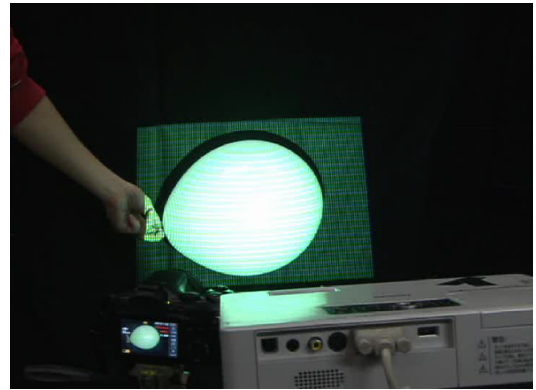


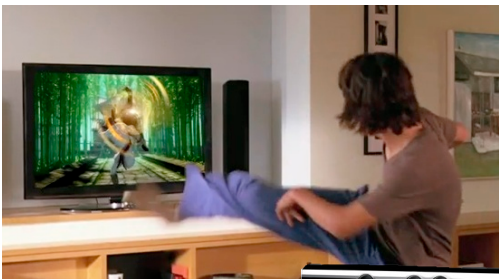
画像情報処理

3次元計測（奥行き計測）とカメラの幾何学

動く物の形を測る



3次元計測



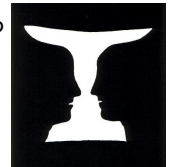
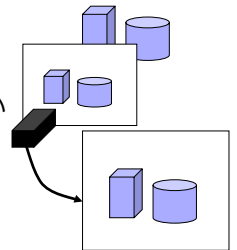
体の動きやジェスチャでゲームが出来る

Kinect (XBOX360用、マイクロソフト) 11/20 発売

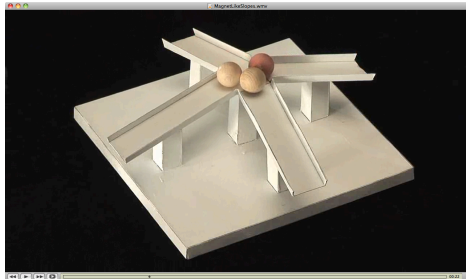


3次元計測は難しい

- 画像は奥行き情報を（はっきりとは）含まない
 - 実物を撮影しているのか？
 - 「実物の写真」を撮影しているのか？
区別できない
- 知識によって見え方が変わる
 - 「思い込み」によって
見まちがえることも。



最近話題になった錯視

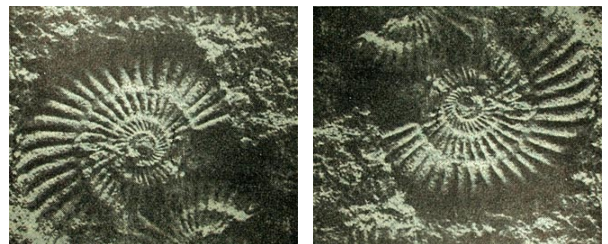


- 人間はどうやって奥行きを知覚するのか？

明治大学 杉原 厚吉 特任教授

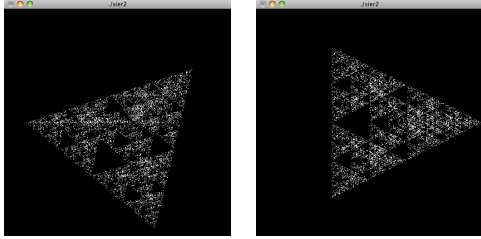
<http://home.mims.meiji.ac.jp/~sugihara/Welcomelj.html>

陰影と奥行き感



- 同一の写真を180度回転したもの

動きによる形の知覚



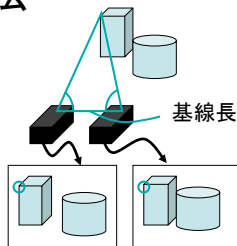
- 動きがあると、形がよくわかる

今回の内容

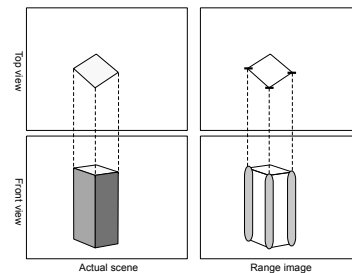
- 奥行きを推定する原理
 - 三角測量に基づく方法
 - 光の飛行時間を利用する方法
- 様々な三次元計測法
 - 各種ステレオ法
 - レンジファインダ
 - その他の方法
- カメラの幾何学（次回かな？）
 - 3次元空間と2次元画像の関係
 - カメラの数式表現
 - カメラの各パラメータの推定（キャリブレーション）

