

ベイズ推定を仮定せずとも、パターン依存性は説明できる

## 概要・結果

- これまで、ヒトの運動知覚特性は、認知心理学や神経生理学的観点から考察されてきた。しかし、速度計算を行うという目的は**視覚も画像工学的アルゴリズムも共通**であり、それぞれで手法が提案されている。
- ヒトの運動知覚特性であるコントラスト依存性、空間周波数依存性、形状依存性は画像工学的アルゴリズムで説明可能である。

ヒトの運動知覚特性が神経生理学的、数学的な仮定を踏まざとも画像工学的に解釈できることが**定性的**に示された。

## 1. はじめに

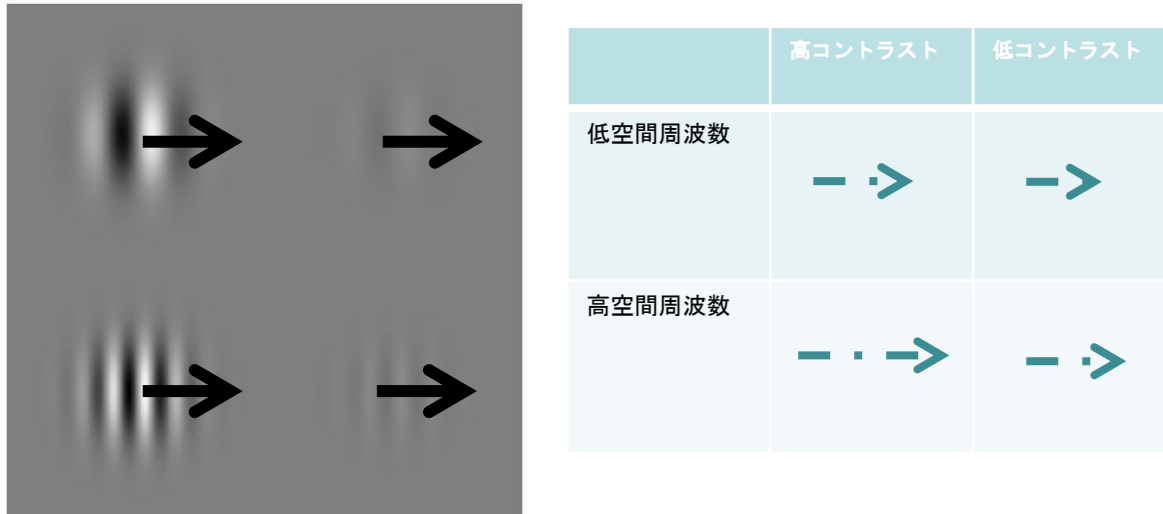
### 1.1 運動知覚特性

- ヒトの速度知覚はパターンの
  - ・コントラスト
  - ・空間周波数
  - ・形状
 などに影響をうけることがわかっている。

### 1.2 運動知覚に関する視覚現象

同速度で動いているパターンでもパターンのコントラスト空間周波数によって知覚される速度が異なる。 [1,2]

知覚される速度



矢印は物理的な速度、知覚される速度の大きさを表す

並進運動時、パターンの形状が異なると知覚される運動方向が異なる。 [3]



→ 物理的な運動方向 -> 知覚される運動方向

このような視覚現象を、ヒトの視覚特性を考慮しない画像工学的解釈によって説明することを試みる。

### 1.4 従来研究

Weissはコントラスト依存性、形状依存性をベイズ推定を用いて説明

#### Weissのモデル

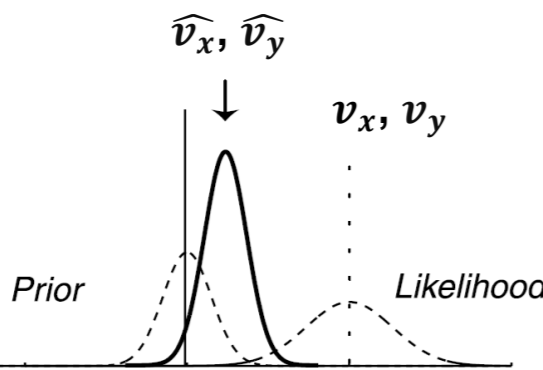
ヒトがベイズ推定により、速度推定をしていると仮定したモデル

$$\begin{pmatrix} \hat{v}_x \\ \hat{v}_y \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \sum I_x^2 + \sigma^2 & \sum I_x I_y \\ \sum I_x I_y & \sum I_y^2 + \sigma^2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \sum I_t I_x \\ \sum I_t I_y \end{pmatrix}$$

