

環境に存在する物体の距離の平均を利用した 間隙知覚

IKENO, Ryunosuke / 池野, 竜之介

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・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 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

57

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

5

(発行年 / Year)

2016-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00013020>

環境に存在する物体の距離の平均を利用した間隙知覚

THE PERCEPTION OF APERTURES USE OF AVERAGE DISTANCE FROM OBJECTS IN THE ENVIRONMENT

池野竜之介

Ryunosuke IKENO

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

Autonomous vehicles that operate in complex dynamical environments have attracted considerable attention in recent years. Avoiding obstacles and perceiving affordances for aperture crossing is one of the important and basic functions of autonomous vehicles. Perception of aperture passability is obtained by calculations that use information from distance sensors. This approach is effective. On the other hand, the mechanism to obtain the perception of aperture passability is very different from that of animals. Animals can act quickly find a perception of aperture passability. They have no distance sensor. But they are nonetheless able to do so is still an open question.

In this paper, We proposed the perception apertures use of the average distance from objects in the environment. And we showed the effectiveness of the proposed method throughout the simulation experiment.

Key Words : Perception, Through aperture, Avoid obstacle,

1. はじめに

近年、ロボットの活動の場は既知環境から災害現場などの未知環境へと変わっており、未知環境においても適応的に振る舞うことのできるロボットの研究に注目が集まっている。その中で障害物との衝突回避を自律的に行うロボットが多く開発されている。従来の移動ロボットの多くは、レーザーレンジファインダーなどの距離センサーを用いて周囲の環境を把握し、それをもとに自身の行動を決定している[1,2].

一方、生物はこのような距離センサーを用いることなく衝突回避を行うことができる。これは生物が実世界の環境の性質をうまく利用しているからだと考えられている[3,4]. その中で本研究では生物の間隙通過について着目した。

生態心理学の分野において、人間の間隙通過行動の実験が多くされてきた。その一例として Warren の間隙通過実験があげられる[5]. 間隙が肩幅の 1.3 倍以上のとき、人が間隙を通過可能と判断していることを、Warren は実験結果から証明している。Warren はこの比の知覚方法として視線の高さが重要ではないかと言及している。しかし人は車いすに座り、視線の高さが変化した場合でも間隙知覚ができています[6-9]. そして、人が間隙知覚を可能としていることは証明されているが、その詳しいメカニズムは未だ解明されてはいない[10].

そこで本研究では、環境の性質を利用することで、視覚情報のみを用いた間隙通過知覚方法を提案する。自身で模擬環境を作成し、カメラから得られた画像を用いて間隙の知覚ができるか実験することで有用性を示す。

2. 従来研究

Warren & Whang は水平方向に開く間隙と肩幅の関係について研究した。人が何をもとにして肩を回転させずに間隙通過可能と判断しているのかについて調べた[5].

低身長 5 人と高身長 5 人の計 10 人を対象にし、2 枚の仕切り板を組み立てて、戸口のような間隙をつくり、その間隙を通過するよう指示した。

間隙は 35[cm]から 90[cm]まで、5[cm]間隔の 12 種類用意され、被験者は普通と速い速度でそれらを通過した。この実験を通して、被験者の肩幅と被験者が肩を回転させずに通り抜けられる幅の臨界点との関係を調べた。その結果、肩幅を $S[m]$ 、幅の臨界点を $A[m]$ としたときに、人は

$$\frac{A}{S} > 1.3 \quad (1)$$

の場合、肩を回転させずに間隙を通過可能と判断していることが実験データを通して証明された。

また、他の実験を通して人は地面と物体との接地点か

ら自身の目線の高さを用いて、間隙通過判断を知覚していることが証明されている。

しかし、人間の間隙通過実験は他に多く行われている。それらの中に車いすを使い、目線の高さが変化する場合の実験や、バーのようなものを持ち自分の横幅が普段と異なる場合の実験がある[6-9]。人は車いすやバーのようなものを用いることで、一時的に体の大きさが変化した場合でも、普段と変わらず間隙知覚が可能である。もし人は間隙知覚に目線の高さを用いているのなら、間隙を誤認すると考えられる。よって、人は必ずしも目線の高さを用いていないことがわかる。

