テクスチャの変化する自転球体の単一カメラによるステレオ立体視化に関する研究

北岡 良之　　剣持 雪子　　SURYONO　　小谷 一孔

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

1998 年 11 月 20 日

「ようこう」による X 線太陽画像

天文学の分野では、太陽の活動を知るための手がかりとして太陽観測衛星 「ようこう」が撮影した 2 次元の画像データから、太陽コロナなどの 3 次元的な情報を再現して観測することが望まれている。

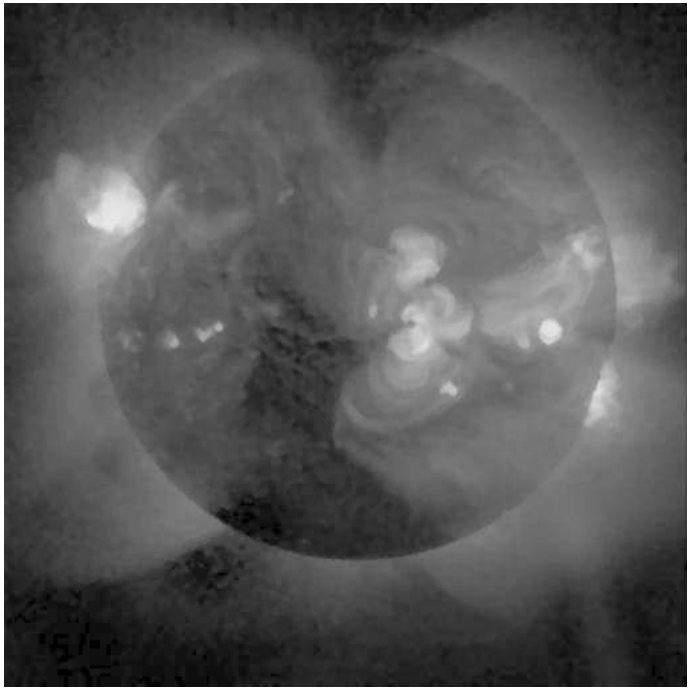


Figure 1: 「ようこう」による X 線太陽画像

2 次元の画像から立体画像を得る代表的な手法としてステレオ立体視法がある。

背景

ステレオ立体視法 :異なる視角からの複数の画像が必要

- 複数の固定カメラを用いる方法
- 単一のカメラを移動させる方法
- 単一のカメラを固定して物体を移動あるいは回転させる方法
  - 人工衛星による天体観測のように複数カメラの設置が困難な場合に必要。
  - 複数のカメラによる場合と比べてキャリブレーションの必要がない。

問題点 :