$I_{x,y}$ : 輝度の空間微分  
 $I_t$ : 輝度の時間微分

$\sigma$ : 尤度関数と事前確率分布の分散の比

ベイズ推定モデルの簡易図



$\hat{v}_x, \hat{v}_y$ : パターンの知覚される速度  
 $v_x, v_y$ : パターンの物理速度

#### Weissのモデルにおける問題点

- ・推定速度の事前確率分布を仮定することの妥当性が不明
- ・仮定が数理的解釈を難しくしている

### 1.4 画像工学アルゴリズム

#### 時空間微分算法[4]

画像工学の分野で用いられている、速度計算のアルゴリズム。速度抽出だけでなく、得られた速度の信頼度も計算できる。

$$\begin{pmatrix} \hat{v}_x \\ \hat{v}_y \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \sum I_x^2 & \sum I_x I_y \\ \sum I_x I_y & \sum I_y^2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \sum I_t I_x \\ \sum I_t I_y \end{pmatrix}$$

$I_{x,y}$ : 輝度の空間微分  
 $I_t$ : 輝度の時間微分

Weissのモデルは、時空間微分算法と形式的にほぼ等価

### 画像工学的観点からヒトの運動知覚特性を考察できる可能性

**研究目的**  
工学的観点から考察・分析を行うことで、視覚特性の要因に新たな解釈を与える

外挿的な仮定を踏まずに、視覚特性を考察することで、より詳細な数理的な解釈を可能にする

本研究では、画像工学アルゴリズムを用いてシミュレーションを行い、ヒトの運動知覚特性を説明する

## 2. グレーティング刺激におけるパターン依存性

### 2.1 グレーティング刺激の表現

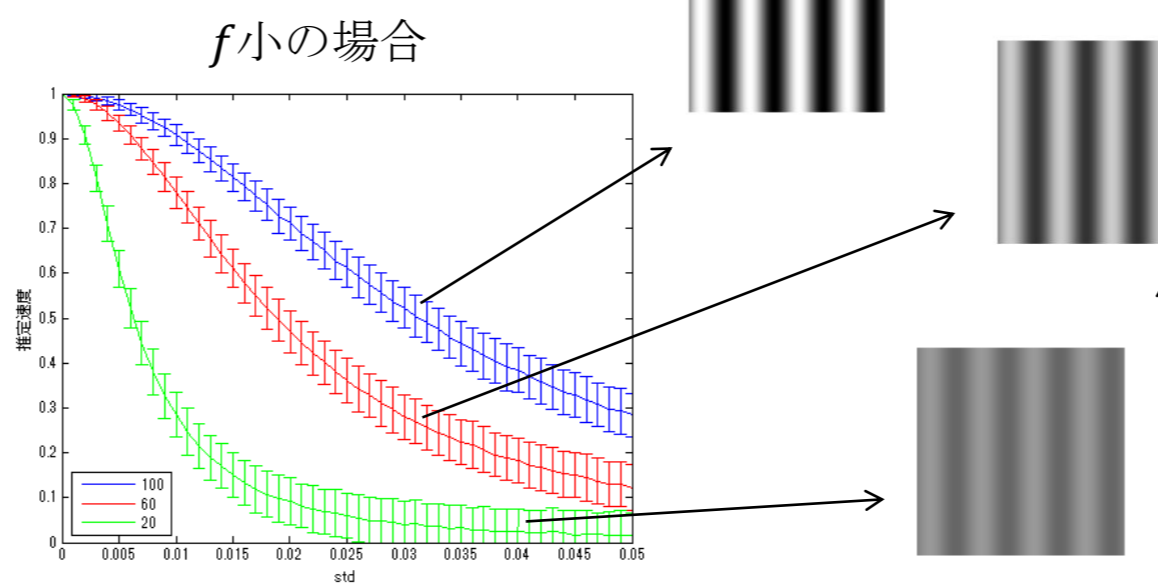
サイン波刺激を用いて、シミュレーションを行ったヒトには観測時に細胞ノイズなどのノイズが発生することが知られている為、ノイズも含め刺激を作成した。使用したサイン波刺激は以下の式で与えた