3. 提案手法

図1の(a), (b)のように、グローバル座標系とカメラ座標系を定義する。カメラはy軸上を一定の速さで動き、移動体の向きは図1(b)のように定義する。

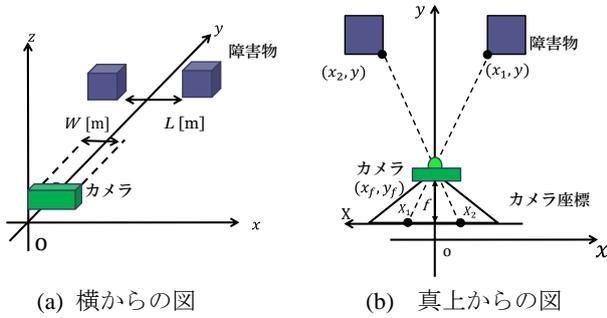


図1 グローバル座標系における移動体と障害物の位置

それぞれの座標から間隙と障害物までの距離を以下のように定義する。

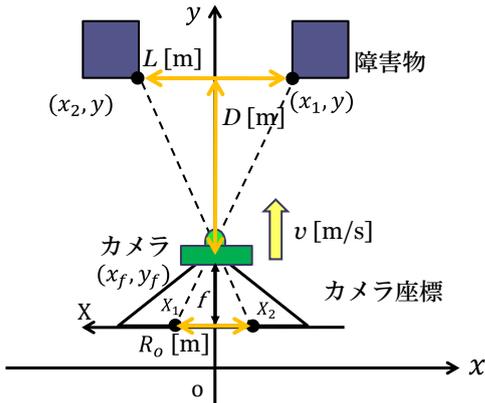


図2 幅と距離の定義

$$L = x_1 - x_2 \quad (2)$$

$$D = y - y_f \quad (3)$$

$$R_o = X_1 - X_2 \quad (4)$$

三角形の相似より

$$R_o = \frac{f \times L}{D} \quad (5)$$

(5)式を微分すると

$$\dot{R}_o = \frac{f \times L}{D^2} \times -\dot{D} \quad (6)$$

$$-\dot{D} = v \quad (7)$$

(6)を整理し(5)式に代入すると(8)が得られる。(8)式より、画像に写る障害物の位置と変化量と自身の速度を用いることで、間隙を知覚できることができる。

$$L = \frac{R_o^2}{R_o} \times \frac{1}{f} \times v \quad (8)$$

また従来の研究により、自身の速度は画像に写る背景の変化から推定できることが分かっている[11]。以下にその詳細を示す。

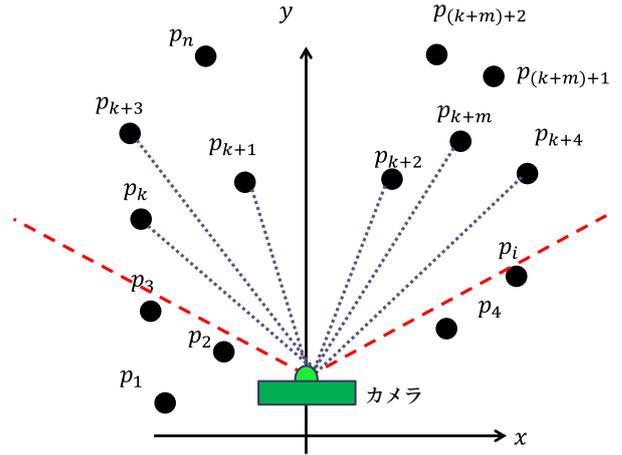


図3 障害物までの平均の距離

図3の波線はカメラの視野である。画像に写る $p_i(x_p, y_p)$ について考える。画像に写る p_i のx座標を R_i 、 p_i までの距離を D_i とすると、三角形の相似より(9)式が得られる。

$$R_i = f \frac{x_p}{D_i} \quad (9)$$

(9)式を微分すると(10)式が得られる。

$$\dot{R}_i = -f \frac{x_p}{D_i^2} \dot{D} \quad (10)$$

(9)を(10)で除算し、整理することで(11)式が得られる。

$$D_i = -\frac{R_i}{\dot{R}_i} \dot{D}_i \quad (11)$$

障害物はそれぞれ静止した状態であるため障害物までの

距離の変化量は自身の速度と等しくなる。

$$v = -\dot{D}_1 = -\dot{D}_2 = \dots = -\dot{D}_i = \dots = -\dot{D}_n \quad (12)$$

