

## 背景の変化を利用した間隙の知覚：視覚情報を点群を用いて再現するシミュレータの開発

TAKAHASHI, Hirotaka / 高橋, 大空

---

(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・工学研究科編

(巻 / Volume)

59

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

4

(発行年 / Year)

2018-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00021564>

# 背景の変化を利用した間隙の知覚

## 視覚情報を点群を用いて再現するシミュレータの開発

PERCEPTION OF AN APERTURE USING VARIATION OF BACKGROUND IMAGE  
DEVELOPMENT OF A SIMULATOR TO REPRODUCE VISUAL INFORMATION BY MULTIPLE DOTS

高橋大空

Hiroataka TAKAHASHI

指導教員 伊藤一之 教授

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

Real creatures can act quickly in a complex real environment and pass in between objects without crashing. They have no distance sensor, and cannot measure the exact size of gaps. They can only use the relative size of objects in the image obtained by their eyes. Nevertheless, they can estimate whether their body can pass through a gap or not using only visual information. In Ikeno and Takase works, to explain this ability, they made a hypothesis that the average distance among objects in an environment is utilized to estimate the size of gaps. In this study, we developed a simulator of visual information to demonstrate the validity of our proposed approach. The output image of this simulator consists of many dots, and information on the object size is removed. We confirmed that we can perceive a gap from the motion of the dots.

**Key Words** : perception of aperture, visual information, single camera

### 1. はじめに

人間をはじめとする、実世界に生きる生物は、日常生活などの複雑な環境の中でも素早く行動することができる。生物にとって、間隙を知覚し、それを自身の身体が通り抜けることができるか判断する能力は非常に大事な能力である。生物は距離センサを持たず、間隙の正確な大きさを測定することはできない。それにも関わらず、生物は目で取得した視覚情報のみを用いて間隙を知覚し、それが通過可能かどうかを判断することができる[1-3]。このメカニズムを説明する為の仮説の一つとして、立体視による知覚が挙げられる。しかし、立体視では対象までの距離が二つの目の間の距離よりも大きい程、計算される距離の精度は悪化してしまう。例えば、対象までの距離が目の間の距離の10倍になった時、わずか1°の視線の誤差によって、測定される対象までの距離には25%程度の誤差が生じてしまう。

立体視以外の方法で間隙を知覚するメカニズムを解明する為、池野、高瀬らはこれまでの研究の中で環境の特徴に注目した[4-5]。物体間の距離の平均は環境に依存し、環境ごとにほぼ一定である。例えば、草原において、木々の間の距離は大きい、森林において、その距離は小さい。このように、距離の平均は環境に依存する。池野は、この

特徴を利用することで、間隙の大きさはその平均距離を用いて表現することが可能であることを示した。

そこで、本研究では、人間が実際にこの間隙の知覚の方法を利用しているか確かめる為、シミュレータを開発した。通常、人間は間隙の知覚に物体の形状、大きさ、肌理の視覚情報を用いていると考える。その為、物体の形状、大きさ、肌理の情報を画像上から削除する。まず三次元環境上の物体を、多量の点の集合として扱う。距離によって幾つかの点を二次元の画像に投影する。そして、間隙を通過する様子を映し、映像にする。これらの機能を持ったシミュレータを開発した。このシミュレータによって生成される映像は、三次元環境上の物体から投影された点のみで構成される。よって、静止状態では物体の大きさや形状、奥行きなどの三次元的情報を知覚することは不可能となる。それにも関わらず、物体から投影された点の動きのみで環境に存在する物体は知覚され、物体の成す間隙は知覚されることを確認する。

