

# 法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-07-12

## 視野角が間隙知覚に与える影響に関する研究 ： 周辺視野を利用することによる知覚の向上

ENDO, Gaku / 遠藤, 岳

---

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学研究科編

(巻 / Volume)

64

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

5

(発行年 / Year)

2023-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00026333>

# 視野角が間隙知覚に与える影響に関する研究 周辺視野を利用することによる知覚の向上

INFLUENCE OF VIEW ANGLE IN PERCEIVING PASSABILITY OF AN APERTURE  
ENHANCEMENT OF PERCEPTION THROUGH USE OF PERIPHERAL VISION

遠藤 岳

Gaku ENDO

指導教員 伊藤一之

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

Humans can compare the shoulder width to aperture and perceive passability, using only vision. However, the actual aperture size cannot be estimated from the apparent aperture size. In previous studies, a method was proposed to estimate the velocity from the background of the aperture and to estimate the actual size of the aperture. This study incorporated the concept of the field of view into the method of previous studies and proposed a new method. It was demonstrated through simulation that the method is effective in velocity estimation and aperture estimation. Additionally, experiments were conducted to verify whether the method is used in human perception. As a result, it was found that the extent of the view angle contributes to clearer aperture perception.

**Key Words:** Aperture Estimation, Perception, Vision

## 1. はじめに

人間をはじめとする実世界の生物は、間隙の通過を試みる場合、視覚のみを用いて自分の肩幅と間隙の幅を比較し、その間隙が通過可能かどうか判断することが可能である<sup>1),2)</sup>。しかし、一般的に単眼カメラのみを用いて見かけ上の間隙の幅から実世界における絶対的な間隙の大きさを推定することはできない。物体の見かけ上の大きさは距離に反比例するため、距離と大きさと速度の組み合わせによっては、間隙の見かけ上の大きさが全く同様になる。例えば、2[m]離れた位置から幅 2[m]の間隙に向かって速度 2[m/s]で進行する場合と、1[m]離れた位置から幅 1[m]の間隙に向かって速度 1[m/s]で進行する場合は、見かけ上の間隙は全く同様になる。

従来研究<sup>3)-5)</sup>では、見かけ上の間隙の幅から実際の幅を推定する方法として、間隙周囲に存在する背景と間隙を対比する手法が提案された。間隙周囲に存在する背景の流れを用いて自己の移動速度を推定し、推定した移動速度を利用して絶対的な間隙の幅を推定することができると考えられた。さらに、その間隙推定モデルが人間の知覚において用いられているかを検証するために、シミュレータが作成された。そのシミュレータは、シミュレータ内の三次元空間内に配置されたオブジェクトを点群及び点群の流れのみでモニタに表示する。従来研究で提案され

た間隙推定モデルが人間の知覚に用いられているとすると、その映像から絶対的な間隙の幅が知覚可能であると予想されたが、映像を観測する実験を行っても、間隙の絶対的な大きさは正常に知覚されなかった。

本研究では、従来研究<sup>5)</sup>にて行われたシミュレータの映像を観測する実験において、正常に知覚されなかった原因として、人間の視野全体と比較して映像の範囲が狭いという点に着目した。そこで、本研究では、視野角の制限が人間の速度知覚に影響を与え、速度知覚に生じているエラーから間隙知覚に影響を与えているという仮説を立てる。また、従来研究にて提案された間隙知覚モデルに視野角の要素を追加し、視野角が間隙知覚に与える影響を調査する。

## 2. 従来研究

### (1) 背景を利用した間隙の知覚

一般的に、視覚のみを用いて間隙の実際の大きさを推定することはできない。そこで、従来研究<sup>4)-6)</sup>では、間隙周囲に存在する背景と間隙を比較することによって相対的な間隙の大きさを推定する方法が提案された。図 1 に、環境のモデルを示す。

図 1 における  $p$  は背景の特徴点で、 $D$  はカメラから特徴点までの距離である。また、カメラは  $Y$  軸方向に速度  $V$  で

進行する。間隙のワールド座標系での大きさは $L$ である。間隙および特徴点はカメラのレンズを通し、カメラ内の座標系に映し出される。 $l$ は見かけ上の間隙の大きさで、 $x$ は見かけ上の特徴点の位置、 $f$ はカメラの焦点距離である。

