

液晶シャッターメガネを用いた位相差制御による 実空間における移動体のサイズ変換

Controlling perceptual dimension of a moving real object using
High-speed liquid crystal shutter for human eye

穴井佑樹¹⁾, 小泉直也¹⁾, 古川正紘¹⁾, 稲見昌彦¹⁾
Yuki ANAI, Naoya KOIZUMI, Masahiro FURUKAWA, Masahiko INAMI

1) 慶応義塾大学大学院 メディアデザイン研究科

(〒223-8526 神奈川県横浜市港北区日吉 4-1-4, {anai|koizumi.naoya|m.furukawa|inami}@kmd.keio.ac.jp)

概要: 本研究では, 実空間の物体に対し, 高速なシャッターを用いて視覚情報を時間選択的に受容可能とする液晶メガネを用いて, 両眼の左右に視覚を提示するタイミングを制御し, 移動体の大きさ知覚の変化について調べた. 実験では, 提案システムの効果を確認するために, 高速で移動する物体に対し, 左右の視覚提示タイミングを変化させた. 実験の結果, 物体の大きさ知覚が変化する事を確認することが出来た.

キーワード: vision, high-speed shutter, perceptual dimensions

1. はじめに

人間は, 視覚, 聴覚, 触覚, 味覚, 嗅覚といった様々なセンサを持ち合わせており, それらを統合的に処理することで身の回りに起きている現象を知覚している. 視覚においては, センサである左右の眼を用いて一つの視覚像として認識し, 奥行きや形などの知覚をする.

また, 視差を変化させることで物体の奥行きやサイズ知覚に対し影響を及ぼす事が知られている. 近年では, この技術を用いて映画や 3D テレビといった産業において実用化が試みられている. しかしながら, これらの技術は特定の映像コンテンツにのみ適用されており, 実空間での適用事例は多くない.

そこで, 本研究では実空間の物体に対し, 高速でシャッター制御可能な液晶メガネを用いて両眼の位相差を時間で制御し, 立体視による物体の知覚サイズ変換を行なう.

2. 関連研究

2.1 シャッターメガネによる視覚情報の制御

本研究で用いる Stop Motion Goggle(以下, SMG)(図 1)は, 永谷ら[1]によって開発された強誘電性液晶 (FLC: Ferro-electric Liquid Crystal)の ON/OFF によって視覚情報を制御する装置である. 同様の効果を実現している研究としては, Nike 社の Sparq Vapor Strobe[2]があるが, 制御可能な速度が限られる. 一方 SMG は極めて短い時間幅(1ms 未満)でシャッターを開閉制御が可能のため, 実験の自由度が高い. このため, 本研究では SMG を採用した.

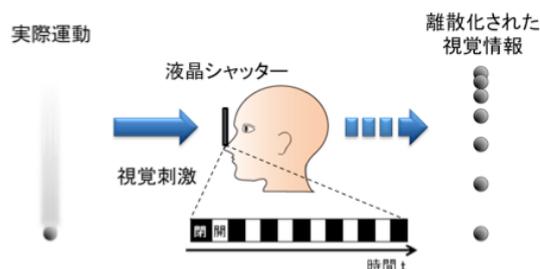


図 1. SMG の概念図([1]より引用)

2.2 両眼視差が奥行きに与える影響

左右の肉眼から入力された視覚情報を融像する事によって, 一つの視覚像として認識できる事は, ランダムドットステレオグラム(RDS)により確認できる. RDS は, 単眼情報では変化は見受けられないが, 両眼で観察する事により, 視差から輪郭が形成され, 奥行きを知覚する.

この両眼視の効果は立体視覚像の設計にも広く用いられている. 左右の肉眼にそれぞれ異なる視点の映像を準備する事で両眼視を実現する手法は近年では映画館などにも利用され, 一般的になってきている.

David[3]らは, スリットを用いて左右の肉眼に与える情報の時間幅がどの程度まで許容できるかについて実験を行なっている. この研究によると, 視覚の短期記憶の許容幅であるとされる 100ms 以下であれば概ね融像可能であるとしている. これらの知見を考慮し, 本研究においても両眼視差は 100ms 以下になるように設計する.

