

Interactive System
インタラクティブシステム特論(3)

Hiroyuki Kajimoto
kajimoto@hc.uec.ac.jp
Twitter ID kajimoto
Hash tag #itsys

Schedule

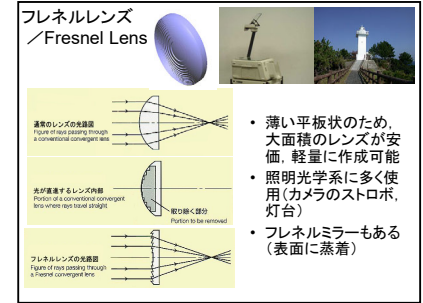
10/5	講義(lecture)
10/12	講義(lecture)
10/19	講義(lecture)
10/26	講義(lecture)
11/2	休講
11/9	休講
11/16	休講
11/23	調布祭期間, 11/25(日)オープンラボ研究室見学(任意)
11/30	講義(lecture)
12/7	講義(lecture)
12/14	休講
12/21	講義(lecture)
1/11	講義(lecture)
1/18	センター試験準備日
1/25	プレゼンテーション(presentation)1
2/1	プレゼンテーション(presentation)2
2/8	プレゼンテーション(presentation)3

レンズ, ミラー以外でインタラクティブシステムでよく用いられる光学素子
Other optical elements for interactive system

- フレネルレンズ/Fresnel Lens
- レンチキュラレンズ/Lenticular Lens
- ハーフミラー/Half Mirror
- 偏光板/Polarization Plate
- プライバシーフィルタ
- 波長フィルタ/Low-pass/High-pass/Band-pass Filter
- 光ファイバ/Optical Fiber
- 再帰性反射材, AIP(後述)

インタラクティブ技術特論


フレネルレンズ
/Fresnel Lens




- 薄い平板状のため, 大面積のレンズが安価, 軽量に作成可能
- 照明光学系に多く使用(カメラのストロボ, 灯台)
- フレネルミラーもある(表面に蒸着)

Outline of the lecture

1. 人間計測手法 / Measuring Human
2. 視覚 / Human Vision System
3. 視覚センシング / Visual Sensing
4. 視覚ディスプレイ / Visual Display
5. 聴覚, 聴覚インタフェース / Auditory Interface
6. 触覚, 触覚インタフェース / Tactile Interface
7. 力覚, 力覚インタフェース / Haptic Interface
8. 移動感覚インタフェース / Locomotion Interface




TODAY's TOPIC



- 光学素子 / Optical Elements
- 光学の基礎 / Basics of Optics
- 3次元イメージング / 3D Image Sensing

(参考) オーバーヘッドプロジェクタ



ミラー: 光路屈曲 + 反転
レンズ: 実像の生成 (反転)

OHPシート
フレネルレンズ: 平行光なしし集約光の生成 (コルーメータ)
光源

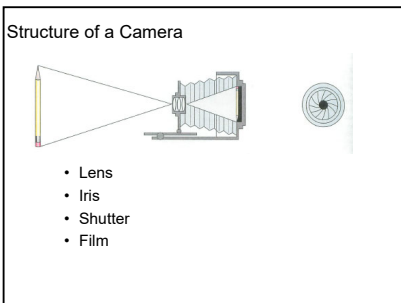
レンチキュラレンズ/Lenticular Lens

- かまぼこ型レンズの群れ
- マイクロレンズアレイの1次元版



<http://www.youtube.com/watch?v=K2G0mJXXc>

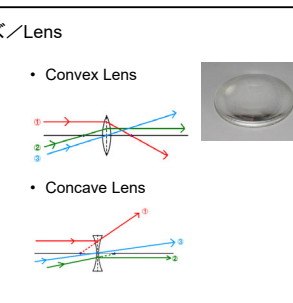
Structure of a Camera



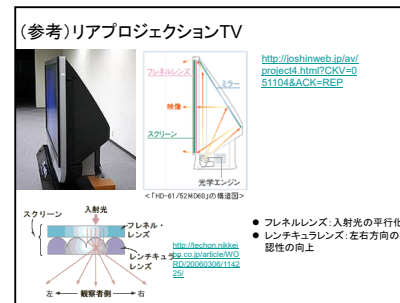
- Lens
- Iris
- Shutter
- Film

レンズ / Lens

- Convex Lens
- Concave Lens



(参考) リアプロジェクションTV



フレネル・レンズ
レンチキュラレンズ

- フレネルレンズ: 入射光の平行化
- レンチキュラレンズ: 左右方向の視認性の向上

(参考) レンチキュラレンズを用いた歩行誘導 / Walk Navigation by Lenticular Lens



SIGGRAPH2011
Emerging Technologies
"Vaction Field"
Our Destination Isn't the Destination

