

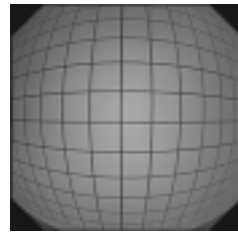
# グレイコードパターンを利用した レンズ歪みの補正手法

高辻誠也, 佐川立昌, 越後富夫, 八木康史

大阪大学 産業科学研究所

## 背景

- 画角の広いカメラ
  - 利点: 簡単に広い視野を実現
  - 欠点: 激しいレンズ歪み
- レンズ歪みの補正が不可欠
  - 幾何学的解析



レンズ歪みの例

## 従来の歪み補正の手法

- パラメータを推定する方法 [Swaminathan'00, Zhang'00]
  - 歪みを数式でモデル化
  - 数式のパラメータを推定して歪みを補正
    - モデルに依存する
- 歪みパラメータを用いない方法 [Goshtasby'89, Ying'04]
  - 歪み補正のための変換マップを直接作成
    - 密な対応関係を求めるのが困難

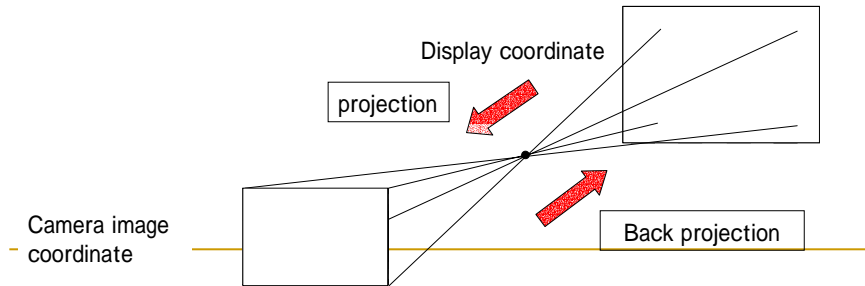
## 本研究で提案する歪み補正

- 液晶ディスプレイとグレイコードパターンを用いた歪み補正
  - 液晶ディスプレイ
    - 非常に細かい縞模様まで表示でき、密な対応関係が得られる
    - 平面ディスプレイ
    - 直線を歪ませることなく表示可能
    - 装置の設置が簡単

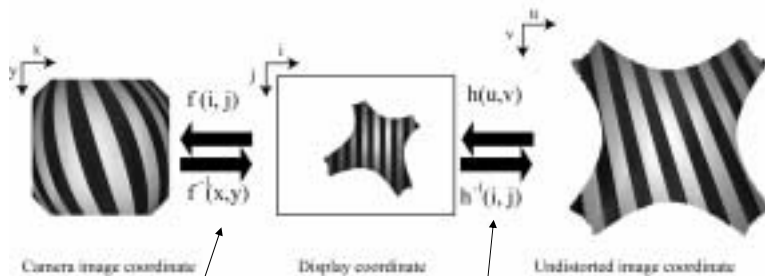


# 歪み補正の原理

- 画像平面からディスプレイ平面へ像を投影することによって歪みを補正
  - カメラに対して液晶ディスプレイを正対させて設置
  - 画像とディスプレイ座標との対応関係を求める