(11)式と(12)式より, (13)式が得られる。

$$D_i = \frac{R_i}{R_i} v \quad (13)$$

そして視野内にある p_{k+1} から p_m までの総和をとることで, (14)式が得られる。

$$\sum_{i=k+1}^m D_i = v \sum_{i=k+1}^m \left(\frac{R_i}{R_i}\right) \quad (14)$$

また視野の中にある障害物までの平均の距離を \bar{D} とする。この値は, 実環境の性質である同じ環境内であれば大きく変わることがない。よって, 一定の値 \hat{D} として扱うことができる。

$$\hat{D} \approx \bar{D} = \frac{1}{m} \sum_{i=k+1}^m D_i \quad (15)$$

(14)と(15)式により自身の速度はその環境における障害物までの平均距離と τ マージンの平均を用いることで推定できると考えられている。

$$v \approx \hat{v} = \frac{\hat{D}}{\frac{1}{m} \sum_{i=k+1}^m \frac{R_i}{R_i}} \quad (16)$$

本研究で提案した式(8)と式(16)を用いることにより, 視覚情報のみで間隙知覚ができると考える。

$$L \approx \hat{L} = \frac{R_o^2}{R_o} \times \frac{1}{f} \times \frac{\hat{D}}{\frac{1}{m} \sum_{i=k+1}^m \frac{R_i}{R_i}} \quad (17)$$

4. 模擬環境における実験

今回の提案手法が実環境において適応可能であることを示すために, 模擬環境を用いて実験を行う。自分で色を付けた箱を用意し, 背景と障害物のある道を作成した。そしてカメラを搭載した観測車をレールに乗せ走行させた。

実際の画像を用いた場合, 処理に時間がかかってしまうためオフラインで実験を行った。

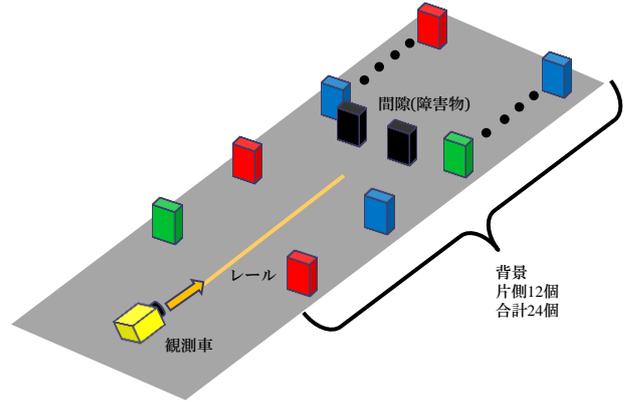


図4 実験環境

■ 実験方法

間隙, 観測車を走らせた距離と速度, 背景の間隔などを以下のように設定した。また観測車を黄色い点線間を走行させた。走行時間は4.46 [s]であった。

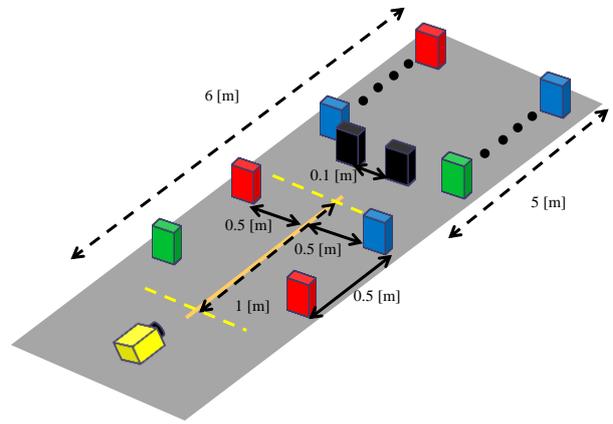


図5 模擬環境の設定

表1 模擬環境の設定表

走行距離	1 [m]
走行時間	4.46 [s]
速度	0.22 [m/s]
障害物までの距離(横方向)	0.5 [m]
背景間の距離	0.5 [m]
間隙の長さ	0.1 [m]
間隙から背景最後尾までの距離	5 [m]
背景の長さ	6 [m]

今回使用したカメラの視野角は 30° であった。カメラから 30° 付近にある背景の変化量の10%に満たないものを計算から除外するため, カメラから 5° 以内にある背景は計算の対象外とした。その結果カメラに写る背景の最大距離が5 [m]となったので, 1 [m]直進後も背景の情報を取得できるよう, 計6 [m]まで背景を用意した。