Hiroaki Yoshikawa
Taku Machiue
Shogo Fukushima
Masahiro Furukawa
Hiroyuki Kajimoto

The University of Electro-Communications

http://www.youtube.com/watch?v=VSBRG1_5s2E

ハーフミラー(ビームスプリッター・マジックミラー)
 /Half Mirror, Beam Splitter, Magic Mirror

全反射+透過の両方の性質を持つ

- 平面蒸着タイプ
- プリズムタイプ
- 特殊タイプ

(参考) ハーフミラーを用いたインタラクティブAR

http://web.dent.osaka-u.ac.jp/brandajop/Top_files/GP_3rd_Symposium.pdf
<http://www.youtube.com/watch?v=INv7Ynml1I>

(参考) ダイクロイックミラー: 特定波長のみ反射

3板式CCDカメラ等で色分解に使用

- コールドミラー: 可視光を反射, 赤外を透過
- ホットミラー: コールドミラーの逆

<http://www.youtube.com/watch?v=04u404zGqGk>

偏光板/Polarization Plate

- 直線偏光
- 円偏光

参考: 液晶パネル

<http://www.tdk.co.jp/technical/knowledge/200702/index.htm>
http://www.youtube.com/watch?v=S4vQJ57_U5g

プライバシーフィルタ

- 深さ方向の微小な柵により覗き見防止
- 撮影時の照明光入射防止など

波長フィルタ
 /Low-pass/High-pass/Band-pass Filter

- 照明光による反射光のみ撮影したい
- 太陽光の影響を避けたい
- ハイパスフィルタ(赤外防止フィルタ)
 - カメラレンズに必ず付属
 - 赤外光でホワイトバランスが崩れるのを防ぐ。
- ローパス(ロングパス)フィルタ(赤外透過フィルタ、IRフィルタ)
 - 赤外照明による撮影
 - 水蒸気等による拡散が少なくなり、風景がクリアになる
- バンドパスフィルタ

(参考) IRフィルタの利用

- 水蒸気等による拡散が少なくなり、風景がクリアに
- 血管をクリアに観察

<http://www.youtube.com/watch?v=526xdtHSU>
<http://www.youtube.com/watch?v=176e8XPVO8ANR-1>

(参考) 赤外線を用いた(自作/格安)タッチパネル

<http://lab.projects.zhdk.ch/multitouch/>
http://www.youtube.com/watch?v=XTTe8_HXgl_M

光ファイバ/Optical Fiber

- ファイバースコープ/Fiber Scope
 - 撮像素子が入り込めない微細な場所で使用
- テレビ石/Ulexite
 - 光ファイバの束、自然の鉱石
 - Bundle of Optical Fiber, Natural

TODAY's TOPIC

- 光学素子/Optical Elements
- 光学の基礎/Basics of Optics
- 3次元イメージング/3D Image Sensing

凸レンズの原理/Convex Lens Principles

- Rule1: Ray that runs parallel to the lens axis passes through focal point.
- Lemma: Ray that passes focal point becomes parallel to the lens axis.
- Rule2: Ray that passes lens center does not change its direction.

実像 / Real Image

- The rays **really** come out from the **image**.

$f \sim 2f$: Image > Object
 $2f$: Image = Object
 $2f \sim$: Image < Object

虚像 / Virtual Image

- The ray does **not really** come out from the image, but **virtually** (=has the same effect as if) comes out from the image.

Object distance < f / Virtual Image

虚像と実像

凹レンズの原理 / Concave Lens Principles

- Fixed Rule 1: Ray that runs parallel to the axis refracts, and runs as if it comes from back focal point.
- Only virtual image can be formed.