### 2. 画像から間隙を知覚する際の問題

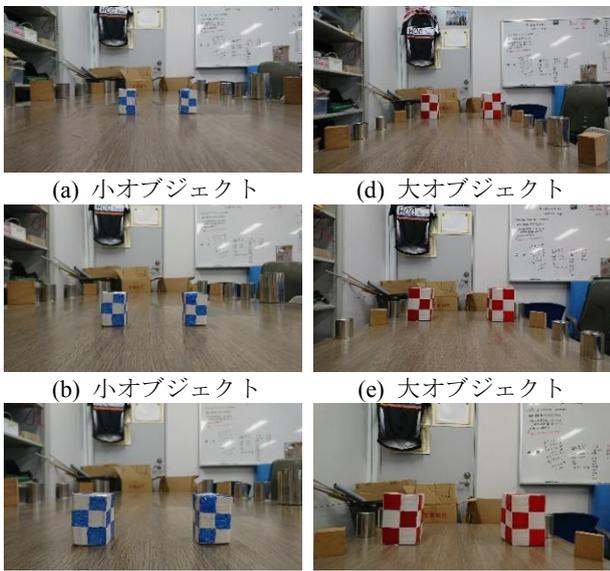
一般的に、画像上に映る間隙のみを手掛かりに、実際の間隙の大きさを知ることはできない。図1に示す大きさの異なる2組のオブジェクトを用意した。大きいオブジ

エクトは、小さいオブジェクトの4倍の大きさである。



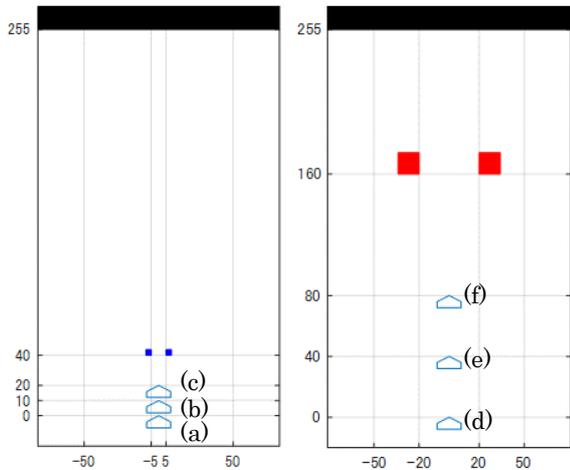
図1 使用する2組のオブジェクト

しかし、カメラの位置を調整すると、画像に映るオブジェクト間の間隙はほぼ等しくなる。その時の撮影された画像を図2に、撮影したカメラの位置関係を図3に示す。



(a) 小オブジェクト (b) 小オブジェクト (c) 小オブジェクト (d) 大オブジェクト (e) 大オブジェクト (f) 大オブジェクト

図2 カメラ視点からの画像



小オブジェクトの撮影位置 大オブジェクトの撮影位置  
図3 カメラとオブジェクトの位置関係

図3の枠線で示した五角形がカメラの撮影位置である。また、黒の部分は壁である。それぞれの画像上に映る間隙

の大きさはほぼ等しい。よって、画像上の間隙のみを手掛かりに、実際の間隙の大きさを知ることは不可能であり、生物は他の視覚情報も利用して間隙を知覚していると考えられている。

ここで、画像の背景にある環境内の物体に注目する。小さいオブジェクトの画像と大きいオブジェクトの画像とでは、カメラの位置によって背景に存在する物体の画像上の像の拡大率が異なっている。例えば、画像(d)から(f)の拡大率は画像(a)から(c)の拡大率より大きいことがわかる。この背景にある物体の画像上での拡大率を利用することで、間隙の大きさを知覚可能であると考えられる。

### 3. 間隙の知覚

物体間の平均距離は環境に依存し、環境ごとにほぼ一定である。これまでの研究では、このことを利用することで、間隙の大きさを表現可能であることが示されている[4-5]。以下に詳細を述べる。