3. 提案手法

SMGで制御可能なパラメータとしては、図3に示すようにシャッターの開放周期、開放時間、及び左右のシャッター開放の位相差の3つが考えられる。開放時間に関しては関連研究[1]で、開放周期に関しては関連研究[4]で実施されており、本研究では位相差に関して研究を行った。

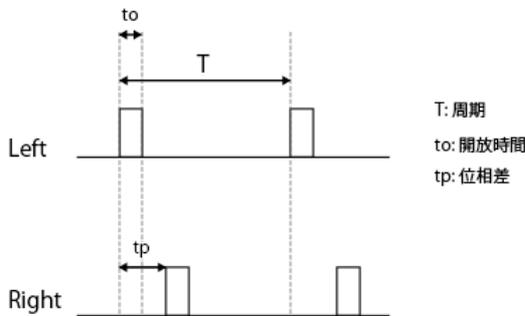


図3. SMGで制御可能なパラメータ

本研究では、両眼のシャッター時間を制御し視差を作る事で、実空間における移動体の知覚サイズを変換する手法を提案する。図2にシステム構成を示す。

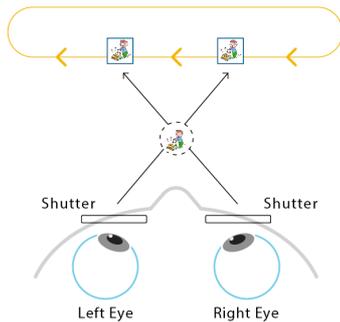


図2. システム構成図 (左先行開放の場合)

左右のシャッターを制御する事により、視覚の提示タイミングが制御できる。この左右間の時間差を制御する事で、物体の知覚サイズを変化させる。左側シャッターを先に開放した場合、融像位置が手前になり小さく感じ、右側シャッターを先に開放した場合、融像位置は奥になり大きく感じる。OGLE[5]は、両眼の露出時間及び露出タイミングの時間差による奥行き知覚への影響を研究し、左右の露出のタイミングが100ms以上になると立体視ができなくなると報告している。本研究では、この知見に基づき、SMGの左右の開放タイミングの時間差は100ms以下の範囲で実験を行なった。

4. 設計

本研究では、視差から飛び出し量を計算する。飛び出し量の計算として、簡易的なモデルを検討するために、移動体が体験者の正面で移動している理想的な条件をもとに、計算をおこなった。まず始めに、瞳孔間距離(interpupillary

distance)を D_{IPD} 、出現位置と右瞳孔間距離を p とする。各変数の条件を図4に示す。図4より、 $D_{IPD} = S + 2p$ において、下記の式(1)が得られる。

$$p = D_{IPD} - L \tan\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (1)$$

ここで、 $S = D_{IPD} - 2p$ に式(1)を代入すると、以下が得られる。

$$\tan\left(\frac{\beta}{2}\right) = \frac{S + D_{IPD}}{2L} \quad (2)$$

また、 L' を底辺とした場合、下記の式(3)が得られる。

$$\tan\left(\frac{\beta}{2}\right) = \frac{D_{IPD}}{2L'} \quad (3)$$

式(2)(3)から、視差 S が変化した際の飛び出し量は以下の式から得られる。視差 S が大きくなるにつれ、 L' の値が小さくなり、観測者の手前に来ることが分かる。

$$L' = \frac{D_{IPD} - L}{D_{IPD} + S} L \quad (4)$$

マーカーの拡大率については、基準となるマーカーのサイズを m_0 、算出したいマーカーのサイズを m_1 とすると、下記より計算する。

$$m_1 = \left(\frac{L' - L}{L} + 1\right) m_0 \quad (5)$$

視差距離 S (ターゲットの移動距離)は位相差を p_s 、マーカーの移動速度を v とおくと以下の式で得られる。なお、本稿では p_s の位相差を両眼シャッターの開放時刻の差とする。

$$S = p_s v \quad (6)$$

また、シャッターの開放時間については永谷ら[1]の実験により、高速移動体に対して視認性が高いという結果を得た1.2ms以下になるように設計した。

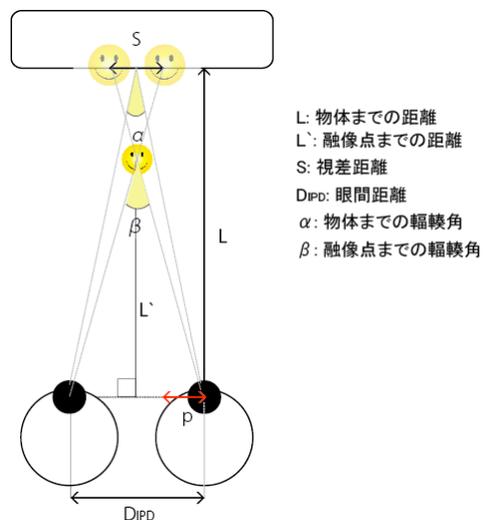


図4. 研究に用いる定数および変数

5. 予備実験: サイズ変換の知覚

予備実験では、提案手法により移動体の知覚サイズの変換が可能か検証した。検証方法は、位相差 0%の状態での移動体のサイズと、位相差 1%の状態での移動体サイズについて、変化があるか回答する方式とした。