# 処理の概要



## ディスプレイ座標への変換マップの作成

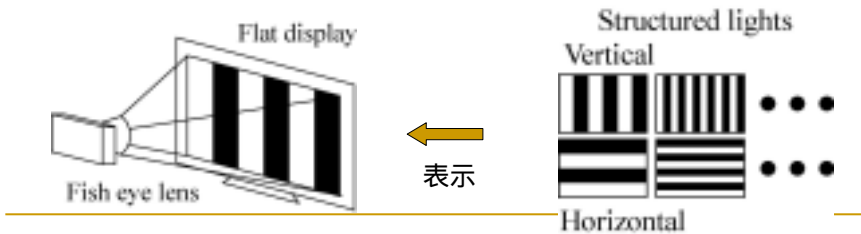
- 画像のコード化による変換マップ  $f(i, j)$  の作成

## マップの正規化

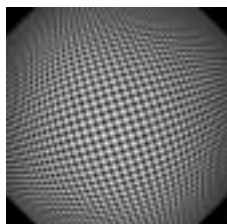
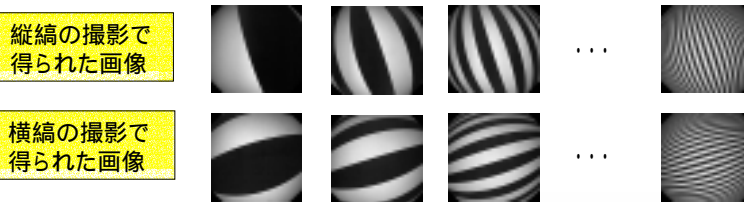
- 仮想的な平面への変換行列の計算 ( $h(u, v)$  が求まる)

## 画像のコード化による対応点の求め方

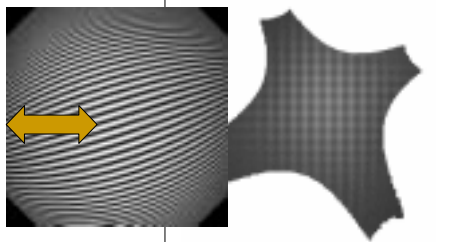
- グレイコードパターンを液晶ディスプレイに表示
  - 撮影した画像を時系列的にコード化
- 互いに垂直な2通りのグレイコードパターンの使用
  - 画像を2次元にコード化
  - ディスプレイから画像への対応を一意に定める



## 実際の画像によるコード化の結果

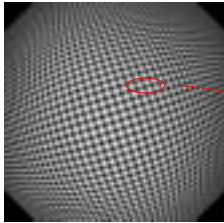


二次元にコード化された画像

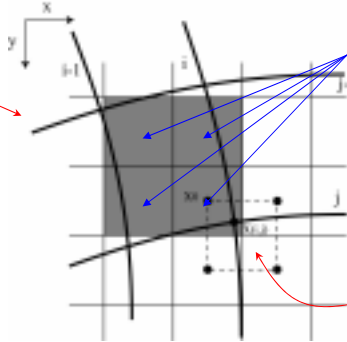


横縞で分割された画像に対応するディスプレイ座標の領域

# 対応点決定の問題



二次元にコード化された  
画像



同じディスプレイ座標  
に対応することになる



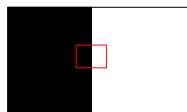
境界線の交点で対  
応すると考える

# 境界線の位置の計算方法

- 相補パターンを利用 [Sato'87]
  - 輝度値が交差する箇所を計算

相補パターン

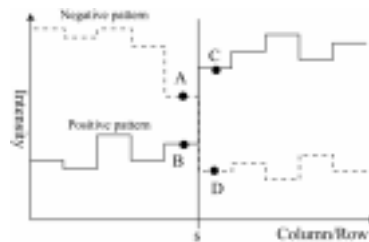
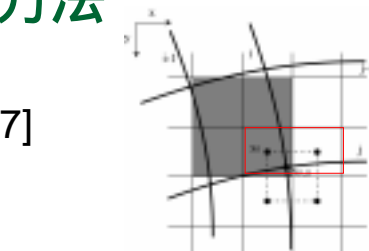
positive  
pattern