像とは何か
What is **Image**?

クイズ / Quiz

You are wandering dark space.

Now, One directional, parallel rays fill the whole space.

What do you see?

像とは何か? / What is IMAGE?

Image is a virtual/real light source from which rays come out **omnidirectionally**.

「像」の理解は簡単ではない
Do you really understand refraction **IMAGE**?

Seems shallower!!

Figures in elementary school textbooks: Only one line explains "shallow fish".

- Is one line **enough** to explain the fish position?
- Is **oblique incident angle** necessary?

クイズ / Quiz

What we know: Due to refraction, objects in water seem shallower.

Question: What about **horizontal distance**?

(A) A little far
(B) A little near
(C) Does not change

クイズからわかること / What the quiz shows is

"One line" does not explain everything.

Remember the definition of "IMAGE", and think about omnidirectional rays by using 2 rays.

It gives the position of "IMAGE"

Snell's law:
 $\sin\theta_b / \sin\theta_a = n$ (index of refraction)

「浅く見える」ためには「斜めから見る」必要なし
Oblique incident angle is not necessary for "Shallow" perception.

Looking from overhead, it still looks shallower.

IMAGE redefinition:

- Ideally... **Any rays** from a point can be regarded as rays from different point.
- Practically... Rays from a point to eye's pupil can be regarded as rays from different point.

「屈折像」に関する誤解
Misunderstanding of refraction phenomenon.

Seems shallower!!

"Single line" can explain refraction **phenomenon**, but not **IMAGE**.

IMAGE should emit rays to any directions, like real object.

そもそも「反射像」を理解しているか？
Do you really understand reflection **IMAGE**?

Single ray line can explain reflection **phenomenon**, but can not explain reflection **IMAGE**.

Which one is correct? →can not be judged by single line.

ミラーはミラクル/Mirror is Miracle

By flat mirror, (almost) ANY rays from a point can be regarded as rays from a different point, which obeys the pure definition of IMAGE. In this case, the image is "**Virtual Image**".

AIP (Aerial Imaging Plate) <http://aerialimaging.tv/>

微小ミラー
AI Plate
結像
実像

- 直交する短冊状ミラーの集合体を貼り合わせたもの。
- 歪みのない空中像(この場合は実像)を簡便なセットアップで実現可能

平面ミラーの奇跡: 他の可能性は？
Is Flat Mirror Really Miracle?

Is there any other surface shape, that can convert "any rays from a point" into the "rays from a different point".

楕円鏡/Elliptic Mirror

- Generates Real Image
- Used in oven at space, to melt metals and make alloys

双曲面鏡/Hyperbolic Mirror

- Generates Virtual Image.
- Flat mirror is the special case of Hyperbolic Mirror.
- Used for surveillance camera.

放物面鏡/Parabolic Mirror

- Converge parallel rays to a focus.
- Change rays from focus to parallel beam
- Works like lens.

レンズの「像」に戻って/Go back to the lens image

We draw **two representative rays**, But actually, there are **infinite** number of rays, and seems as if the rays come out from the image.

Real Image

Virtual Image

HMDは虫眼鏡/HMD and Magnifying glass

- Head Mounted Display

Purpose: change the distance from eye to the image

(復習/review)輻輳・調節矛盾
Vergence-accommodation conflicts

- Accommodation & vergence are slightly coupled.
- Stereo display problem:
 - Accommodation=constant
 - Vergence = variable
 - ⇒ **Severe Fatigue**

望遠鏡/telescope

- Object is far away
- Real-image by objective lens (対物レンズ)
- Converted to Virtual-image by ocular lens (接眼レンズ)
- 双眼鏡/binocular glasses

測距儀

- 片側のミラーを回転させ、右目映像と左目映像を重ねる
- ミラー回転角度から、tan⁻¹で距離を逆算
- 当然遠い距離だと誤差が大きい(回転角度が非常に小さい)
- レンズ(望遠鏡光学系)によって距離を等比例的に近づける

顕微鏡/Microscope

- Object is close to focus of objective lens.