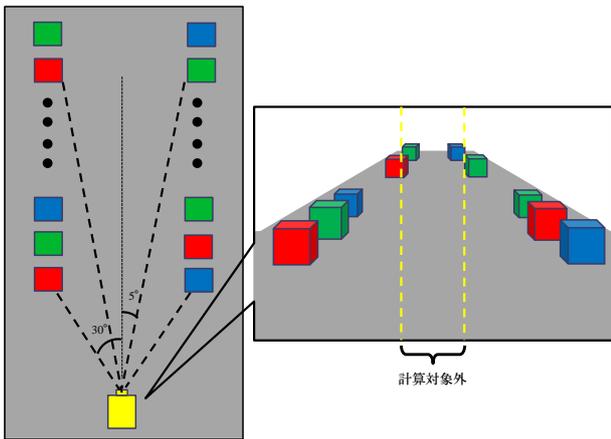


図6 視野角の設定

また間隙を作っている黒い物体はブロックマッチング法を用いて物体認識を行った。背景については赤、青、緑を抽出し輝度値の変化が最も大きい場所をエッジ検出した。検出したエッジを用いて、背景の τ を測定した。

実験結果

実験結果を以下に示す。

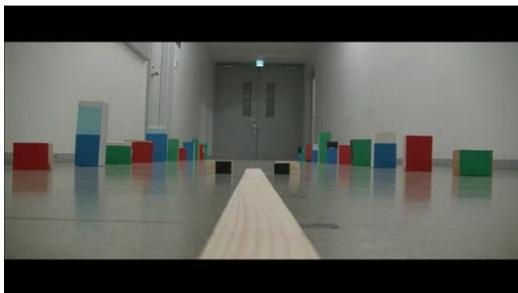


図7 実験により得られた動画

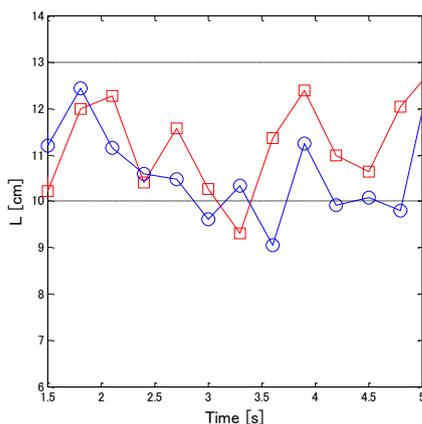


図8 間隙知覚の結果

図8の青色のグラフは速度を画像情報から取得するのではなく既知として間隙を測定した場合である。赤は背景から速度を検出し提案手法を用いた場合のグラフである。中央の黒い線は理論値である10 [cm]と人間の安全マージンである13 [cm]を表している。動画内の中央下に見られるものは、観測車を可能な限り直線に移動させた

めのレールである。

考察

1 [s]付近は走行開始直後で速度が安定していないことや、障害物を正確に認識できていないことが原因と考えられるため結果を省いた。また5 [s]以降においては障害物に近づき観測車が速度を落としたため結果の対象外とした。

丸のプロットのグラフは(8)式を用いた場合であり、見かけ上の間隙と速度の理論値を用いて実際の間隙を測定したものである。四角のプロットのグラフは(17)式を用いたものであり、見かけ上の間隙と画像に写る背景から速度を推定した値を用いて、実際の間隙を測定したものである。

丸のプロットグラフにおいて約10 [%]の誤差が見られた。これはレールを手動で動かしているため、実際の速度は一定でないことが原因と考えられる。

四角いプロットのグラフにおいて観測車の速度が安定し、かつ τ の平均値に大きな変動のない1.5 [s]から5 [s]の間では理論値である10 [cm]に近い値を検出することができている。しかし、今回の実験では誤差は最大で30 [%]程度であった。これは視野から背景が入り出すことによる τ の平均値が変動したためである。

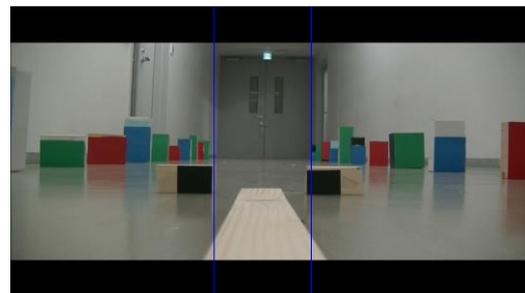


図9 視野内に背景が入る瞬間

測定範囲に背景の出入りがない場合、 τ の平均値は徐々に小さくなる。そして視野内に背景が入った瞬間、 τ の平均値は大きくなる。これを繰り返すため、測定した間隙も上下した結果となった。誤差はこの測定範囲に背景が入り出すことや、遠くの背景において、変化量が十分でなく正確な τ が検出できなかったことに起因するものであり、人間が普段歩行している環境では最大誤差は30 [%]程度であると考えられる。