negative  
pattern



輝度値を用い  
て境界位置を  
計算



$$s = \frac{A - B}{(A - B) + (C - D)}$$

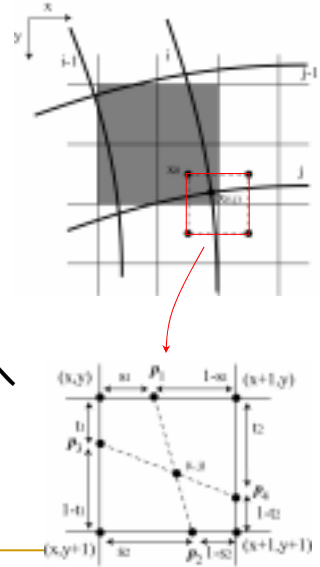
## 境界線の交点の計算

- 境界線の位置計算で  $p_1 \sim p_4$  の座標が得られている

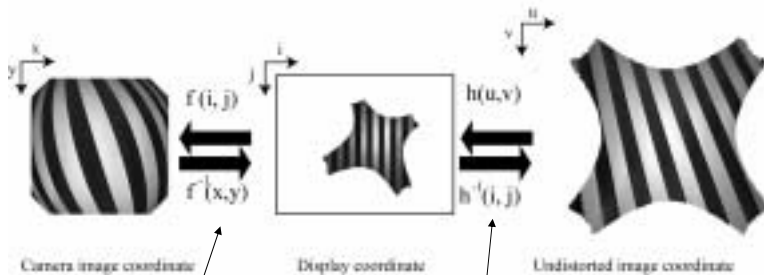
- 交点を4点,  $p_1 \sim p_4$  を用いて計算

$$p_1 + a(p_2 - p_1) = p_3 + b(p_4 - p_3)$$

- ディスプレイ座標から画像座標へ一意に対応関係が決定される



## 処理の概要



ディスプレイ座標への変換  
マップの作成

- 画像のコード化による変換マップ  $f(i, j)$  の作成

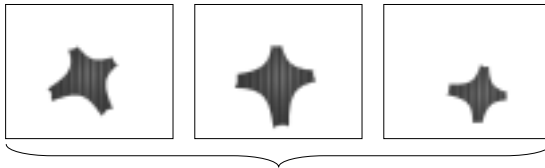
マップの正規化

- 仮想的な平面への変換行列の計算 ( $h(u, v)$  が求まる)

# 変換マップの正規化

- 撮影時の環境による影響

- カメラ-ディスプレイ間の距離
- 光軸に対するディスプレイのずれ
- カメラの回転



変換マップ  $f(i, j)$  は撮影する環境に依存する

**変換マップの正規化が必要**

正規化



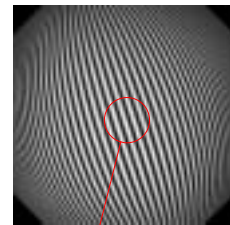
撮影環境に依存しない  
変換マップの作成

# 変換行列の計算方法

- ホモグラフィック行列を用いて正規化

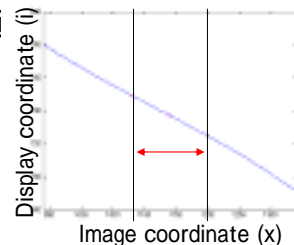
- 変換行列の関係式

$$\begin{matrix} \text{元画像} \\ \text{の座標} \end{matrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = H \begin{pmatrix} f_i^{-1}(x, y) \\ f_j^{-1}(x, y) \\ 1 \end{pmatrix} \leftarrow \begin{matrix} \text{対応する} \\ \text{ディスプレイ} \\ \text{座標} \end{matrix}$$

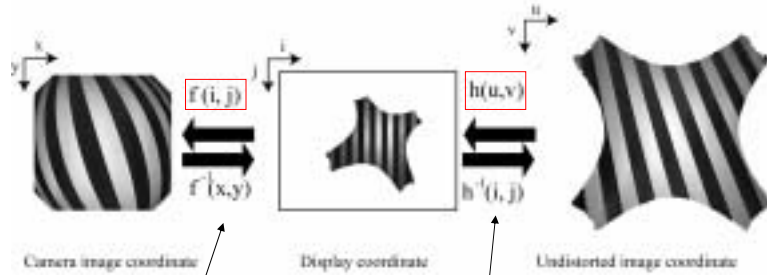


- 画像中央付近の点を用いて計算

- 画像中央付近では歪みがほぼ0と仮定
  - 中央付近の解像度がほぼ同じ
  - 光軸からの傾きがない
  - 変換後の画像の縦軸と横軸が変換前と等しい



## 処理の概要



ディスプレイ座標への変換  
マップの作成

- 画像のコード化による変換マップ  $f(i, j)$  の作成

マップの正規化

- 仮想的な平面への変換行列の計算 ( $h(u, v)$  が求まる)

