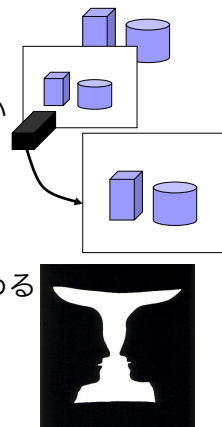


画像情報処理

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.



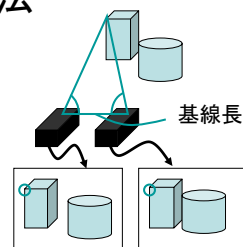
今回の内容

- 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

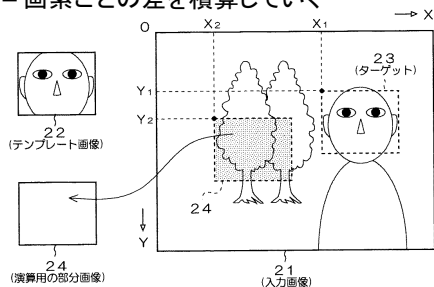


→ハードウェアによる高速化・多眼による安定化

探索の手法

● テンプレートマッチング

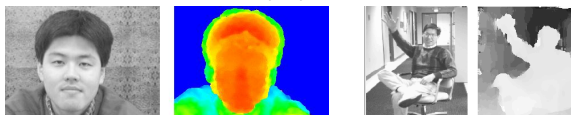
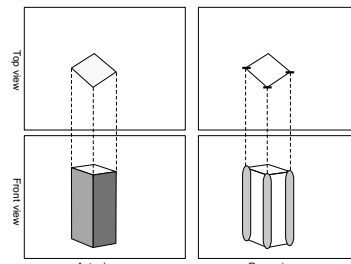
- 画素ごとの差を積算していく



受動型ステレオ法の問題点

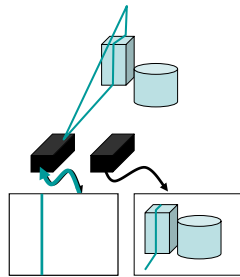
対応付け問題

- 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

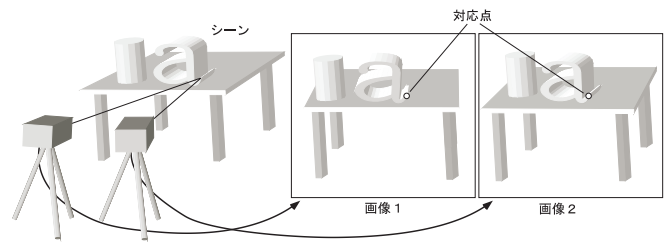


能動型ステレオ法

- 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

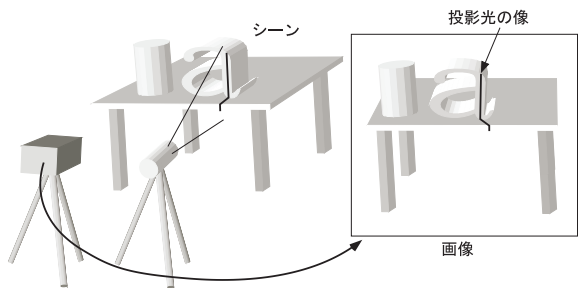


スポット光投影法



- 1点を2次的に走査する必要があり、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

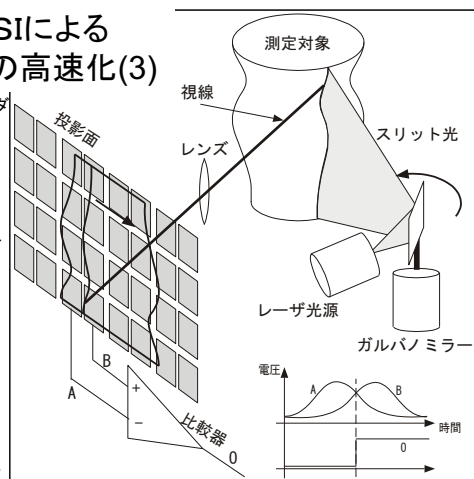
専用LSIによる光切断法の高速化(3)

シリコンレンジファインダ (1994, 阪大/ソニー)