被写界深度/Depth of Field

- 左: 被写界深度が浅い/Left: Shallow
- 右: 被写界深度が深い/Right: Deep

(参考)被写界深度・焦点の「後処理」: 考え方

無数のピンホール(個数=カメラの画素数) + より高密度な画素で「方向も含めた」光線群を記録。

実際には多数のレンズを用いる。レンズが疎な場合(複数のカメラで代用)等、多くのバリエーション

製品: Lytro(2012)

<https://www.lytro.com/research-thesis.pdf>

被写界深度/Depth of Field

- 焦点の合う距離は一つだけ。他の距離ではすべてボケる。
When distance between lens and film is fixed, object distance is fixed. Other objects always blur.
- しかし、ボケが人間に判別できないレベルの範囲であれば許容できる⇒この許容範囲のことを被写界深度と呼ぶ。
Depth of Field=Acceptable distance

被写界深度/Depth of Field

- 被写界深度は、絞りと焦点距離に依存
 - Depth of field is related to aperture & focal length
- 絞り/Aperature (=レンズの実質的な大きさ/lens size)
 - Large aperture = Shallower Depth of Field
 - Minimum Aperature = Pinhole Camera
 - 応用: 視力の良くなるアイマスク

- 焦点距離/Focal Length
 - 短い(=広角)ほど深い(極端な例: 魚眼レンズ)

製品: Lytro(2012)

<http://www.youtube.com/watch?v=7abacK2GH3I>

屈折率、曲率と焦点距離/ Refraction factor, curvature and focal length

球面レンズの場合の近似式/For spherical lens

$$\frac{1}{f} = (N-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) - \frac{(N-1)^2 d}{NR_1 R_2}$$

- f: 焦点距離, N: ガラスの屈折率, R1, R2: レンズの曲率半径, d: レンズの厚み
- 薄いレンズでは第二項は無視することが多い。

被写界深度: コンパクトカメラの大問題

- レンズが小さい=ピンホールに近い。
- 被写界深度を浅く出来ない。

- こういう写真が取れない

(参考)被写界深度・焦点の「後処理」

- Synthetic Refocusing
- 距離によって焦点を結ぶ位置が異なる
- もしやってくる光線を「方向も含めて」記録できれば後処理可能。

<https://www.lytro.com/research-thesis.pdf>

What happens if N=2?

- N=2, R1=R2=R, d=2Rを代入

$$\frac{1}{f} = (N-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) - \frac{(N-1)^2 d}{NR_1 R_2} = (2-1) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R} \right) - \frac{(2-1)^2 2R}{2R^2} = \frac{1}{R}$$

$$\therefore f = R$$

- 球面の反対側表面に焦点を結ぶことを意味する
- Meaning focal point is just at the back side of the lens

再帰性反射材/Retro-reflector

- 屈折率2のガラスビーズは、光が来た方向に帰る
- 球面内側表面での「鏡面」反射は本質ではない。拡散反射しても再帰性反射は生じる(赤目現象と同じ。当然鏡面反射の方が強い反射光を得られるが)



TODAY's TOPIC

- 光学素子／Optical Elements
- 光学の基礎／Basics of Optics
- 3次元イメージング／3D Image Sensing

3次元イメージング／3D Image Sensing

- 3D Display requires 3D data acquisition
 - 光レーダー法／Optical Radar
 - タイムオブフライト／Time of Flight
 - モアレ法／Moire Fringe Analysis
 - 照度差ステレオ法／Photometric Stereo
 - 光切断法／Light Section
 - レンズ焦点法／Shape from Focus
 - パッシブステレオ法／Passive Stereo
 - 視体積交差法／Visual Cone Intersection

光レーダー法／Optical Radar

- Put laser beam to target.
- Use reflection time and phase-lag
- Use rotating mirror for scanning
- (good) Most accurate
- (bad) Most expensive, requires time for scan

<http://www.youtube.com/watch?v=1K50pL4L4>

タイムオブフライト／Time of Flight (TOF)

- Similar to optical radar.
- Each CMOS image sensing element has timer

<http://www.youtube.com/watch?v=1K50pL4L4>

モアレ法／Moire Fringe Analysis

- Project stripes
- See the projected image through the other stripes (do the same in PC)
- Depth is converted to density.