## 実験

- カメラ
  - 内視鏡カメラ
  - 画角: 対角  $140^\circ$
- ディスプレイのほぼ正面にカメラを設置
  - 厳密に正対させる必要はない

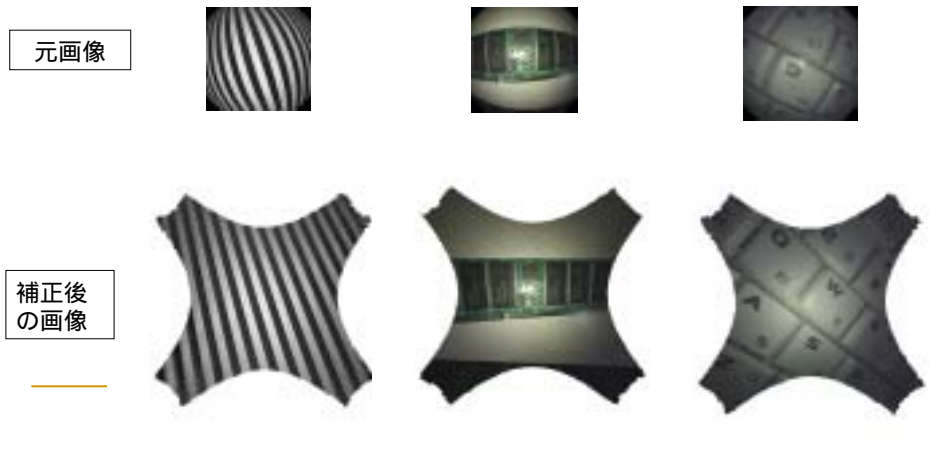
実験風景



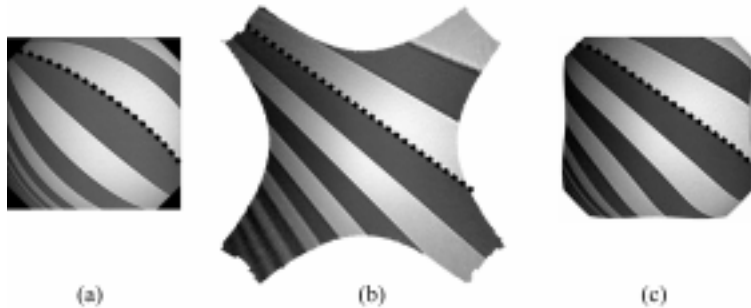
Camera of endoscope



## 補正結果の画像



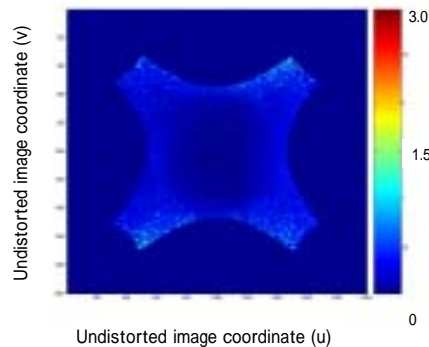
## 直線フィッティングによる精度評価



	(a)	(b)	(c)
画像の種類	元画像	歪み補正後の画像	パラメータ推定による歪み補正
直線とのRMS (pixel)	16.6	0.83	1.18

## 歪み補正の安定性

- 作成される変換マップの分散を各ピクセル毎に算出
  - 9通りの設置環境による変換マップの分散



## まとめ

- 液晶ディスプレイとグレイコードを使った歪み補正手法の提案
  - 激しい歪みにも適用可能な歪み補正方法
  - 簡単な装置を用いて補正を行う
  - グレイコードの縞模様を歪ませることなく表示可能
  - 対応関係を密に求めることができる
  
- 激しいひずみも効果的に補正できていることを確認
- 正規化によって安定して変換マップを作成できることを確認