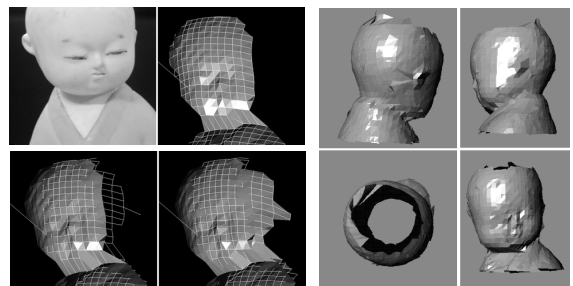
- 特徴:
 - 24x24画素
 - デジタル的
 - スリットのピーク通過を検出可能

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, 戸ヶ原啓之, 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

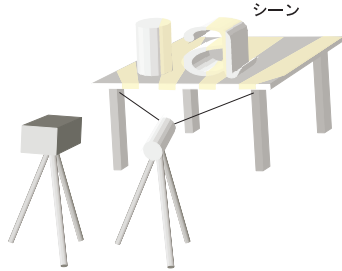


追跡とモデル拡張の様子

構築された全周形状モデル

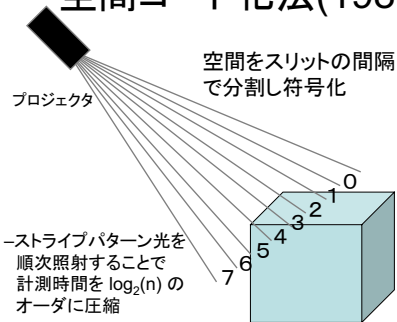
日浦慎作, 山口証, 佐藤宏介, 井口征士, 距離画像の計測と生成による任意形状物体の実時間追跡, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J80-D-II, No.6, pp.1539-1546 (Jun. 1997)

コード化パターン光投影法



- 投光装置が複雑になるが、計測時間がスリット光投影法よりも短い

空間コード化法(1985)

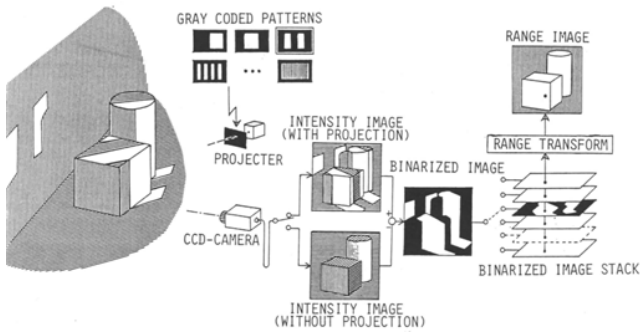


・佐藤宏介, 井口征士 "空間コード化による距離画像入力", 信学論, Vol. J68-D, No. 3, pp. 369-375, 1985.
 ・佐藤宏介, 井口征士 "液晶レンズファインダ - 液晶シャッターによる高速距離画像計測システム -", 信学論, Vol. J71-D, No. 7, pp. 1249-1257, 1988.

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

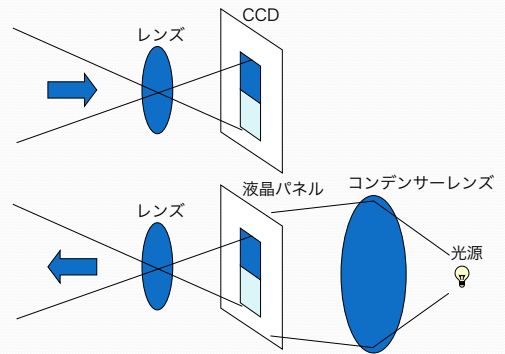
二進コード				
0	0	0	0	000
1	0	0	1	001
2	0	1	0	010
3	0	1	1	011
4	1	0	0	100
5	1	0	1	101
6	1	1	0	110
7	1	1	1	111

光を用いた3次元形状計測



7th ICPR, 1984 (佐藤)

プロジェクタとカメラの構造



両者の構造は非常に近い

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]

