로 좌, 우 분리된 렌즈를 사용하여 각각의 눈에 좌, 우 영상을 보여줌



Stereoscope, invented by Charles Wheatstone in early 1800s

Optics

Viewmaster

Slidemaster

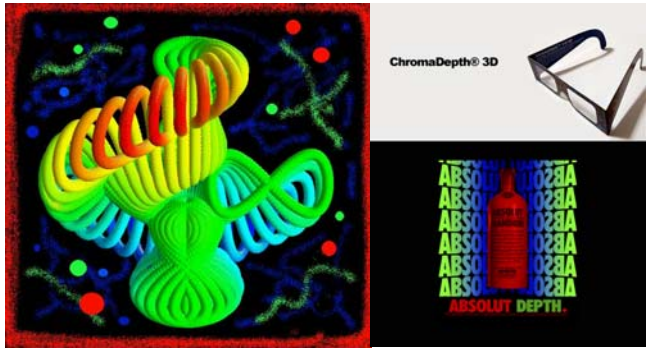
Optics

HMD

BOOM

Chromadepth

- Chromadepth 입체안경은 일반적인 2차원 이미지에서도 입체 효과를 볼 수 있도록 고안된 특수 안경으로, 이 안경의 특수한 필터가 색깔 별로 깊이감을 느끼게끔 만들어 줌
- 빨강색이 가장 앞으로 튀어나오는 효과를 주며, 파란색이 가장 멀리 있는 것처럼 느끼게 됨



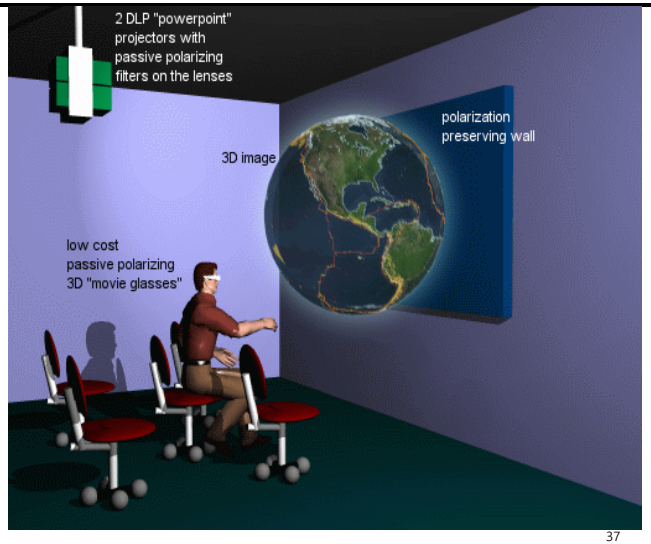
Pulfrich Effect

- Pulfrich Effect (풀프리히 효과)는 천문학자 Carl Pulfrich에 의해 발견된 생리현상
- 농도차 효과라고도 하며 안경 좌우에 투과율이 다른 필터를 장착하여 움직임이 있는 평면 화상을 관찰하면, 투과율의 차에 따른 지각 시간의 차이로 인해 입체감이 느끼게 됨
  - 빨간공과 하얀공이 있다. 빨간공은 그냥 있고 하얀공은 좌우로 움직이고 있다. 그런데 투시장치를 통해 빨간공을 보니 하얀공이 원을 그리며 돌고 있다. 이유는? 투시장치는 움직이는 공을 조금 늦게 보게 만든다. 그 결과 우리는 공의 서로 다른 상을 보게 된다. 이 정보를 뇌는 공이 원을 그리며 도는 것으로 해석한다.
- Pulfrich Glass (풀프리히 안경)은 한 렌즈는 투명하고 다른 쪽은 어두운 필터로 되어 있는 것으로 풀프리히 효과를 응용해 촬영한 영상을 감상하는데 사용
- 어두운 렌즈로 본 이미지가 투명한 렌즈를 통해 본 이미지보다 뇌에 늦게 도달함

Anaglyph

- 일반적으로 왼쪽 눈에 빨간색과 오른쪽 눈에 파란색 (또는 초록색 또는 청록색 cyan) 필터가 부착된 애너글리프 안경을 사용하여 입체를 감상함
- 애너글리프 색 렌즈가 각 눈에 들어가는 이미지를 다른 쪽에 비해 더욱 두드러지게 나타내어 입체감을 느끼게 함