ステレオ法

- ステレオ計測
 - 二つ以上の視点を使用（人間の両目に相当）
 - 左右の画像の「ずれ」を利用（三角測量法）
 - 太陽光・室内照明などが必要
 - テクスチャのない平坦な部分の距離計測が困難
例：真っ白な壁や滑らかで曲面的な物体
 - 実質的な空間分解能が低い
 - 対応点探索の計算量が大きい・安定度が低い
- ハードウェアによる高速化・多眼による安定化

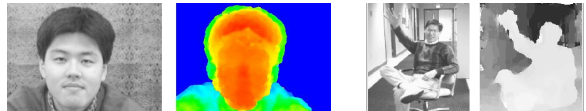


受動型ステレオ法の問題点



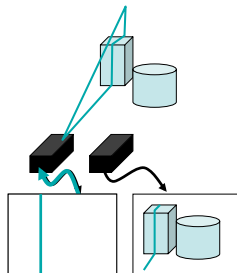
対応付け問題

- 右画像と左画像の対応する点を見つけるのが難しい、不安定
- 解像度が下がる



能動型ステレオ法

- 一方のカメラをプロジェクタに置き換える（光を投影）
- もう一方のカメラでその光パターンの像を計測
- 対応付け問題が簡単に
- 模様のない物体でも計測可能
- パターン光を投影しながら画像を取り込む
- 画像の取り込み回数が多く、時間がかかる



レンジファインダの高速化

- スリット光投影法：フレームレートの限界
 - 計測時間 = 奥行き分解能(スリット数) × 1コマの撮影時間 (通常のカメラで 30slit/sec)
- 高速化法
 - フレームレートの向上
 - スリット位置を明度変化に置き換えるための光学的な工夫
 - 空間コード化法

専用LSIによる 光切断法的高速化(3)

シリコンレンジファインダ
(1994, 阪大ノービー)

- 特徴:
 - 24x24画素
 - デジタル的
 - スリットのピーク通過を検出可能

A. Yokoyama, K. Sato, T. Yoshigahara and S. Inokuchi, "Realtime range imaging using adjustment-free photo-VLSI," Proc. of Intelligent Robotics and Systems, pp.1751-1758, 1994.

横山敦, 佐藤宏介, 戸川原隆之, 井口征士, "無調整型フォトVLSIセンサを用いた実時間距離画像計測-シリコンレンジファインダ-", 信学論D-II, No.9, pp.1942-1500, 1996.

距離画像の計測と生成による自由曲面物体の実時間追跡

追跡とモデル拡張の様子

構築された全周形状モデル

日浦慎作, 山口証, 佐藤宏介, 井口征士, "動距離画像の計測と生成による任意形状物体の実時間追跡," 電子情報通信学会論文誌, Vol. J80-D-II, No.6, pp.1539-1546 (Jun. 1997)

空間コード化法(1985)

プロジェクト

空間をスリットの間隔で分割し符号化

ストライプパターン光を順次照射することで計測時間を $\log_2(n)$ のオーダーに圧縮

グレイコード				
0	0	0	0	000
1	0	0	1	001
2	0	1	1	011
3	0	1	0	010
4	1	1	0	110
5	1	1	1	111
6	1	0	1	101
7	1	0	0	100

二進コード				
0	0	0	0	000
1	0	0	1	001
2	0	1	0	010
3	0	1	1	011
4	1	0	0	100
5	1	0	1	101
6	1	1	0	110
7	1	1	1	111

*佐藤宏介, 井口征士, "空間コード化による距離画像入力", 信学論, Vol. J68-D, No. 3, pp. 369-375, 1985.
*佐藤宏介, 井口征士, "液晶レンジファインダ-液晶シャッタによる高速距離画像計測システム-", 信学論, Vol. J71-D, No. 7, pp. 1249-1257, 1988.