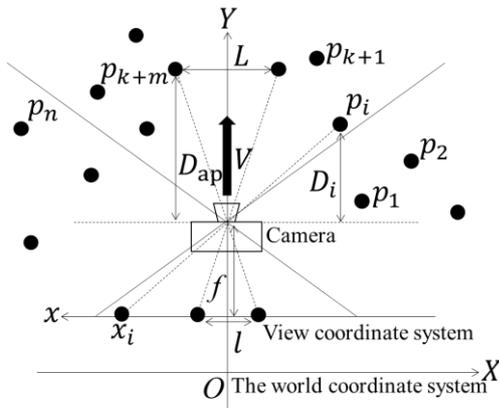


図1 背景に含まれる特徴点と間隙

一定の環境内における定数 $\hat{D}$ を用い、相対的な速度の推定を式(1)のように行うことができる。

$$\hat{V} = \frac{\hat{D}}{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{x_i}{\hat{x}_i}} \quad (1)$$

さらに、従来研究<sup>5)</sup>では、速度および見かけ上の間隙の大きさをを用いて式(2)のように実際の間隙の大きさが推定可能であることが示された。

$$L = \frac{l^2}{\hat{l}} \times \frac{1}{f} \times V \quad (2)$$

最後に、従来研究にて式(2)における速度に式(1)の推定速度を代入することによって、見かけ上のパラメータおよび背景に含まれる定数によって式(3)のように間隙の推定が可能であると示された。

$$\hat{L} = \frac{l^2}{\hat{l}} \times \frac{1}{f} \times \hat{V} = \frac{l^2}{\hat{l}} \times \frac{1}{f} \times \frac{\hat{D}}{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{x_i}{\hat{x}_i}} \quad (3)$$

### (2) 点群を用いて空間を表現するシミュレータ

従来研究<sup>5)</sup>では、人間の知覚において、式(3)のような間隙推定モデルが用いられているか確認するために、三次元空間を点群のみで表現し、モニタに表示するシミュレータが作成された。モニタに表示される映像は、一様に散布された点群のみであるため、映像が動いているときのみ三次元空間内に配置されたオブジェクトを認識することができ、静止した状態では認識することができない。静

止した状態の映像を図2に示す。



図2 シミュレータがモニタに表示する映像

従来研究ではこのシミュレータを用い、シミュレータの三次元空間内に背景となるオブジェクトおよび間隙を構成するオブジェクトが配置され、間隙の幅を変化させて比較する実験を行ったが、間隙の大きさの差異が実際の差より極端に小さく知覚された。つまり、式(3)におけるパラメータはすべて与えられていたにもかかわらず、映像からは正常に間隙の知覚が行われなかった。

### 3. 視野角が間隙知覚に与える影響

本研究では、シミュレータの映像から正常に間隙を知覚されなかった原因として、映像の範囲が人間の視野全体と比較して小さいという部分に着目した。観測者の周辺視野付近に特徴点の流れが生じていないことから、推定される速度が小さくなり、間隙知覚に影響を与えたと考えられる。

本章では、視野角が間隙知覚に影響を与えているとした場合の背景の流れと背景に含まれる定数を用いた間隙知覚モデルを導出する。

視野角のパラメータを取り入れるために、図3のように環境のモデルを定義する。従来研究では、視覚の座標系として、カメラのイメージセンサを模した直線が用いられていた。本研究では、視覚の座標系として、眼球の網膜を模した半円の曲線を用いた。

