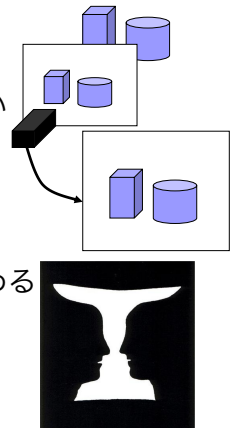


# コンピュータビジョン

3次元計測 (奥行き計測)

## 3次元計測は難しい

- 画像は奥行き情報 (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。



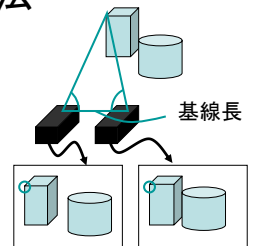
## 今回の内容

- 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3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 (次回から)
  - 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

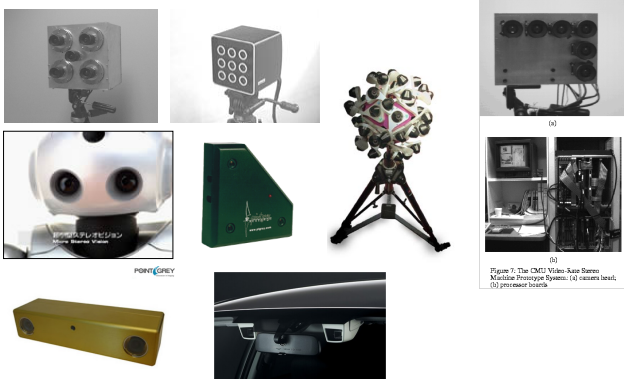
### ステレオ計測

- 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

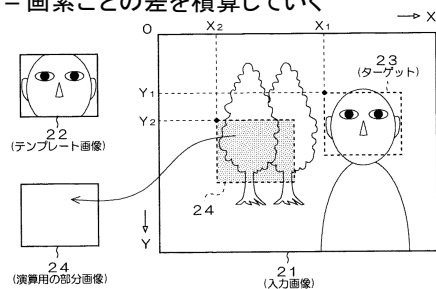
## 様々なステレオカメラ



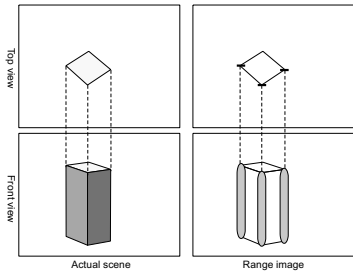
## 探索の手法

### テンプレートマッチング

- 画素ごとの差を積算していく

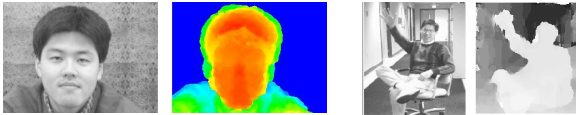


## 受動型ステレオ法の問題点



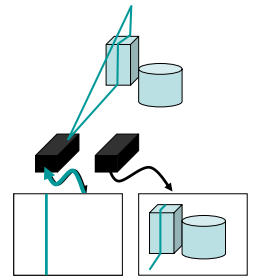
### 対応付け問題

- 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



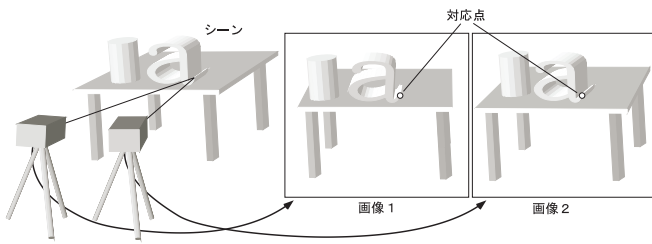
## 能動型ステレオ法

- 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



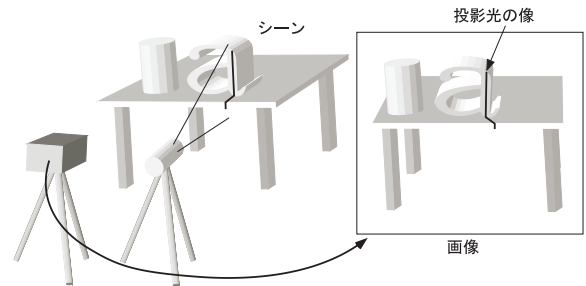
→ 画像の取り込み回数が多く, 時間がかかる

## スポット光投影法



- 1点を2次元的に走査する必要がある, 計測に時間がかかりすぎる