この結果はWarrenらによって報告されている、「被験者は、間隙の幅が肩幅よりも30 [%]程度大きい場合、通り抜けられると知覚する」という結果と一致しており、この意味からも興味深い。

5. まとめ

本研究では生物がどのようにして間隙通過行動を行っているかについて着目し、環境に存在する物体間の平均距離を用いた間隙知覚方法を提案した。そして、提案手法の有用性を検討するため、模擬環境での実験を行った。

模擬環境での実験においても同様に、障害物までの距離を把握することなしに環境の性質を利用することで、間隙知覚が行えたと考える。

しかし、今回行った模擬環境は自身で作成した規則的な背景である。よって今後は物体間の平均の距離は同じだが背景の配置を不規則にした状態での実験を行っていかうと考える。また実際の画像を用いた場合、処理に非常に時間がかかった。これは画像に写る背景の情報も処理する必要があったためである。生物は間隙知覚においてこのような長い処理時間は必要としていないため、処理の軽減は今後の大きな課題である。

将来的には車にカメラを搭載し、実際の環境下において実験を行い、自律的に間隙知覚を行うロボットを作成したいと考える。

謝辞：最後に本研究に際して多大なるご指導、ご協力をいただいた法政大学理工学部伊藤一之准教授、伊藤研究室の方々から感謝いたしております。また、今後の皆様のご健闘を願うとともに、法政大学における各研究で、本論文がほんのわずかながらでも参考になればと願うものであります。

参考文献

- 1) 三浦純, ロボットの認識・行動計画とアルゴリズム, 情報処理学会研究報告 巻2007号(92), pp. 33-40, 2007
- 2) U. Ozguner, C. Stiller, and K. Redmill, "Systems for safety and autonomous behavior in cars," The DARPA Grand Challenge experience. Proceedings of the IEEE, 2007, vol. 95, 2, pp. 397-412.
- 3) D. N. Lee, "The optic flow field: The foundation of vision," Phil. Trans. Royal Soc. London B, vol. 290, no. 1038, pp. 169-179, 1980.
- 4) K. Kaneta, Y. Hagiwara, and K. Ito, "Determination of time to contact and application to timing control of mobile robot," Robot. Biomimetics, pp. 161-166, 2010.
- 5) Warren Jr, William H., and Suzanne Whang. "Visual guidance of walking through apertures: body-scaled information for affordances." Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, year. 1987, Vol. 13, No.3, pp. 371 - 383
- 6) Higuchi, Takahiro, et al. "Visual estimation of spatial requirements for locomotion in novice wheelchair users." Journal of Experimental Psychology: Applied, March 2004, Vol. 10.1, pp. 55-66.
- 7) Wagman, Jeffrey B., and Kona R. Taylor. "Perceiving affordances for aperture crossing for the person-plus-object system." Ecological Psychology, 2005, vol. 17.2, pp. 105-130.
- 8) Yasuda, Masaaki, Jeffrey B. Wagman, and Takahiro Higuchi. "Can perception of aperture passability be improved immediately after practice in actual passage? Dissociation between walking and wheelchair use." Experimental brain research, mar 2014, vol. 232.3, pp. 753-764.
- 9) Higuchi, Takahiro, et al. "Locomotion through apertures when wider space for locomotion is necessary: adaptation to artificially altered bodily states." Experimental Brain Research, October 2006, Vol. 175.1, pp. 50-59.
- 10) 中村浩. "履物が異なるポイント・ライト・ウォーカーの歩行動作特徴とその知覚について." 北星学園大学短期大学部北星論集 第10号. 2012年3月. pp. 1-11.
- 11) Hitoki Takase, Kazuyuki Ito, "Velocity Estimation from Visual Information using Environmental Property", Proc. of The Third International Conference on Intelligent Systems and Applications (INTELLI2014), June 22-26, 2014, Seville Spain, pp. 118-122