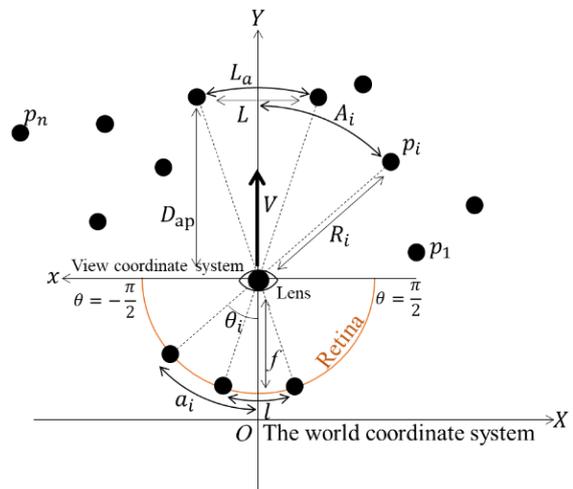


図3 半円状の網膜に映し出される特徴点と間隙

図3の環境のモデルにおいて、特徴点 $p_i$ は、レンズを通し網膜に映し出される。 $a_i$ は視界内の特徴点の位置で、 $\theta_i$ は視界の中心と特徴点が成す角である。 $f$ は焦点距離で、視覚の座標系はワールド座標系のY軸方向に速度 $V$ で進んでいる。ここで、特徴点の流れの大きさから速度 $V$ を推定するために、速度 $V$ と特徴点の流れ $\dot{a}_i$ の関係式を導出する。

まず、 $a_i$ の時間微分 $\dot{a}_i$ は式(4)のように表せる。

$$\dot{a}_i = f \dot{\theta}_i \quad (4)$$

次に、速度 $V$ は $R_i \cos \theta_i$ の時間微分から求められる。

$$\frac{d}{dt}(R_i \cos \theta_i) = -R_i \sin \theta_i \dot{\theta}_i + \dot{R}_i \cos \theta_i = -V \quad (5)$$

また、 $\dot{R}_i$ は速度 $V$ を用いて表現すると、

$$\dot{R}_i = -V \cos \theta_i. \quad (6)$$

式(5)の $\dot{R}_i$ に、式(6)を代入する。

$$R_i \sin \theta_i \dot{\theta}_i + V \cos^2 \theta_i = V \quad (7)$$

式(7)を変形する。

$$R_i \sin \theta_i \dot{\theta}_i = V \sin^2 \theta_i \quad (8)$$

式(8)における $\dot{\theta}_i$ に式(4)を適用し整理すると、角度 $\theta_i$ における特徴点の流れ $\dot{a}_i$ が得られる。

$$\dot{a}_i = \frac{f}{R_i} V \sin \theta_i \quad (9)$$

視界内に存在する特徴点の流れの合計をとる。

$$\sum_{i=1}^n |\dot{a}_i| = \sum_{i=1}^n \frac{f}{R_i} V |\sin \theta_i| \quad (10)$$

ここで、人間は距離 $R_i$ を直接測定することはできないが、背景の環境が変動していないということは知覚できるため、 $R_i$ を定数 $\hat{R}$ に置き換えられると仮定する。このとき、定数 $\hat{R}$ を用いた推定速度 $\hat{V}$ は次のように求まる。

$$\hat{V} = \frac{\hat{R}}{f} \times \frac{\sum_{i=1}^n |\dot{a}_i|}{\sum_{i=1}^n |\sin \theta_i|} \quad (11)$$

つづいて、式(11)の速度推定モデルで図4のように視野角を $\phi_1$ [rad]~ $\phi_2$ [rad]に制限し範囲外の網膜には特徴点の流れが生じないようにする( $\phi_1 \leq 0$ [rad],  $\phi_2 \geq 0$ [rad])。

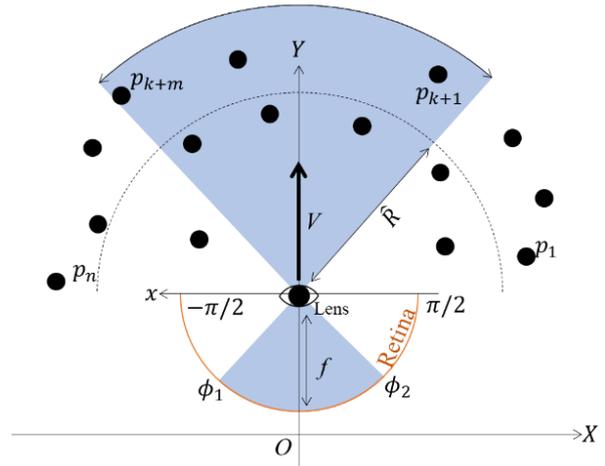


図4 視野角の制限

特徴点が網膜に一樣に分布している場合、式(11)の右辺を積分に近似することにより、推定速度に視野角のパラメータを取り入れられる。

$$\begin{aligned} \hat{V} &= \frac{\hat{R}}{f} \times \frac{\sum_{i=1}^n |\dot{a}_i|}{\sum_{i=1}^n |\sin \theta_i|} \cong \frac{\hat{R}}{f} \times \frac{\int_{\phi_1}^{\phi_2} |\dot{a}(\theta)| d\theta}{\int_{-\pi/2}^{\pi/2} |\sin \theta| d\theta} \\ &= \frac{\hat{R}}{f} \times \frac{\int_{\phi_1}^{\phi_2} |\dot{a}(\theta)| d\theta}{2} \end{aligned} \quad (12)$$