太陽が自転している間に表面のテクスチャが変化

↓

ステレオ画像ペア間に誤差が生じて立体感を損ねてしまう。

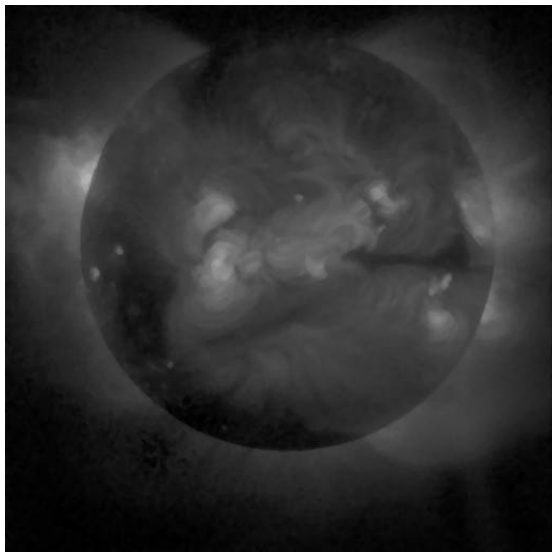
目的

「ようこう」が撮影した X 線太陽画像から立体画像を構成する。

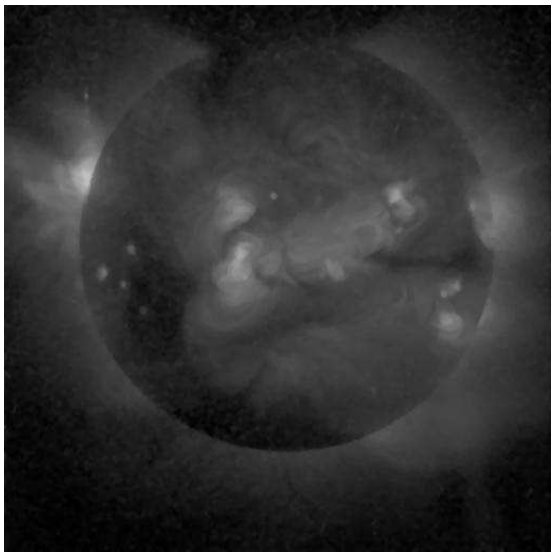
↓

テクスチャの変化を補正する。

※ 自転による見かけの変化は残して、テクスチャ自身の変形だけを補正したい。



(1) 1993 年 5 月 16 日 04:52:39
の画像データ



(2) 1993 年 5 月 16 日 10:50:09
の画像データ

Figure 2: 「ようこう」による X 線太陽画像

太陽表面のテクスチャ変形のモデル化

テクスチャの変形 ：

1. 平行移動
2. 拡大 ・縮小

} ... モルフォロジー

3. 回転 ... アフィン変換

※ テクスチャの発生、消滅はステレオ画像ペアを作れないので範囲に含めない。

Table 1: モルフォロジーとアフィン変換の利点と欠点

	モルフォロジー	アフィン変換
利点	・変換前後で画素の対応が多対一 ・非等方的な変形の記述が容易	・3 種の変形の全てを記述できる
欠点	・回転の記述が不可	・変換前後で画素の対応が一対一

本研究で用いるモルフォロジー演算

$$
\begin{aligned}
dilation : [f \oplus g^s](i,j) &= (f \oplus G^s)(i,j) \\
&= \max_{\substack{i+u,j+v \in F \\ u,v \in G}} \{f(i+u, j+v)\} \qquad (1)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
erosion : [f \ominus g^s](i,j) &= (f \ominus G^s)(i,j) \\
&= \min_{\substack{i+u,j+v \in F \\ u,v \in G}} \{f(i+u, j+v)\} \qquad (2)
\end{aligned}
$$

$f(i,j)$:対象画像、$g(u,v) = g^s(-u,-v)$:構造要素、F, G :f, gの定義域

※ ただし $g(u,v) = 0,\ (u,v) \in G$

基本変形操作

- 平行移動
  - 移動用の構造要素 (4 種類) による dilation もしくは erosion。
- 拡大・縮小
  - 拡大 :拡大・縮小用の構造要素 (8 種類) による dilation。
  - 縮小 :拡大・縮小用の構造要素 (8 種類) による erosion。

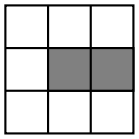
※ shift-U は定義域が $G^s = \{(0,1)\}$ の構造要素

(1)

Figure 3: 本研究で使用した構造要素の定義域

変形例 (拡大)

例) 右方向への非等方的拡大

構造要素 elastic-R  による dilation。

$$[f \oplus G^s](i,j) = \max_{\substack{i+u,j+v \in F \\ u,v \in G}} \{f(i+u, j+v)\} = \max\{f(i,j), f(i+1,j)\} \qquad (3)$$