## スリット光投影法



- 走査の必要はあるが, 計測精度が高く, 広く用いられている
- 光切断法とも呼ぶ

## 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

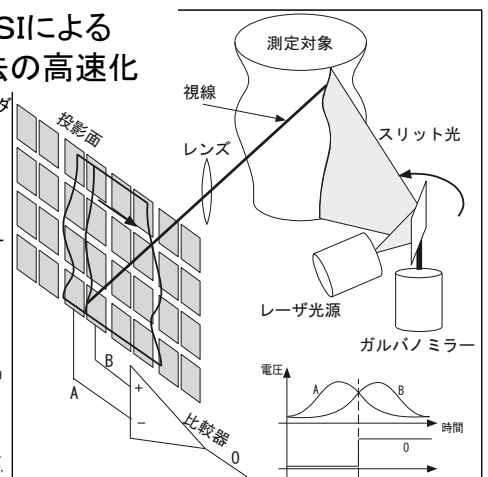
## 専用LSIによる光切断法の高速化

シリコンレンジファインダ (1994, 版大ソニー)

- 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

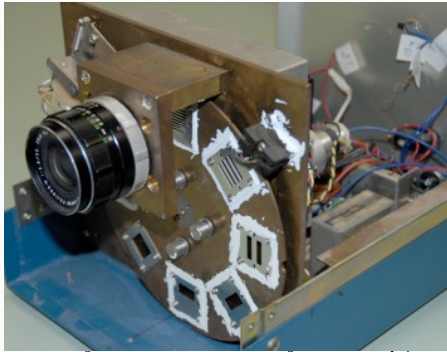
A. Yokoyama, K. Sato, T. Yoshigahara and S. Inokuchi, "Realtime range imaging using adjustment-free photo-VLSI," Proc. of Intelligent Robotics and Systems, pp.1751-1758, 1994.

横山敦, 佐藤宏介, 戸ヶ原隆之, 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.



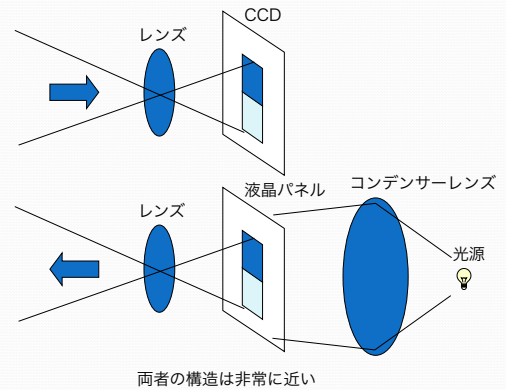


## 機械式プロジェクタ

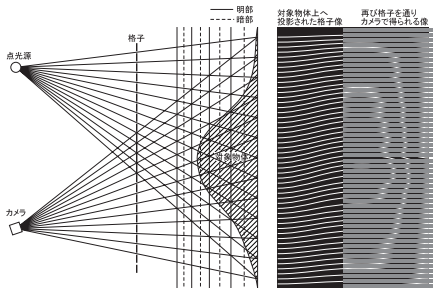


- 7パターン+照明用パターン（素通し）の8種類のマスクを回転して切り替え

## プロジェクタとカメラの構造



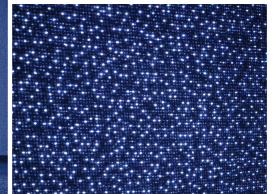
## モアレ法



- 絶対的な高さ(位相)を推定する必要がある

## 固定パターン投影法

- Kinect
  - 回折光学素子(DOE)によりランダムパターンを生成



[http://blog.livedoor.jp/helloworld\\_since2003/archives/65341279.html](http://blog.livedoor.jp/helloworld_since2003/archives/65341279.html)