式(12)を用いることにより、視野の制限による速度知覚への影響の理論値を求めることができる。

次に、推定速度を用いた間隙推定モデルを求める。図3において、レンズと間隙が成す角度が十分に小さいとき式(13)のように近似することができる。

$$L \cong L_a \quad (13)$$

式(13)の近似を用いると、従来研究<sup>5)</sup>同様に式(14)が求まる。

$$L \cong L_a = \frac{l^2}{l} \times \frac{1}{f} \times V \quad (14)$$

式(14)の速度 $V$ に、推定速度を代入することによって推定される間隙 $\hat{L}$ が求められる。

$$\hat{L} = \frac{l^2}{l} \times \frac{\hat{R}}{f^2} \times \frac{\sum_{i=1}^n |\dot{a}_i|}{\sum_{i=1}^n |\sin \theta_i|} \quad (15)$$

また、式(12)を式(15)に適用することにより、視野角ごとの $\hat{L}$ の理論値 $\hat{L}_t$ を求めることができる。

$$\hat{L}_t = \frac{l^2}{l} \times \frac{\hat{R}}{f^2} \times \frac{\int_{\phi_1}^{\phi_2} |\dot{a}(\theta)| d\theta}{2} \quad (16)$$

最後に、式(16)を用いて、視野を制限しなかった場合と視野を制限した場合で、推定される間隙 $\hat{L}_t$ にどのような差異が出るのか、理論値を算出する。視野を制限しなかった場合は、式(16)における $\phi_1$ が $-\pi/2$ 、 $\phi_2$ が $\pi/2$ になるため、推定される間隙 $\hat{L}_t$ は式(9)と式(16)を用いて、次の式(17)のように算出される。

$$\begin{aligned}\hat{L}_t &= \frac{l^2}{i} \times \frac{\hat{R}}{f^2} \times \frac{\int_{-\pi/2}^{\pi/2} |\dot{a}(\theta)| d\theta}{2} \\ &= \frac{l^2}{i} \times \frac{\hat{R}}{f^2} \times \frac{\int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{f}{\hat{R}} \times \hat{V} |\sin \theta| d\theta}{2} \\ &= \frac{l^2}{i} \times \frac{1}{f} \times \hat{V}\end{aligned}\quad (17)$$

対して、視野を $\phi_1 = -\pi/6$ 、 $\phi_2 = \pi/6$ のように制限した場合、 $\hat{L}_t$ は式(18)のように算出される。

$$\begin{aligned}\hat{L}_t &= \frac{l^2}{i} \times \frac{\hat{R}}{f^2} \times \frac{\int_{-\pi/6}^{\pi/6} |\dot{a}(\theta)| d\theta}{2} \\ &= \frac{l^2}{i} \times \frac{\hat{R}}{f^2} \times \frac{\int_{-\pi/6}^{\pi/6} \frac{f}{\hat{R}} \times \hat{V} |\sin \theta| d\theta}{2} \\ &\cong \frac{l^2}{i} \times \frac{1}{f} \times 0.134\hat{V}\end{aligned}\quad (18)$$

式(17)、式(18)より、式(15)の間隙推定モデルを用い、視野を $\phi_1 = -\pi/6$ 、 $\phi_2 = \pi/6$ のように制限した場合、視野が制限されていない場合と比較して、推定される速度が13.4%になり、間隙の変化量も小さく推定されると考えられる。

#### 4. 速度推定のシミュレーション

式(11)が速度推定に用いることができるのか、コンピュータを用いたシミュレーションで確認した。二次元平面上に多数の特徴点を一様に散布し、半円状のイメージセンサを持つカメラを設置した。