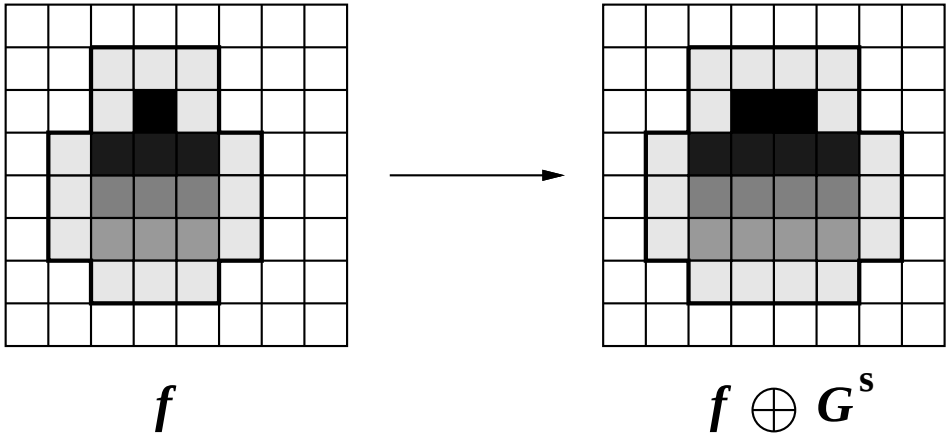


Figure 4: 構造要素 elastic-R による dilation

アフィン変換による回転のモデル化

点 (C_x, C_y) を中心とする反時計回りに θ の回転を次式で示す。

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - C_x \\ y - C_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} C_x \\ C_y \end{pmatrix} \tag{4}$$

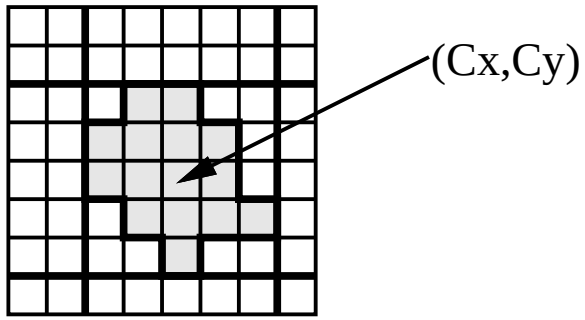


Figure 5: 回転の中心

- 基本変形操作　(回転　:10 種類)
  - 時計回り、反時計回り方向それぞれに 1° ~5°

変形の補正とステレオ画像ペアの推定方法

Figure 6: 補正手順

(1) テクスチャの抽出

ようこうの画像データペアから閾値処理を行って輝度の高い部分を抽出する。

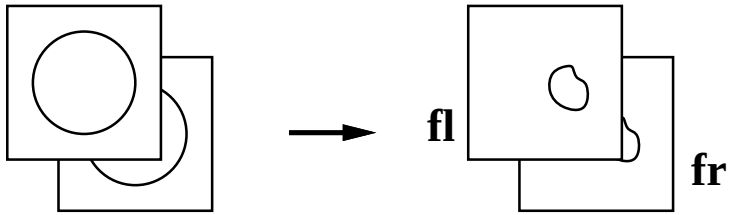


Figure 7: テクスチャの抽出

変形の補正とステレオ画像ペアの推定方法

Figure 8: 補正手順

(2) 視差 $d\hat{x}, d\hat{y}$ (自転による移動分) の推定

$f_l(x,y), f_r(x,y)$ から自転による移動分の推定を行う。

$$D_o(dx,dy) = \sum_{(x,y)\epsilon W} \mid f_l(x,y) - f_r(x+dx, y+dy) \mid \tag{5}$$

$$(d\hat{x}, d\hat{y}) = (dx,dy) \mid_{D_o(dx,dy)\rightarrow \min} \tag{6}$$

変形の補正とステレオ画像ペアの推定方法

Figure 9: 補正手順

(3) 探索範囲の設定

$f_r(x, y)$ に対する最適な補正処理の探索範囲を設定する。

Figure 10: 補正処理の探索範囲

変形の補正とステレオ画像ペアの推定方法

Figure 11: 補正手順

(4) 最適な補正の探索

$$D_c({f_r}') = \sum_{(x,y)\epsilon W} \mid {f_l}'(x,y) - {f_r}'(x+d\hat{x}, y+d\hat{y}) \mid \tag{7}$$