照度差ステレオ法／Photometric Stereo

- Prepare 3 or more light sources.
- Object's gradient is calculated by Luminance change
- Shape is calculated by integrating gradient.
- Quite simple.
- Object surface's characteristics (reflectance) are necessary.

光切断法／Light-section method

- So called "triangular survey"
- Project line image
- Capture from different position.
- Disparity = distance
- (good) Accurate and simple,
- (bad) requires time.
- Not line, but **coded-pattern** is projected for fast acquisition.

Light Section Method

計算機制御により投影像を動的に変更するために

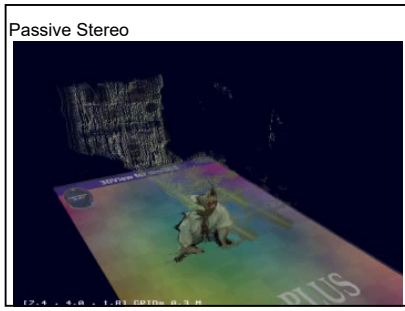
Real-time Projection & 3D retrieval
(Song Zhang et al., Harvard, 2006)

レンズ焦点法／Shape from Focus

- Shift the lens and move focus distance
- Use different focus levels to obtain a sequence of object images.
- Quite rough, when used for scenery. (focal depth is large)
- Quite accurate, when used in microscopy. (focus is severe)

パッシブステレオ法／Passive Stereo

- Two or more cameras
 - Just like Human do
 - Use disparity. Triangular Method.
 - (bad) Disparity measurement requires huge calculus.
 - (bad) Mis-calculation of the disparity occasionally.
 - (good) **Can be used outdoors.**



視体積交差法 / Visual Cone Intersection

- Simple method when image can be captured from all-round.
- "trim" the box by using silhouettes.
- (bad) Concave part cannot be reconstructed.

身体計測と奥行きカメラ(1) Xbox Kinect

- イスラエルの会社3DVとPrime Senseを買収
 - 3DV: Time of Flight ⇒ 2代目で採用
 - Prime Sense: 模様投影 ⇒ 初代で採用

Xbox Kinect (ver.1) の照射パターン

<http://www.youtube.com/watch?v=nvwQJxjykcU>

身体計測と奥行きカメラ(2) LeapMotion, RealSense

- Leapmotion: ステレオビジョン方式
2基の赤外線カメラと赤外線照射LEDから構成。赤外線LEDに照らされた手や指を2基の赤外線カメラで撮影し、画像解析によって3D空間での手や指の位置を割り出す。
- RealSense: パターン投影方式

モバイル機器に搭載される奥行きカメラ

- Google Project Tango: Time of Flight
- HTC One M8: Stereo Camera
- 9軸センサとの連携可能

TODAY's SUMMARY

- Basics of Optics
 - Lens
 - Real Image, Virtual Image
 - Refraction Image, Reflection Image
 - Mirror (flat, elliptic, hyperbolic, parabolic)
- 3D Image Sensing
 - True 3D reconstruction
 - Optical Radar, Time of Flight, Moire Fringe Analysis, Photometric Stereo, Light Section, Shape from Focus, Passive Stereo, Visual Cone Intersection
 - Practical Approach for interactive system

小テスト / Mini Test 次回開始までに提出

<https://goo.gl/forms/85xFE×X2mLheNncR2>

以下の全てに100字以内程度で解答せよ / Answer all questions within 50 words

- フレネルレンズについて説明せよ Explain fresnel lens.
- ハーフミラーについて説明せよ Explain half mirror
- 偏光板について説明せよ Explain polarization plate
- 実像について説明せよ Explain real image.
- 虚像について説明せよ Explain virtual image
- 再帰性反射材について説明せよ Explain retroreflector.
- 光レーダー法について説明せよ Explain optical radar method
- タイムオブフライトについて説明せよ Explain time of flight method
- モアレ法について説明せよ Explain moire fringe analysis
- 照度差ステレオ法について説明せよ Explain photometric stereo method
- 光切法について説明せよ Explain light section method.
- レンズ焦点法について説明せよ Explain shape from focus
- パッシブステレオ法について説明せよ Explain passive stereo method
- 視体積交差法について説明せよ Explain visual cone intersection method.