シミュレータ内の二次元平面を図5に示す。

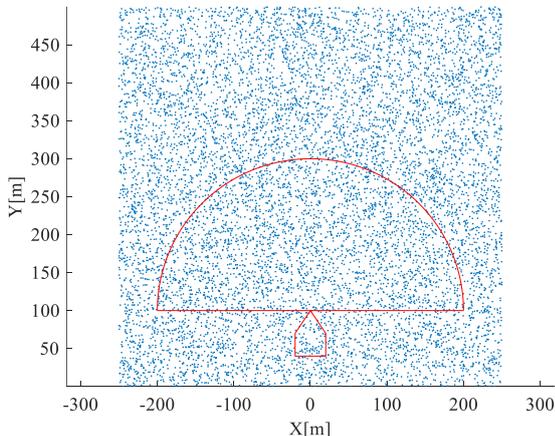


図5 散布された特徴点とカメラ

図5における半円の内側に入っている特徴点がカメラのイメージセンサに投影されている。カメラをY軸方向に前進させ、式(11)を用いて速度の推定を行った。表1に示すように条件を変え、シミュレーションした。また、条件1~3で特徴点の位置は変えず、条件1にて推定速度 $\hat{V}$ が実際の速度と一致するように $\hat{R}$ を設定した。

表1 速度推定のシミュレーション設定

条件	条件1	条件2	条件3
カメラの速度[m/s]	2	4	4
視野の制限[rad]	なし	なし	$-\pi/6 \sim \pi/6$
移動距離[m]	150	300	
焦点距離[m]	0.01		

各条件でシミュレーションした結果を図6に示す。また、条件ごとの $\hat{V}$ の平均値を表2に示す。

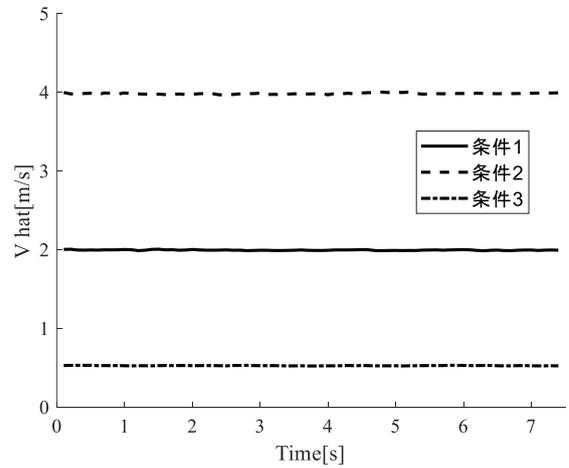


図6 推定された $\hat{V}$

表2 条件ごとの $\hat{V}$ の時間平均

条件	条件1	条件2	条件3
$\hat{V}$ の平均[m/s]	1.998	3.985	0.530

図6および表2から、条件1と2では推定された速度が、カメラの実際の速度に一致している。このことから、式(11)を用いて速度の推定を行うことが可能であると考えられる。また、視野を制限した条件3での $\hat{V}$ は、条件2の13.3%となっている。これは、式(17)、式(18)で算出した理論値とほぼ一致する。

#### 5. 点群の流れを表示するシミュレータの実験

人間の知覚において、式(15)のような推定が行われているか確認するために、人間の視野の大部分を覆うことができる状態で、従来研究のシミュレータの映像を観測した。図7に示すように、27インチのモニター2枚を90°の角度で配置し、その中央に頭部を配置する形でシミュレータの映像を観測した。

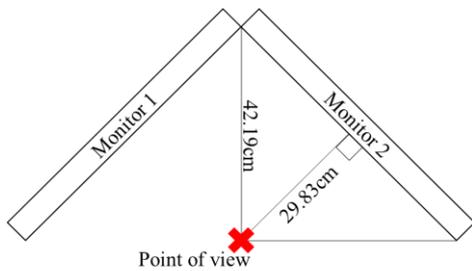


図7 実験装置および実験装置の平面図

シミュレータは、三次元空間内を進行しながら空間内に配置されたオブジェクトをモニタに映像として表示する。その際、配置されたオブジェクトを点群のみで表示し、その点群の密度を均一に保つことによって、映像から輪郭の情報を削除し、動いている状態のみでオブジェクトを認識できるような映像になる。