#### (1) 環境の特徴を利用した視覚情報からの速度知覚

図4に環境のモデルを示す。

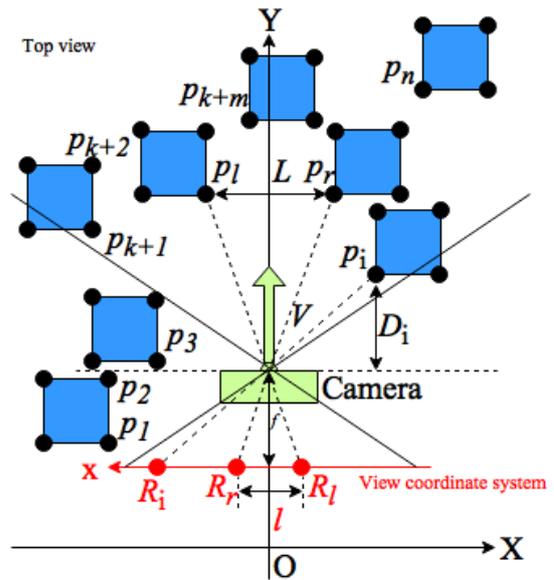


図4 速度知覚の環境モデル

カメラは絶対座標系の Y 軸に配置される。環境上に静止しているオブジェクトが複数存在し、オブジェクトの  $i$  番目の特徴点を  $p_i$  とする。  $n$  は特徴点の総数である。  $R_i$  はカメラ座標系における  $i$  番目の特徴点の像であり、  $f$  はカメラの焦点距離である。  $D_i$  はカメラと  $i$  番目の特徴点との Y 軸方向の距離である。  $p_{k+1}$  から  $p_{k+m}$  はカメラ映像に映る範囲に存在する特徴点である。それらの特徴点とカメラとの Y 軸方向の距離の平均を  $\bar{D}$  とする。この環境で、カメラを Y 軸方向に  $V$  の速度で動かす。この時、カメラの速度  $V$  は式(1)で表すことができる。

$$V = \frac{\bar{D}}{m \sum_{i=k+1}^{k+m} \frac{R_i}{R_1}} \quad (1)$$

また、 $\bar{D}$ は式(2)で表現される。

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=k+1}^n D_i \quad (2)$$

ここで、 $\bar{D}$ は未知なので、 $\bar{D}$ の推定値を $\hat{D}$ とする。実環境の性質より、 $\bar{D}$ は同じ環境内において大きく変化しない為、 $\hat{D}$ は式(3)の通りに表現することができる。

$$\hat{D} = \frac{1}{m} \sum_{i=k+1}^{k+m} D_i \quad (3)$$

式(1)から式(3)より、式(4)を得ることができる。

$$V = \frac{\hat{D}}{\frac{1}{m} \sum_{i=k+1}^{k+m} \frac{R_i}{R_i}} \quad (4)$$

## (2) 環境の変化を利用した間隙の知覚

図4に示す通り、 $L$ は絶対座標系における間隙の大きさであり、 $l$ はカメラ座標系における間隙の大きさである。上記の条件下では、間隙 $L$ の大きさは $l$ 、 $f$ 、 $V$ を用いて式(5)の通りに表現することができる。

$$L = \frac{l^2}{i} \times \frac{1}{f} \times V \quad (5)$$

また、 $l$ は式(6)(7)で表現される。

$$l = R_r - R_l \quad (6)$$

$$\dot{l} = \dot{R}_r - \dot{R}_l \quad (7)$$

式(4)から式(7)を整理することで、式(8)を得られる。

$$L = \frac{(R_r - R_l)^2}{\dot{R}_r - \dot{R}_l} \times \frac{1}{f} \times \frac{\hat{D}}{\frac{1}{m} \sum_{i=k+1}^{k+m} \frac{R_i}{R_i}} \quad (8)$$

式(8)より、カメラに映る特徴点の変化のみから、実際の間隙 $L$ を知覚することができると考えられる。

## 4. シミュレータの開発

式(8)より、間隙 $L$ は点 $R$ とその変化量 $\dot{R}$ から表現できる。人間がこの $R$ と $\dot{R}$ で間隙を知覚されるかを確かめる為、この点の動きを再現するシミュレータを開発する。

このシミュレータでは、まず映像から物体の大きさや形状の情報を削除する為に、三次元環境モデル上の物体を多量の点の集合として扱い、二次元の映像にその点のみを投影する。また、通常、物体がレンズに近付くと、映像上ではその物体は拡大し、点の密度は減少する為、肌理は粗くなってしまふ。そこで、このシミュレータでは、投影される点の数を物体とレンズ間の距離に応じて変更することで、映像に投影される点の密度を維持する。これにより、生成される映像内の投影される点の密度は図5の様、距離に関係無くほぼ一定になる。この状況下で、対象の間隙に向かって前進する。前進することで、投影され