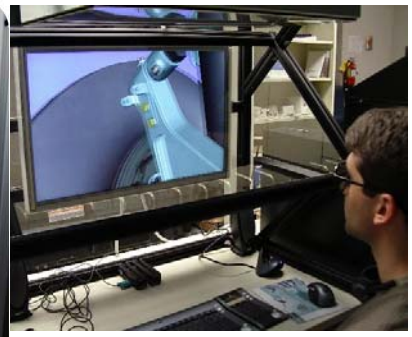
Passive Polarization



GeoWall

Passive Polarization

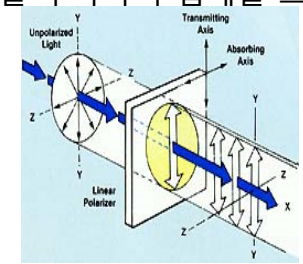
IDesk4 – Linear Polarization



IDesk4 – Circular Polarization

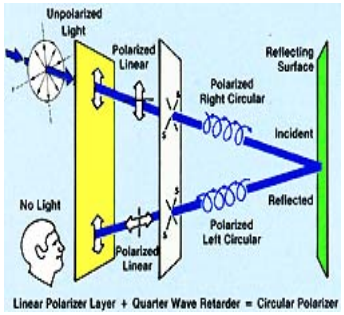
Linear Polarization

- 영사기 전구에서 나오는 빛은 기본적으로 산란광임 (즉, 모든 방향으로 진동하는 빛들이 섞여있음)
- 렌즈 앞에 부착된 편광 필터 (polarization filter)는 한 방향으로 진동하는 빛만을 통과시킴
- 두 개의 편광 필터가 각기 통과시키는 빛은 진동 방향이 서로 직각임 (즉, 왼쪽 눈 이미지는 수직, 오른 쪽 눈 이미지는 수평으로 서로 직각이 되게 구성함)
- 편광 안경에도 같은 편광 필터를 부착하여 입체를 느끼게 함
- 문제: head-tilting problem



Circular Polarization

- 선형 편광 (Linear polarization)에 1/4 파장 위상차판 (quarter-wave retarder)를 사용하면 원형 편광 (Circular polarization)을 만들 수 있음
- 원형 편광은 head-tilt problem가 없음
- 문제: 많은 프로젝션 스크린이 편광을 소멸시키는 재질임; 반사가 클 때 거울도 역시 편광을 소멸시킴; LCD는 내부적으로 편광을 투사함



Active Shutter Glasses

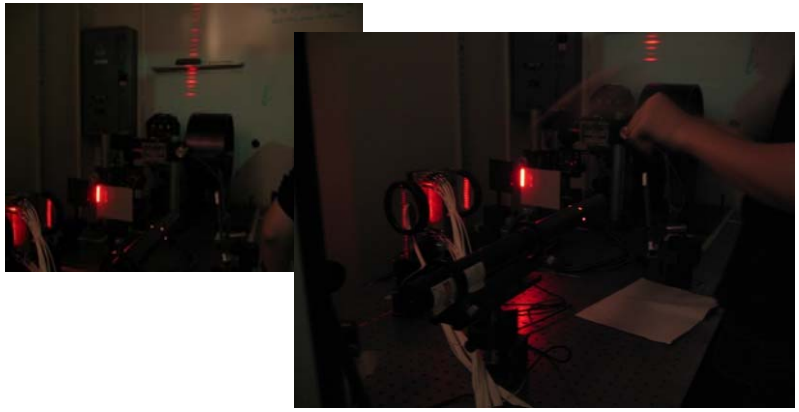
- "Active stereo"
- Liquid crystal lenses 안경이 매우 빠르게 좌,우 눈을 밝고 어둡게 해서 입체감을 느끼게 함
- 이 안경은 비디오 디스플레이와 동기화 (synchronized)되어야 함 – 왼쪽 눈은 홀수 프레임을 보고 오른쪽 눈은 짝수 프레임을 보게 함
- 때문에 flickering을 막기 위해 90Hz 이상의 매우 빠른 비디오 화면 갱신률 (refresh rate)
- LCD 프로젝터는 빠른 frequency에 적합하지 못하고, 싼 DLP 프로젝터는 빠른 frequency를 지원하도록 프로그램 되지 않음

Auto-stereoscopic

- Auto-stereoscopic은 무안경식 입체영상 (Glass-free stereo)으로 여러 시점에서 본 이미지가 수직 스트립들로 나눠져서 제공됨
- Auto-stereoscopic
  - Parallax barrier (시차 배리어): Barrier strip (PHSCologram, Synthagram, etc) separate layer with strips that block all but one image from any viewpoint
  - Lenticular (렌티큘러): lens like stripes
  - Lenslet (렌즈렛): Integral photograph or integram
- 3D displays (3차원 디스플레이)
  - Holography (홀로그래픽)
  - Volumetric (부피방식)
  - Stereoscopic: Active stereo (액티브 셔터 방식), Passive stereo (편광방식), Autostereoscopic (무안경식)