$$\hat{f}_r = {f_r}' \mid_{D_c({f_r}')\rightarrow \min} \tag{8}$$

${f_l}'$ ：f_l を自転分だけ変形させたもの

CG モデルに対する補正実験

CG によりモデル画像を作成し、前節で説明した手順にしたがって補正実験を行う。

モデル画像 ：

- 512×512[pixels]
- 濃淡画像 (8bit/pixel)
- 左右画像間で球体は右方向へ $5°$ 自転。

また評価値として、次式で示す補正率 Rを求めた。

$$R = (1 - \frac{D_c}{D_o}) \times 100 \ [\%] \tag{9}$$

D_o： 補正前の左右画像間でのテクスチャの残差
D_c： 補正後の左右画像間でのテクスチャの残差

- 平行移動、拡大・縮小に対する補正実験

(1) 左側 f_l　　(2) 右側 f_r

Figure 12: CG により生成したモデル画像

Table 2: 4 つのテクスチャに対する実験結果

テクスチャ	正解の補正処理	選択した補正処理	D_o	D_c	$R[\%]$
a (中央)	上下左右 1 画素拡大	8 方向拡大 1 回 + 横へ拡大 2 回	114920	10815	91
b (右上)	上下左右 1 画素縮小	右へ縮小 1 回 + 縦横へ縮小 1 回	78008	14609	81
c (右下)	右に 1 画素移動	右へ移動 1 回 + 右へ縮小 1 回	26168	3832	85
d (左)	なし (輝度 1 増加)	上へ移動 1 回 + 下へ移動 1 回	67247	5788	91

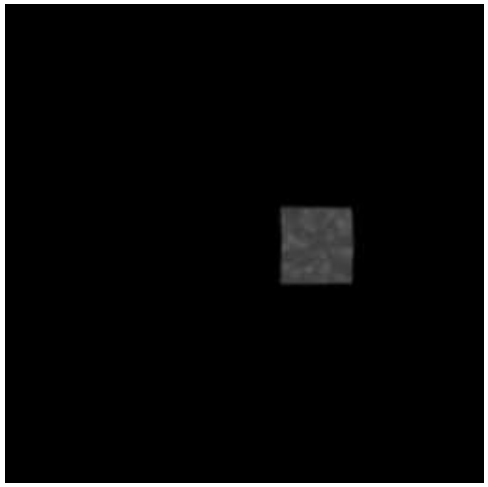
- 平行移動、拡大 ・縮小に対する補正実験 2

4 つのテクスチャの変化量を増加させて、同様の実験を行った結果を Table3 に示す。

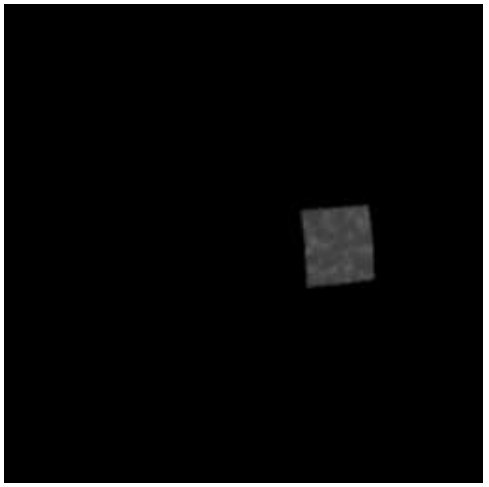
Table 3: テクスチャの変化量を変えた場合の実験結果

テクスチャ	正解の補正処理	選択した補正処理	D_o	D_c	$R[\%]$
a (中央)	上下左右 2 画素拡大	8 方向拡大 2 回 + 横へ拡大 5 回	213653	14090	93
b (右上)	上下左右 2 画素縮小	右へ縮小 3 回 + 縦横へ縮小 2 回	111072	22964	79
c (右下)	右に 2 画素移動	右へ移動 2 回 + 右へ縮小 2 回	21384	6777	68
d (左)	なし (輝度 2 増加)	上へ移動 1 回 + 下へ移動 1 回	70667	10672	85

- 回転 (反時計回り) に対する補正実験



(1) 左側 f_l



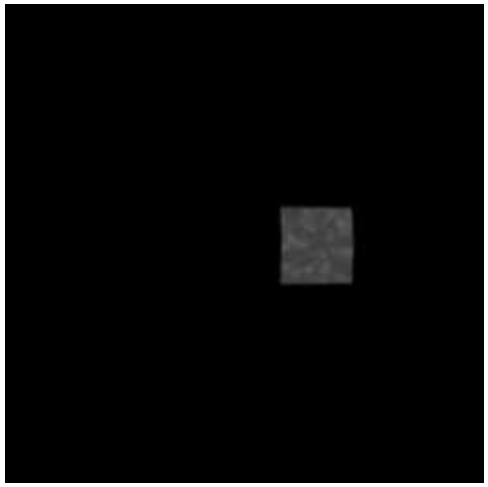
(2) 右側 f_r (1 ~ 5 ° 回転)