移動体から被験者までの距離については、明視距離である 25cm より遠くなるように条件を設定した。

予備実験では、移動体は白色の正方形の中心にランドルト環を印刷したものを利用した。その後、白色の正方形のみにしたところ、認識精度が低下する傾向が見受けられた。本研究では実験条件統一のため白色の正方形のみで検証を行なう事にした。予備実験中に最も効果的に飛び出す感覚を提示できた条件を元に、マーカーのサイズ、移動体の速度、提示する周波数を設定した。

6. 実験: SMG を用いた移動体の知覚サイズ変換

6.1 実験目的

本実験の目的は、SMG を用いた位相差制御による実空間における移動体の知覚サイズ変換である。

本実験では、高速で移動するマーカーに対し、左右の視覚提示タイミングを変化させる。その際、同じ距離に、元のマーカーとサイズが異なるものを幾つか用意し、移動中のマーカーがどのサイズが一番近いかに答えてもらう(図 5)。回答項目は正方形 1 辺の長さを、①20.5mm、②23.5mm、③26.5mm、④29mm、⑤31mm とした。サイズの設定は次項の条件および式(4)(5)をもとに行なった。

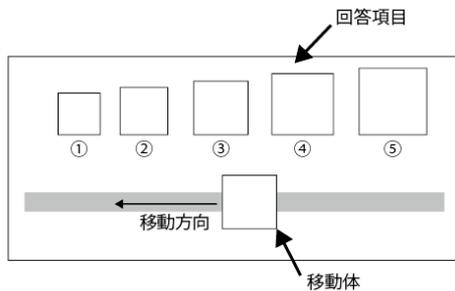


図 5. 回答イメージ

6.2 実験手順および条件

本実験では、パラメータとして左右の位相差(シャッターは右先行開放)を利用して、以下の条件で実験を行なった。実験は各試行を順不同に 4 回行い、合計 20 回試行する。なお、飛び出し量については眼間距離を 60mm と仮定して計算を行なった。

- | | |
|---------------------------|--------------|
| • 条件① 位相差: 1.6%(14.2ms) | ... 拡大(+16%) |
| • 条件② 位相差: 1.1%(9.7ms) | ... 拡大(+12%) |
| • 条件③ 位相差: 0%(0ms) | ... 変化なし |
| • 条件④ 位相差: -1.0%(-9.7ms) | ... 縮小(-12%) |
| • 条件⑤ 位相差: -2.0%(-17.7ms) | ... 縮小(-20%) |

また、共通条件は下記の通りである。

- 周期: 1.1 Hz(909 ms)
- デューティー比: 99.9%(1 ms)
- 物体までの距離: 260 mm
- 移動体速度: 844 mm/sec
- マーカーのサイズ: 26.5 mm

ここでのデューティー比とは、シャッターが閉じている時間の事をさす。本実験では左右ともに 0.1%(1ms)で統一した。ステッピングモータの移動速度は予備実験に基づいた設定を行なった。なお、予備実験においては白色の正方形のみのマーカーよりも白色の正方形に黒文字を記入したものの方が大きく知覚される傾向にあった。この黒文字の影響が不明瞭であり、設計項目として検討できないため、実験の移動体には白色の正方形のマーカーを採用した。物体の距離までについては、顎台で固定する事で距離がブレないように実験を行なった。

被験者は 10 名で、裸眼もしくは矯正後の視力が 0.7 以上を対象とした。また、事前に各被験者に対し立体盲テスト(半田屋 ニューステレオテスト)、眼間距離の計測を行なった。眼間距離の平均値は 62mm で、標準偏差は 2.4 であった。

6.3 実験装置

実験装置は、図 6 に示すように、ステッピングモータおよびタイミングベルト上に配置されたマーカー、ステッピングモータ制御用基板によって構成される。

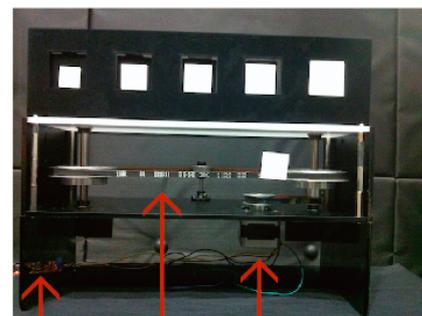


図 6. 実験装置

• 回転制御

移動体は、ステッピングモータの回転運動をベルトとプーリーを介して変換された直線運動を利用して回転させた。ステッピングモータ制御用基板では、EiBotBoard を用いて制御を行なった。尚、ステッピングモータには ST-42BYG020 (MERCURY MOTOR 社) を使用した。