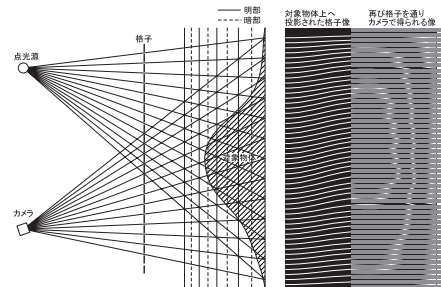


XV-H1Z
(SHARP, 1991)

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

モアレ法

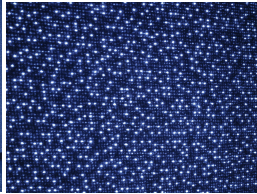


- 絶対的な高さ(位相)を推定する必要がある

固定パターン投影法

- Kinect

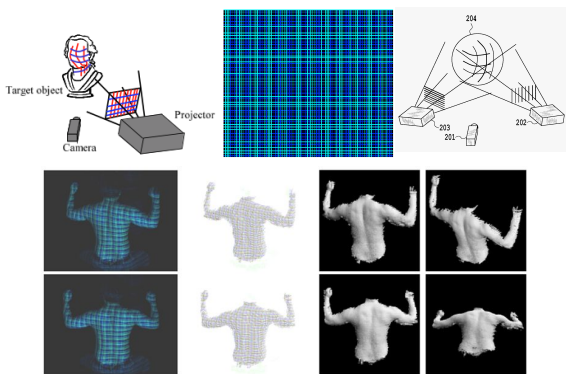
- 回折光学素子(DOE)によりランダムパターンを生成



http://blog.livedoor.jp/helloworld_since2003/archives/65341279.html

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)



- デブルライン系列を利用して色付けしたパターンを使用

“デフ”レーン系列と Belief-Propagation を用いた高密度ラインパターン
抽出による高精度物体の 3D 計測手法 (MPL 2009) ほか多数

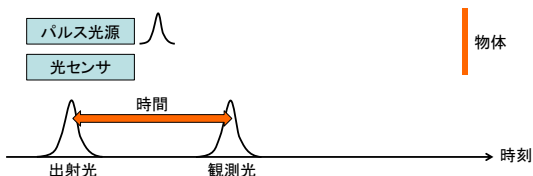
光を利用した距離計測の原理

- 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
 - 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
 - 強度変調光位相差測定法
 - 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)

- パルス光の利用

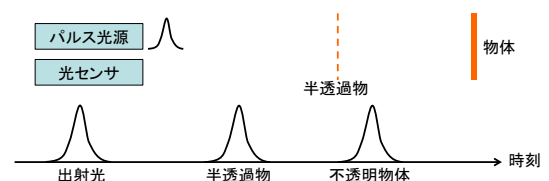
- パルス光を対象物体へ照射し、戻ってくるまでの時間を利用して距離を求める
- 長距離の計測を対象とした装置に多い



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



光飛行時間測定法に基づく レンジファインダ

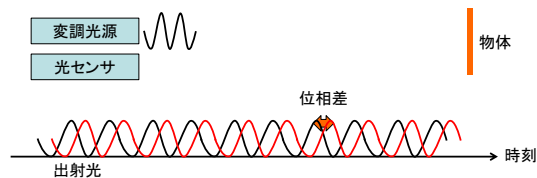
- 遠距離物体の計測に向けた手法
(近距離物体の計測は不得意)
- デバイス技術の進展により、非常に高速かつ高精度な機器が出現してきた

- Riegl
 - Cyrax
 - K2T
 - Z+F
 - Sick
- などが市販されている



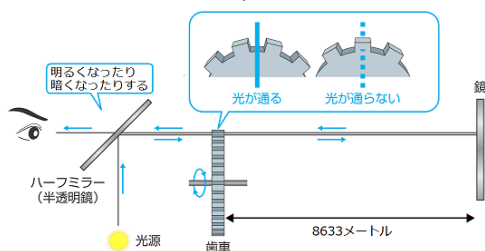
強度変調光位相差測定法 (位相差計測法)