$$I(x, t + \Delta t) = c \sin\{2\pi f(x - v(t + \Delta t))\} + sn(x, t)$$

$c$ : 刺激のコントラスト  
 $f$ : 刺激の波長  
 $s$ : ノイズの標準偏差  
 $n$ : 標準偏差1, 平均0のホワイトガウスノイズ

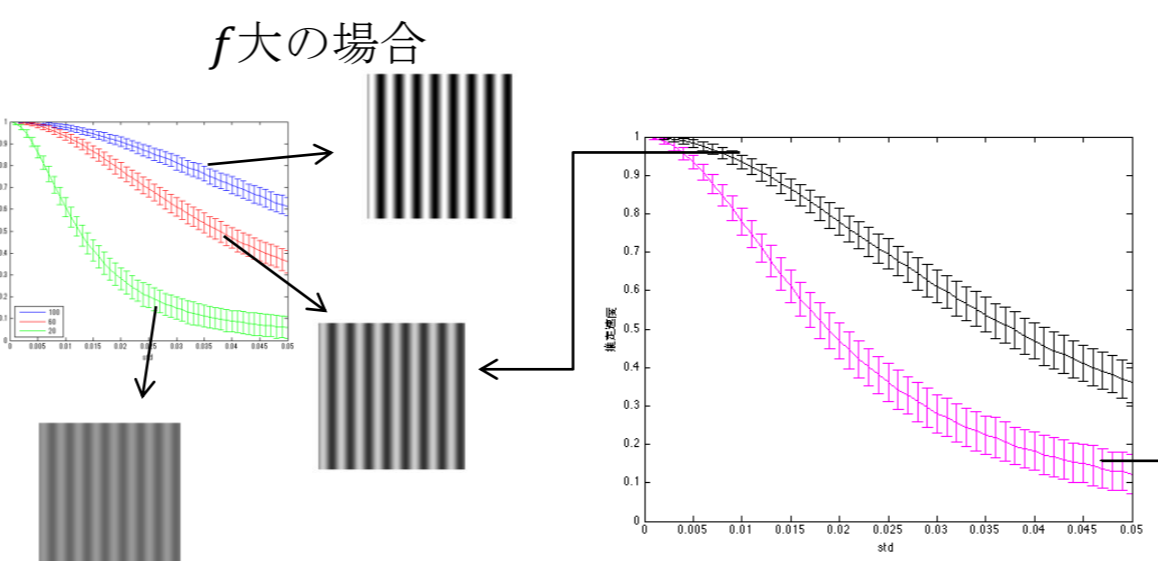
本シミュレーションでは簡単のため、 $v = 1, t = 0, \Delta t = 1$ とし、実験を行なった。