## 固定パターン投影法の特徴

- 動物体の計測に向く
  - 計測速度は画像入力速度に等しい (計算時間は別途必要. Kinectでは、ハードウェアによりパターン照合処理を実行)
- 空間解像度は高くない
  - 一定の大きさの領域内のパターンを照合するため、空間解像度はパッシブステレオ法に近い
  - 計算の高度化により解像度を上げることは出来る (例: 各ドットごとの対応付けなど)

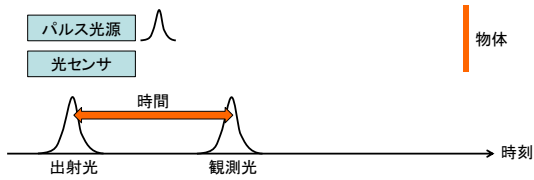
## 光を利用した距離計測の原理

- 三角測量に基づく方法
  - 受動型 / 能動型 ステレオ法
    - 受動的計測が可能
    - 遠距離ほど精度が低下
  - Depth from Focusing / Defocus
  - モアレトポグラフィ
- 光速を利用する方法
  - 光飛行時間測定法(直接法)
    - 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
  - 位相差測定法(間接法)
  - 干渉計
- 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.)



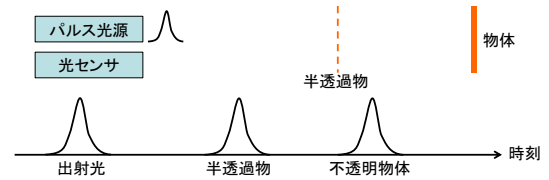
## 光飛行時間測定法 (時間差計測法, 直接法)

- パルス光の利用
  - パルス光を対象物体へ照射し, 戻ってくるまでの**時間**を利用して距離を求める
  - 長距離の計測を対象とした装置に多い

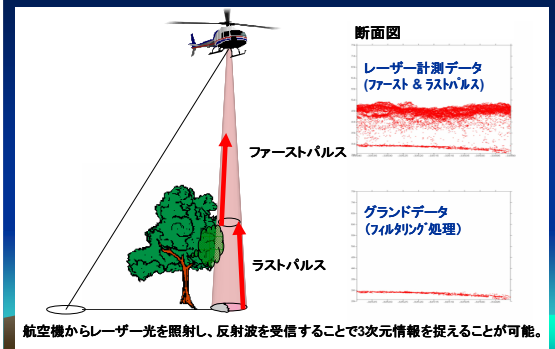


## 時間差計測法のメリット

- 半透過物が途中にある場合
  - 複数のパルス光が観測されたり, 弱い反射光が一定時間観測されることがある
  - 最終パルスを用いることで除去できる



## 航空レーザ測量



[http://www.arida-jp.com/The1stWorkshopDDCH/2007\\_1stDDCH\\_presentation/s3-1.pdf](http://www.arida-jp.com/The1stWorkshopDDCH/2007_1stDDCH_presentation/s3-1.pdf)

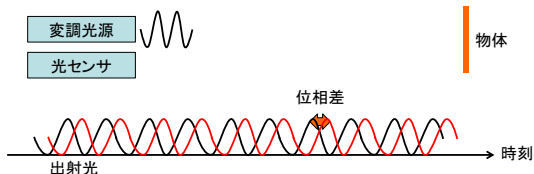
## 光飛行時間測定法に基づく レンジファインダ

- 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



## 位相差測定法(間接法)

- 周期的に強度変調した光の利用
  - 輝度変調した光を対象物体へ照射し, 戻ってきた光の**位相遅れ**を利用して距離を求める
  - 短距離の計測を対象とした装置に多い



## フィゾーの実験

- 光速の計測(1849年)
  - 8633mを光が往復すると 57マイクロ秒遅れる
  - 150個の歯がある歯車を 3600rpmで回転させると暗くなる