光を用いた3次元形状計測

7th ICPR, 1984 (佐藤)

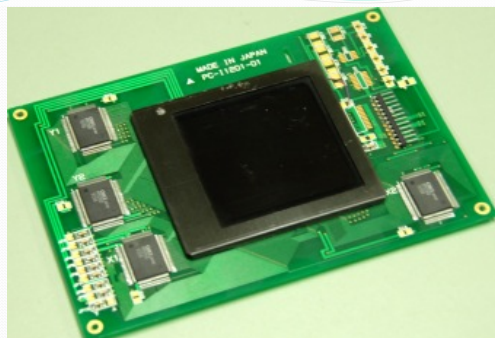
機械式プロジェクタ

• 7パターン+照明用パターン(素通し)の8種類のマスクを回転して切り替え

プロジェクタとカメラの構造

両者の構造は非常に近い

液晶を用いたプロジェクタ



- 初期型：128本のスリット型パターン
- 松下電器産業製

(佐藤)

データプロジェクタの登場

XV-E500
(SHARP, 1995)

入力：VGA
(640x480)

600 [lm]

14.5 [kg]

XV-H1Z
(SHARP, 1991)

入力：NTSC
ビデオ信号

(計測には
使用せず)



- 市販品（プロジェクタとカメラ）を用いた形状計測が可能になった
- プロジェクタとカメラの解像度の向上により高精度計測が可能となった

光を利用した距離計測の原理

• 三角測量に基づく方法

- 受動型 / 能動型 ステレオ法
- Depth from Focusing / Defocus
- モアレトポグラフィ

• 受動的計測が可能
• 遠距離ほど精度が低下

• 光速を利用する方法

- 光飛行時間測定法
- 強度変調光位相差測定法
- 干渉計

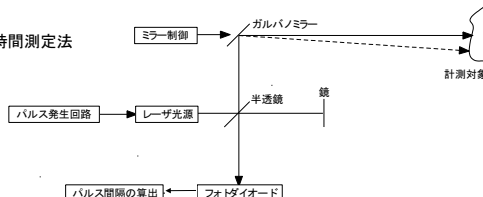
• 距離による精度低下が小さい
• 近距離の測定(高時間分解能が必要)は難しい

• その他

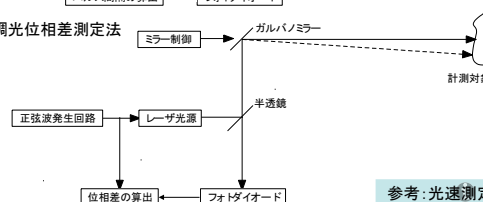
- 距離と照度の関係を利用する方法
- shape from X (shading, texture, motion, etc.)

光速を利用した距離測定法

• 光飛行時間測定法



• 強度変調光位相差測定法



参考：光速測定の歴史

光飛行時間測定法に基づくレンジファインダ

- 遠距離物体の計測に向けた手法（近距離物体の計測は不得意）
- デバイス技術の進展により、非常に高速かつ高精度な機器が出現してきた

- Riegl
- Cyrax
- K2T
- Z+F
- Sick

などが市販されている



■ スキャナ式レンジセンサ（測域センサ）

● データ出力タイプ

URG-04LX-UG01 [レーザ式測域センサ]

【通称：Simple-URG】USBバスパワーによる簡単接続、しかも低価格なので初めてお使いになる学生の実験などに最適です。自律移動型サーボロボットの障害物回避や経路計画に最適です。測距範囲は4m、240°です。



UTM-30LX [レーザ式測域センサ]

【通称：Top-URG】30m、270°の広範囲スキャンを実現。太陽光10万lxで、保護構造もIP64なので、屋外で稼働するサーボロボットに利用できます。スキャン時間25msなので、ロボットの高速度走行に効果的です。DC12V。



URG-04LX-F01 [レーザ式測域センサ]

【通称：Rapid-URG】スキャン時間28msの高速度を実現しました。高速で移動するサーボロボットの障害物回避や経路計画に最適です。測距範囲は4m、240°です。



URG-04LX [レーザ式測域センサ]

【通称：Classic-URG】量産化された世界最小クラスの測域センサです。自律移動型サーボロボットの周辺環境認識と自己位置推定に最適です。小型軽量、低消費電力ながら、測距範囲は4m、240°です。DC5V。



● エリア設定タイプ

UXM-30LN [レーザ式測域センサ]

受光感度をアップさせ、さらに長距離検出が可能になりました。また、苦手な黒色検出性能も大幅に改善しました。



UTM-30LN [二次元反射形侵入検知センサ]

30m、270°の長距離検出を実現。太陽光10万lxで、保護構造もIP64なので、屋外監視にも利用できます。60msの高速度応答で、はみ出し検知などにも最適です。DC12V。