### 2.2 コントラスト依存性



ノイズ強度によらずコントラストが下がると、推定速度も低速化

### 2.3 空間周波数依存性



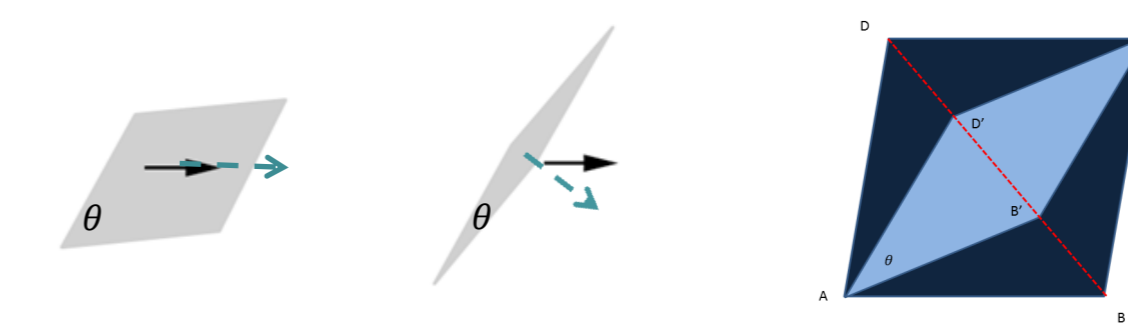
ノイズ強度によらず空間周波数が低くなれば、推定速度も低速化

画像工学アルゴリズムを用いて、コントラスト依存性・空間周波数依存性を定性的に説明した。

## 3. 形状依存性

### 3.1 形状の表現

形状の違いは、ある頂点の角度 $\theta$ で表現できる。

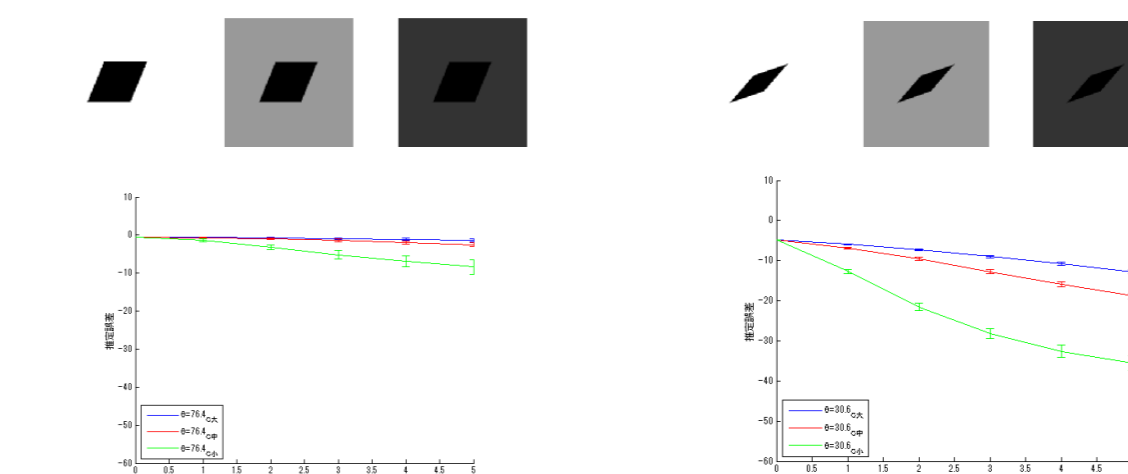


### 3.2 形状変化による錯視量の変化

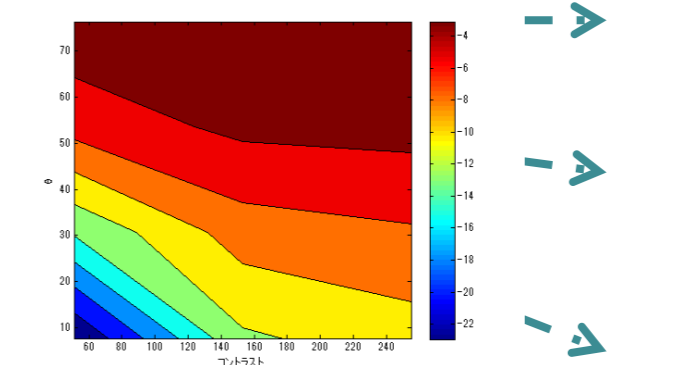
#### 期待される結果

	高コントラスト	低コントラスト
$\theta$ 大		
$\theta$ 小		

物理角度  
推定角度  
推定誤差



#### コントラスト, $\theta$ , 推定誤差の関係



$\theta$ が大きいくところでは、コントラストに依らず、推定角度は小さいしかし、小さいところではコントラストに応じて推定角度が大きく変化する  
コントラスト変化、形状変化によって出力角度が変化した

ベイズ推定を用いずとも、コントラスト・形状依存性を定性的に説明した。

## 4. 考察

### 4.1 コントラスト依存性、空間周波数依存性に対する考察

1次元の場合出力速度は以下のような式で与えられる

$$\hat{v}_x = \frac{-\sum I_x I_t}{\sum I_x^2}$$

簡単な為に、 $\frac{\pi}{f} = a$ とし、式を展開すれば、

$$\hat{v}_x' = \frac{a^2 c^2 \sum \{\cos(ax) \cos a(x + \Delta t)\}}{a^2 c^2 \sum (\cos^2 ax) + s^2 \varepsilon}$$