る点の密度はほぼ一定だが、各々の投影される点が移動し、また新たに発生する。図6と図7に三次元環境から二次元映像を出力する環境モデルとそのフローチャートを示す。

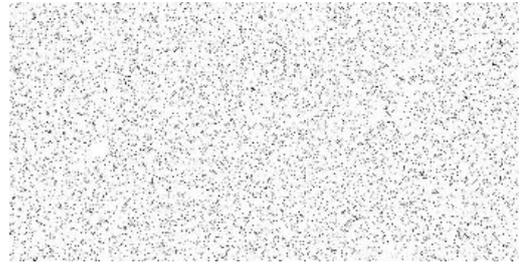


図5 生成される映像の例

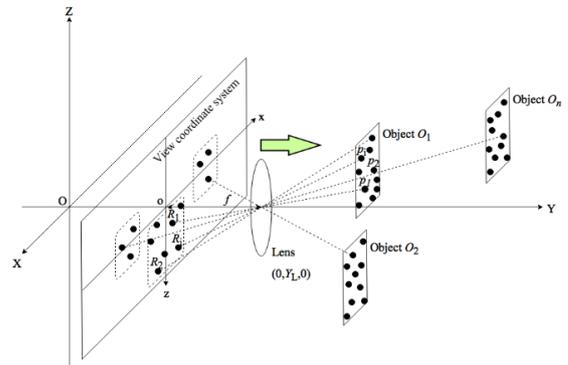


図6 シミュレータの環境モデル

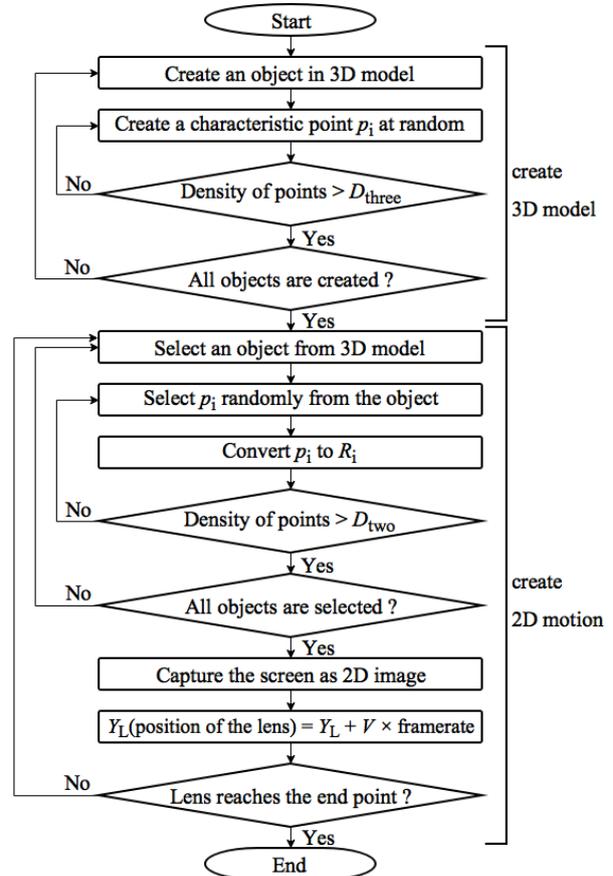


図7 フローチャート

## 5. 実験

開発したシミュレータから生成された映像を用いて、環境の物体から投影された点の動きから間隙を知覚されるか確認する。知覚される間隙の大きさの比較の為、三次元空間上では間隙の大きさは異なるが、二次元映像上では間隙の大きさは同じに映る様に、2つの設定を用意した。二十代の成人男性10人に対して実験を行った。図8と図9に実験環境を示す。また、表1に設定を示す。