- 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

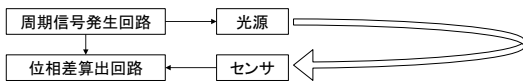


フィゾーの実験のポイント

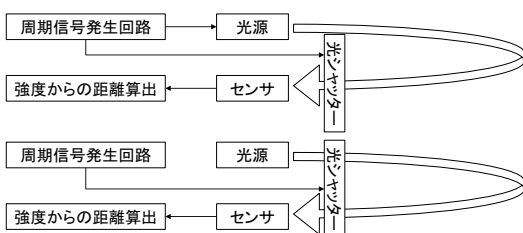
- 光強度の変調のメリット
 - 光デバイスがなくても、**光を高速に遮断・透過出来るシャッター**があれば、光速を計測できる
 - 遮断と透過を繰り返すことで、見かけの光量を大きくすることが出来る
- 光強度変調の特徴
 - 光飛行時間が**輝度**に変換される

位相差の検出方法

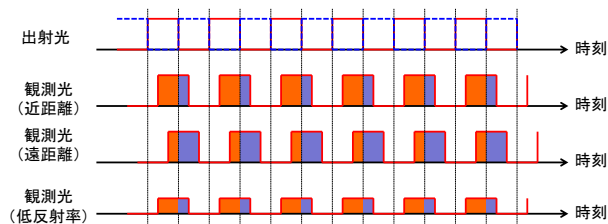
位相差を電氣的に求める方法



位相差検出をシャッターにより実現する方法



位相差検出法の原理



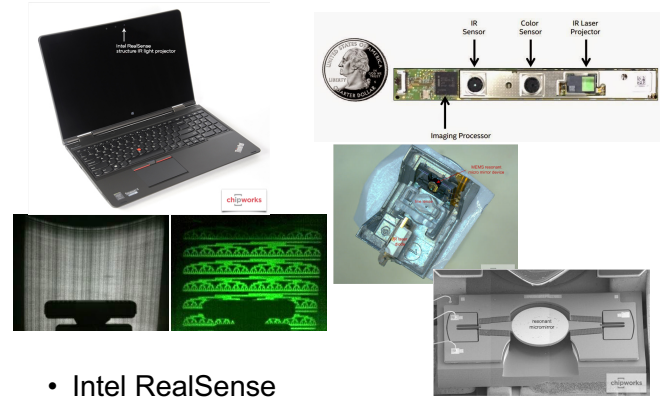
- 観測光の強度は対象物体の反射率によっても変化するので、**逆位相の強度情報が必須**となる

自動走行に向けて



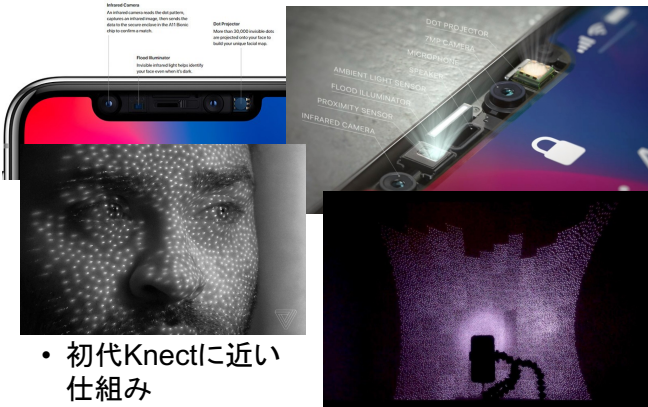
- 小型化・高性能化・低価格化が急速に進展

能動型ステレオも発展



- Intel RealSense

iPhone X



- 初代Knectに近い仕組み

手法の分類

	光の直進性に基づく計測法 (幾何学的構造)	光速に基づく計測法 (時間的構造)
能動的計測	スリット光投影法 コード化パターン光投影法 固定パターン投影法 モアレ法	光飛行時間測定法 強度変調光位相測定法 干渉計
受動的計測	ステレオ法+光パターン照射	なし
	ステレオ法 マルチベースラインステレオ法 Shape from Motion 因子分解法 Depth from Defocus	

様々な三次元計測装置



固定パターン投影法

Microsoft Kinect

PointGrey BumbleBee

スバル EyeSight

受動ステレオ法

光速に基づく計測法

コニカミノルタ
VIVID910

ニコン P3D NC-2323S
(2014/7/1発売予定)

日本信号 ECOSCAN

Mesa SR4000

SICK IVC3D

スリット光投影法