$\varepsilon$ : ノイズの自己相関の値

となり、分母のみノイズから影響を受けるために出力速度が低速化することがわかる。コントラストや空間周波数の値によってsが微量であってもノイズが与える影響が変化することが解析的に求められた。

### 4.2 形状依存性に対する考察

サイン波刺激の場合同様にノイズからの影響を考えれば

$$\begin{pmatrix} \hat{v}_x' \\ \hat{v}_y' \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \sum I_x^2 + s^2 \varepsilon & \sum I_x I_y \\ \sum I_x I_y & \sum I_y^2 + s^2 \varepsilon \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \sum I_t I_x \\ \sum I_t I_y \end{pmatrix}$$

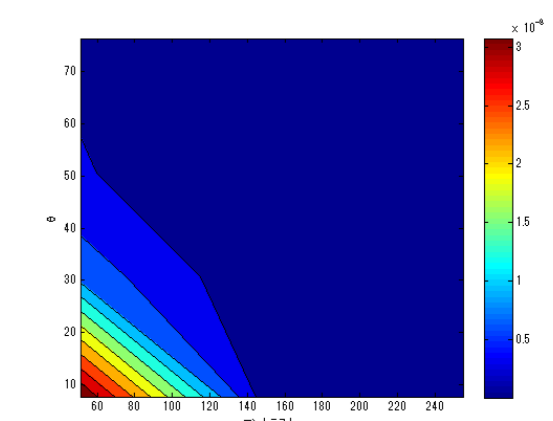
という式になる。

上式を展開し、ノイズが無い場合と比べ出力角度がどのように変化するか示せば、

$$\begin{pmatrix} \hat{v}_x' \\ \hat{v}_y' \end{pmatrix} = \frac{\det \begin{pmatrix} \sum I_x^2 + s^2 \varepsilon & \sum I_x I_y \\ \sum I_x I_y & \sum I_y^2 + s^2 \varepsilon \end{pmatrix}}{\det \begin{pmatrix} \sum I_x^2 & \sum I_x I_y \\ \sum I_x I_y & \sum I_y^2 \end{pmatrix}} \begin{pmatrix} \hat{v}_x \\ \hat{v}_y \end{pmatrix} - \frac{s^2 \varepsilon}{\det \begin{pmatrix} \sum I_x^2 + s^2 \varepsilon & \sum I_x I_y \\ \sum I_x I_y & \sum I_y^2 + s^2 \varepsilon \end{pmatrix}} \begin{pmatrix} \sum I_t I_x \\ \sum I_t I_y \end{pmatrix}$$

となり、 $\sum I_x I_y$ が $\hat{v}_y'$ に影響を与えるために、並進運動であっても出力角度が大きくなることを表している。また菱形が細くなるにつれ、またはコントラストが低くなるにつれ、行列式の値が小さくなり、sが微量であってもノイズの影響が大きくなる。

#### コントラスト, $\theta$ , $\frac{1}{\text{行列式}}$ の関係



## 5. 結論

画像工学的手法を用いることで、速度知覚の形状依存性を示し、工学的観点からの考察の可能性を示した

### 参考文献

- [1] P. Thompson, "Perceived rate of movement depends on contrast," *Vision Research*, vol. 22, 1982, pp. 377-380.
- [2] H. Diner, E. Wist, J. Dichgans, and T. Brandt, "The spatial frequency effect on perceived velocity," *Vision Research*, vol. 16, 1976, pp. 169-176.
- [3] Y. Weiss, E. P. Simoncelli, and E. H. Adelson, "Motion illusions as optimal percepts," *Nature Neuroscience*, vol. 5, May 2002, pp. 598-604.
- [4] 安藤 篤, "画像の時空間微分算法を用いた速度ベクトル分析システム," 計算情報科学論文集, vol. 22, No.12, Dec. 1996, pp. 1330-1336.