Figure 13: CG により生成したモデル画像 (回転成分)

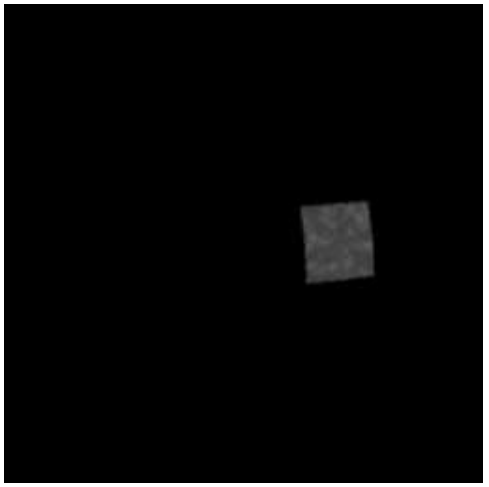
Table 4: 回転に対する補正結果

回転角 [°]	選択した補正処理	D_o	D_c	$R[\%]$
1	上へ移動 1 回 + 下へ移動 1 回	39729	1457	96
2	上へ移動 1 回 + 下へ移動 1 回	37392	11510	69
3	回転 (時計回り) 2 °	43164	11578	73
4	回転 (時計回り) 3 °	50528	14249	72
5	回転 (時計回り) 5 °	60039	16281	73

- 回転 (反時計回り) + 平行移動 (上方向へ 4 画素) に対する補正実験



(1) 左側 f_l



(2) 右側 f_r (1 ~ 5 ° 回転)

Figure 14: CG により生成したモデル画像 (回転 + 移動成分)

Table 5: 回転 + 平行移動に対する補正結果

回転角 [°]	選択した補正処理	D_o	D_c	$R[\%]$
1	下へ移動 4 回	38433	10267	73
2	下へ移動 4 回 + 回転 (時計回り) 1 °	37213	14659	61
3	下へ移動 4 回 + 回転 (時計回り) 2 °	42777	13228	69
4	下へ移動 4 回 + 回転 (時計回り) 3 °	49710	15384	69
5	下へ移動 4 回 + 回転 (時計回り) 5 °	60394	16843	72

実画像に対する補正実験

(1) 左側 f_l　　(2) 右側 f_r (補正前)　　(3) 右側 $\hat{f}_r$ (補正後)

Figure 15: figure2 から抽出したテクスチャと補正結果

Table 6: 実画像に対する実験結果

テクスチャ	選択した補正処理	D_o	D_c	$R[\%]$
a (中央上)	回転 (反時計回り)2 ° + 横へ拡大 2 回	27136	23201	15
b (中央下)	左へ移動 1 回 + 右へ拡大 1 回	56723	42269	25
c (右上)	縦横へ縮小 1 回	17595	9804	44
d (右下)	左へ縮小 2 回 + 上へ縮小 1 回	9495	5749	39
e (左)	下へ縮小 3 回 + 縦へ縮小 2 回	59828	66263	−11

まとめ

- 「ようこう」が撮影した画像から良好な立体画像を構成するため、モルフォロジー処理とアフィン変換を用いて太陽表面のテクスチャの変化を補正する手法を検討した。
- CG モデル画像に対する実験
  - 平行移動、拡大・縮小、回転の変形に対してその変形を打ち消すような補正を正しく選択し、61%以上の補正率が得られた。その結果、補正前後での立体感の向上もよく感じられた。
- 実画像に対する実験
  - モデル画像に対する実験よりも補正率が低く、立体感の変化もあまり感じられなかった。この原因は $f_l' = f_l$ としたためであると考えられる。

今後の課題

- 変形の種類、変形量をパラメータとして整理、モデル化して本手法の有効性を定量的に示し、モデルの妥当性について検討する。
- 実画像における f_l' の推定方法の検討。
- 補正率 Rと主観的立体感の関係を検討する。