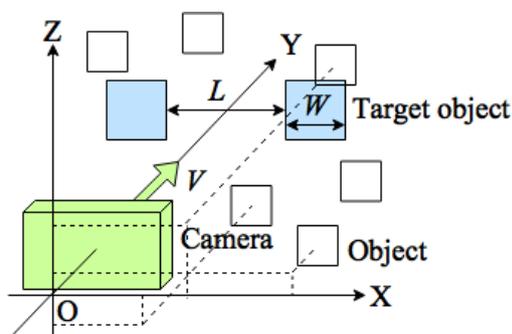


図8 実験環境の定義

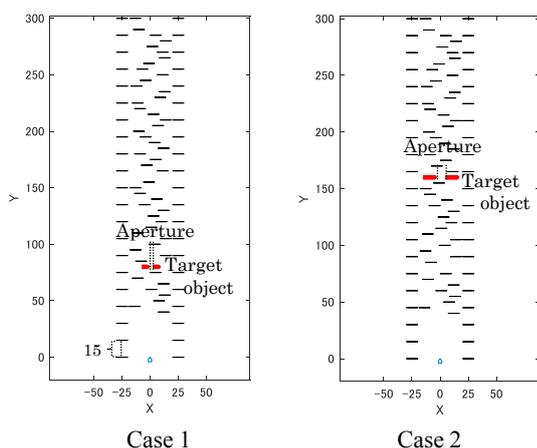


図9 実験環境の上面図

表1 シミュレータ設定

Case	case 1	case 2
目標物体の成す間隙の大きさ $L$ [m]	5	10
目標物体の大きさ $W$ [m]	5	10
カメラの速度 $V$ [m/s]	12	24
カメラの高さ $H$ [m]	0	0
カメラの焦点距離 $f$	1	1
物体の総数 $n$	150	150
環境上における $1\text{ m}^3$ あたりの特徴点密度 $D_{\text{three}}$	160	160
映像上における $1\text{ pixel}$ あたりの特徴点密度 $D_{\text{two}}$	0.014	0.014
映像の大きさ [pixel]	481×871	481×871
1秒あたりにおけるフレーム数	30	30

図9の太線は目標物体を示し、細線は背景となる物体を表す。背景となる物体は、大きさ  $H 100 \times W 10$  の長方形であり図9に示す様に等間隔に配置されている。それに加え、 $H 10 \times W 10$  の正方形の物体を  $X = [-20, 20]$  ,  $Y = [30, 300]$  ,  $Z = [-50, 50]$  の範囲でランダムに50個配置した。また、最奥部  $Y = 1000$  には大きな物体があるとし、

多量の点が  $X-Z$  平面上に配置されている。初期位置としてカメラを原点に配置し、目標物体の成す間隙に向かって  $Y$  方向に前進する。

完成した映像は、静止状態では投影された点が無秩序に散在しているということ以外に得られる情報は無く、三次元環境に関する情報を得ることは不可能だった。それにも関わらず、被験者全員が映像上の投影された点の動きから、物体の大きさ、形状、遠近感等の三次元的情報を知覚し、目標物体の成す間隙が知覚されることが確認された。

## 6. まとめ

本研究では環境ごとに物体間の平均距離が一定であることを利用して、人間が間隙を知覚できるか確かめる為に、その環境を点群として再現するシミュレータを開発した。このシミュレータは、人間が従来間隙の知覚に用いていると考えられる物体の大きさ、形状、肌理の視覚情報を削除した映像を生成する。このシミュレータから生成された映像を用いて、環境の物体から投影された点の動きから間隙を知覚できるか確認する実験を行った。その結果、静止状態では三次元環境に関する情報は得られないにも関わらず、点が動きだした瞬間から、人間は間隙を知覚可能であることが確認された。しかし、三次元空間上では異なるが、映像上では間隙の大きさは同じに映る場合、知覚される間隙の大きさに有意な差は認められなかった。今後の課題は、この知覚される間隙の大きさに差が生じない原因を明らかにすることである。

謝辞：最後に本研究を進めるにあたり度重なるご指導を頂いた指導教員の伊藤一之教授に心より感謝致します。また、本研究に関する実験に協力してくださいました研究室の皆様へ感謝致します。

## 参考文献

- 1) J. Gibson, "The perception of the visual world (Westport, (T: Greenwood)", 1950, pp. 93–168.
- 2) J. Gibson, "The ecological approach to visual perception," Houghton Mifflin, Boston, 1979, pp. 121–278.
- 3) W. Warren, Jr. and S. Whang, "Visual guidance of walking through apertures: Body-scaled information for affordances," Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 1987, 13, 3, pp. 371–383.
- 4) H. Takase and K. Ito, "Velocity estimation from visual information using environmental property," Proceedings of the INTELLI 2014, 2014, pp. 118–122.
- 5) R. Ikeno and K. Ito, "Collision estimation using single camera," Proceedings of the INTELLI 2014, 2014, pp. 114–117.