• 照明条件

移動体を知覚しやすくさせるため、暗所にて撮影用照明であるハロゲンランプ (FV-BSL3200) で対象物を照らし実験を行なった。これは、照明に蛍光灯を使用すると、フ

リッカが起きてしまう現象を防ぐためである。マーカー部分の照度は320Luxであった。

6.4 実験結果

図5に実験結果を示す。縦軸は回答率を、横軸は拡大率を示している。

条件⑤の時に意図した回答率が低い点については、選択肢が端にあるため選びづらかった、などが考えられる。また、10人中2人は位相差がない時に関わらず、条件④に対応する回答項目を選択していた。これは、図6の位相差0%における15%の部分に対応する。そこで、条件③の時の回答項目を基準とし、条件④⑤の際に拡大を選択した割合、条件①②の際に縮小を選択した割合を再計算した。

図8に示すように、相対的に拡大しているようには8割強感じ、相対的に縮小しているようには7割程度感じるとの回答が得られた。縮小の割合が多少低い理由については、条件③と④の間くらい、つまり0.5%程度縮小しているように感じるとの曖昧な回答を正答率から省いているためである。

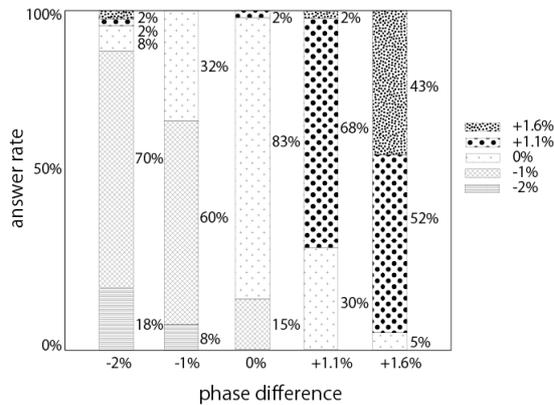


図7. 拡大率に対する回答

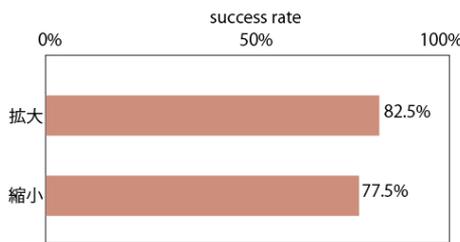


図8. 基準値からの変化に対する回答率



図9. 実験風景

7. 考察

ある被験者は左右に伸びる部分については理解できるが、上下にも伸びているように感じたと回答した。更に、上下が拡大する事が不思議だと述べていた。この点については、マーカーの種類を正方形だけでなく長方形を用いる事で上下方向に対する伸びに関する検証を行なう。

本実験の最中に、位相差を実験値より更に大きくしたところ、マーカーが完全に分離し、二つの物体として認識される事が確認された。これは、先行研究で記されていた時間幅より十分に大きい時間を設定した場合、融像不可能だったためであると考えられる。

8. 結論

本研究では、液晶シャッターメガネを用いた位相差制御による実空間における移動体のサイズ変換に関して研究を実施した。その結果、物体の拡大・縮小を位相差のみで制御する事ができた。しかし、条件①のように、本研究で狙った変化量より小さいと感じる回答も得られ、これについては実験条件を再考する必要がある。

今後の展望としては、本研究で設計した拡大率がどの範囲で適用可能かを求めていきたい。

謝辞 本研究は科研費 MEXT/JSPS(23680012)「光学式時空間フィルタによる速度知覚調整システム」の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 永谷直久, 古川正紘, 杉本麻樹, 稲見昌彦: Stop Motion Goggle: 高速液晶シャッターを用いた視知覚の拡張, 情報処理学会論文誌, Vo.53, No.4, pp. 1319-1327, 2012.
- [2] Ryan Coulter, Michael Collier, Phil Frank, Alan W. Reichow, Karl M. Citek. Zone switched sports training eyewear. US, Patent 7828434, Nov 9, 2010.
- [3] DAVID C. BURR, JOHN Ross: How Does Binocular Delay Give Information About Depth, Vision Research, Vol. 19, pp. 523-532, 1979.
- [4] Naoya Koizumi, Nagaya Naohisa, Masahiro Furukawa, Maki Sugimoto and Masahiko Inami: Stop Motion Goggle: Augmented visual perception by subtraction method using high speed liquid crystal, Proceedings of the 3rd Augmented Human International Conference, Article No. 14, ACM, 2012.
- [5] KENNETH N. OGLE: Stereoscopic Depth Perception and Exposure Delay between Images to the Two Eyes, JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, Vo l. 53, No. 11, pp.1296-1304, 1963.