シミュレータ内に配置されたオブジェクトを図8に示す。

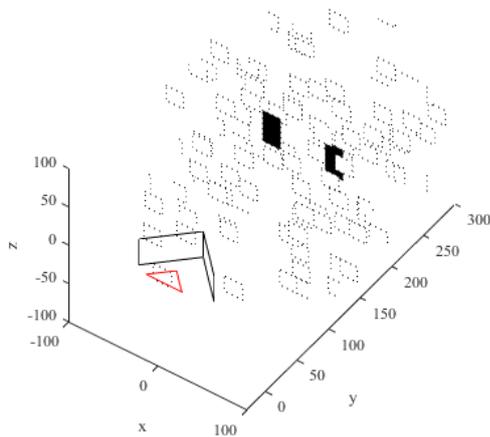


図8 シミュレータ内の三次元空間

図8において、点線で示されたオブジェクトが背景オブジェクトで、黒いオブジェクトが間隙を構成するオブジェクトである。また、三角形は視点の初期位置と方向、視点の付近に存在する2つの四角形は、モニタを表している。このシミュレータを用い、表3のような2つの条件で間隙を表示し、比較した。

表3 シミュレータの条件

条件	条件1	条件2
間隙の幅[cm]	50	25
視点から間隙までの距離[cm]	1000	500
視点の速度[cm/s]	125	62.5
フレームレート[fps]	60	
背景オブジェクトの x 座標	-120~-70, 70~120	
背景オブジェクトの y 座標	0~2500	
背景オブジェクトの z 座標	-100~100	

間隙自体は条件1と2で同様に観測されるが、背景オブ

ジェクトの流れが条件1の方が速くなるため、間隙の差異が知覚できると予測された。結果的に、従来研究<sup>9)</sup>の実験と比較して、間隙の差異がより認識できるようになったが、実世界での知覚と比較すると、明確さに欠けた。

## 6. 結論

本研究では、従来研究での実験結果から、間隙推定における視野角の重要性に着目した。視野角が速度推定および間隙推定に影響を及ぼしているという仮説を立てるために、視野角のパラメータを追加した速度推定および間隙推定法を求めた。シミュレーションを通して、本研究で導出した式を用いて速度推定が可能であることを示し、視野にオプティカルフローが生じない部分が存在すると、推定される速度が減少することを確認した。最後に、三次元空間を点群で表現するシミュレータを用い、視野全体に特徴点の流れを提示することで、速度の知覚がより明確になり、従来研究と比較して明確に間隙の知覚が可能になるのか確認した。映像を観測した結果として、従来研究での実験と比較して、より明確に速度および間隙の差異が認識できた。このことから、周辺視野へ特徴点の流れを表示することにより、推定速度がより明確に変化し、間隙の知覚がより明確になったことが考えられる。しかし、実世界での間隙知覚と比較すると明確さに劣ったため、人間が間隙の判断に用いている要素のさらなる検討が必要である。

今後の課題として、第5章で行った実験のより統計的な検証や、人間が用いている間隙知覚システムのより詳細な検討が挙げられる。

謝辞:最後に、本研究を行うにあたり多大なるご指導及びご協力を頂いた指導教員の伊藤一之教授に心より感謝申し上げます。また研究、実験にご協力いただいた知能ロボット研究室の皆様へ感謝いたします。

## 参考文献

- 1) W. H. Warren Jr and S. Whang "Visual guidance of walking through apertures: body-scaled information for affordances" *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 13(3) pp 371-383 (1987)
- 2) T. Higuchi, Y. Seya and K. Imanaka "Rule for Scaling Shoulder Rotation Angles while Walking through Apertures" *PLOS ONE* 7(10) e48123 (2012)
- 3) Lee D. N. "The optic flow field: the foundation of vision" *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 290 pp 169-179 (1980)
- 4) H. Takase and K. Ito "Velocity estimation from visual information using environmental property" *Proc. of INTELLI* 2014 pp 118-122 (2014)
- 5) H. Takahashi and K. Ito "Perception of an aperture based on average distances among objects: Development of a simulator to examine the validity of the proposed hypothesis" *International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB)* pp 127-130 (2018)
- 6) R. Ikeno and K. Ito "Collision estimation using single camera" *Proc. of the INTELLI* 2014 pp 114-117 (2014)