Hologram

- MARK-II @ MIT Media Lab

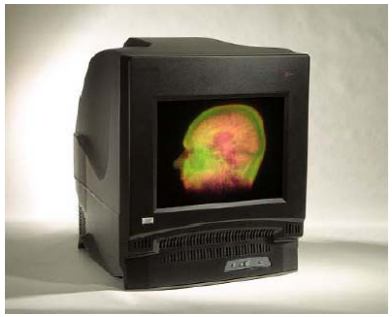


Volumetric Display

- Spinning Screen Display

Actuality Systems

- Slice-Stacking Display



LightSpace Tech

Autostereo 3D Display

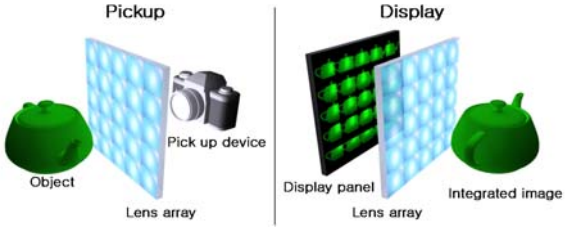
Pavonine, 17”/19” Dimen
-Backlight switchable barrier

Philips, 42” WOWvx 42-3D6C01
-Lenticular, support for multiusers

Sharp, Actius RD3D Notebook
-Backlight switchable barrier

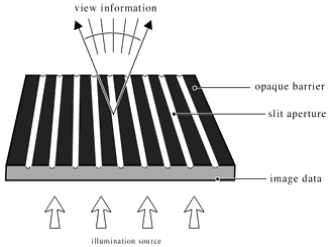
Autostereo 3D Display

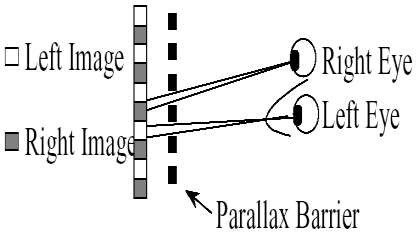
- Integral-Imaging System



Parallax Barrier

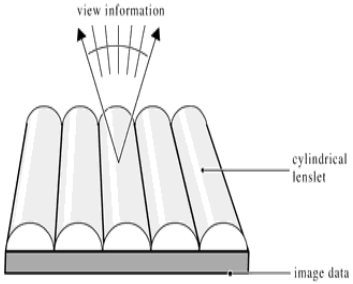
- 왼쪽 이미지 정보를 담은 줄과 오른쪽 이미지 정보를 담은 줄이 교대로 나타나면서 하나의 3차원 이미지를 구성함
- **수직 슬릿 (Vertial slit)**이 있는 (불투명한 소재의) **배리어 스트립 (Barrier Strips)**을 통과하는 빛은 왼쪽 눈으로 가는 이미지와 오른쪽 눈으로 가는 이미지로 분할되어 입체적으로 볼 수 있음

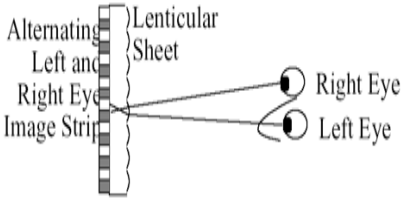




Lenticular

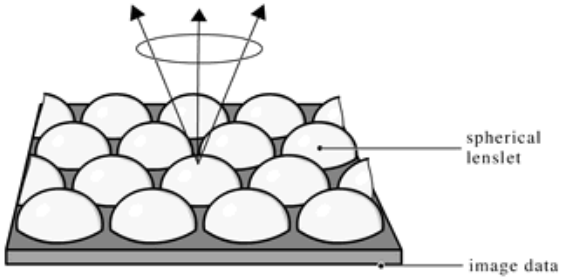
- 몇 개의 이미지를 수직으로 아주 잘게 분할하고 분할된 조각을 하나씩 돌아가면서 배치한 뒤 반 원통형 렌즈 수직선 (Cylindrical lenses strips)를 통해서 3차원 입체적으로 볼 수 있음





Lenslet

- 반 구형 렌즈 (Spherical lenses)를 사용하여 수직과 수평 시차 이미지 (Full parallax image)를 만들어줌



Reference

- http://www.mlab.uiah.fi/nmc/stereo/masters/eng/vocabulary.html
- http://www.3dnshop.com/dic/list.php
- http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/projection/caev/
- http://web.cs.wpi.edu/~matt/courses/cs563/talks/stereohtml/stereo.html
- James Helman SIGGRAPH'93 Applied VR course notes
- Dennis Proffitts SIGGRAPH'94 Developing Advanced VR Applications course notes
- Lou Harrison SIGGRAPH'97 Stereo Computer Graphics for Virtual Reality notes
- http://www.siggraph.org/education/materials/HyperVis/virtual.env/percept.iss/percept.htm
- http://www.wmin.ac.uk/ITRG/IS/DPI/HIW/Human%20Visual%20System.pdf
- http://web.media.mit.edu/~halazar/autostereo/autostereo.html