

# 空中に保持したカメラの感覚的スタビライゼーション

Sensory stabilization of handheld camera

佐藤淑美<sup>1)</sup>, 松江里佳<sup>1)</sup>, 橋本悠希<sup>1)</sup>, 梶本裕之<sup>1)</sup>

Yoshimi SATO, Rika MATSUE, Yuki HASHIMOTO, Hiroyuki KAJIMOTO

1) 電気通信大学大学院 人間コミュニケーション学専攻

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {yoshimi, r\_matsue, hashimoto, kajimoto}@kaji-lab.jp)

**Abstract:** “Motion blur” that is a typical problem for camera have been recently solved by various compensation technologies, such as mechanical compensation, electrical compensation, and computer vision technique. On the other hand, subjective “feeling of stability” during camera operation is almost as important as the resultant unblurred image. To achieve this goal, we propose to add a rotary-switch-like feeling on the handheld camera. We make “lock” and “release” states along the camera’s rotational axis both visually and haptically. The camera frame over the viewfinder is locked and released along the rotation, while haptic impulse is generated at the release moment. Through these techniques, the handheld camera is subjectively stabilized.

**Key Words:** *Haptic Illusion, Fusion of visual and haptic, Multimodal, Haptic Augmented Reality, Camera, Stabilization*

## 1. はじめに

カメラにとって古典的な問題であった「手ブレ」は、現在様々な補正技術により解決されている。しかし、補正技術によって「手ブレ」のない撮影結果が得られても、撮影の段階でカメラの位置を思い通りに定めることは、三脚などを使わない限り難しい。利用者は、撮影された画像を見て確かめるまで安心できないというのが現状である。したがって撮影の結果がブレないことと同等以上に、撮影操作中にブレないことを利用者が体感できることは重要である。

ファインダ越しに見える画像の枠と被写体のなす角度は、撮影の構図を決める際に重要な手がかりとなる。シャッターを押す際にカメラに生じる回転方向のブレや、そもそも人間がカメラを構えたまま静止できないことによる水平からの構図の崩れが、利用者に撮影時の不安感を与えている大きな原因と予想される。したがって、カメラの角度が安定していると利用者が感じられれば、撮影中の不安感は解消される。本研究の目指すところは、一定の角度で回転させることによって接点が切り替えられるロータリスイッチのような操作感を、空中に保持したカメラに付与することによる感覚的な安定化である(図1)。

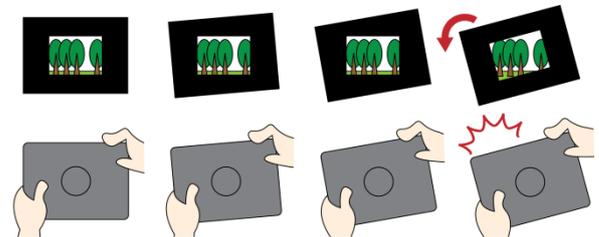


図1. ロータリスイッチのような操作感のあるカメラ

## 2. 関連研究

モータなどのアクチュエータの制御によるロータリスイッチのような操作感の提示は、多様な力覚フィードバックを生成することができるため、触覚による情報提示に応用されている[1]。本研究ではこのロータリスイッチに特有の周期的な衝撃感覚を「カチカチ感」と呼ぶことにする。本研究では空中に保持した物体に対して、「カチカチ感」を付与する手法を提案する。

提案するシステムは空中で操作するカメラであるので、モータの静的なトルクを利用することはできない。ジャイロモーメントを用いて力を取り出すことも考えられるが[2]装置の大型化が課題となる。この問題を解決するために有望と思われる、視覚によって誘導される触覚の錯覚が知られている。Lecuyerらは、触覚入力デバイスの

並進運動と適切な視覚的フィードバックを同時に用いることで、視覚誘導性錯覚を利用者に与えることができると述べている[3]。また望山らは、本物のハンドルの位置にラバーハンドがついたダミーハンドルの視覚イメージを重ねることで、ハンドル操作のような回転運動に対しても同様に、視覚イメージを操作するだけで利用者が感じる硬さを変化させられることを示した[4]。

視覚によって触覚的操作感を錯覚させることは可能である。したがって同時に触覚刺激としては、抵抗感が変化する際に生じる衝撃感のみを与える。ハンドヘルドデバイスにおける姿勢入力を利用した、衝撃感提示の研究はいくつかおこなわれているが[5][6]、直観的な情報の提示が主なテーマであり、視覚の齟齬による錯覚を用いた操作感の提示はなされていない。

### 3. 提案手法

提案手法の概要を図 2 に示す。

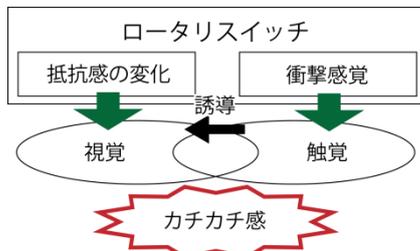


図 2. 提案手法の概要

「カチカチ感」は周期的な操作方向に対する抵抗感の変化と、それに伴う衝撃感覚の2つの要素から構成されているといえる。しかし、空中に保持した状態では、操作方向の抵抗を変化させるという触覚的な部分の再構成は難しい。そこで、視覚的な誘導によって触覚に抵抗感を錯覚させることを試みる。視覚的な誘導の手法を以下に示す。

- カメラの回転に追従して画像の枠が逆回転し、多少のブレならば利用者には常に水平がロックされているように見える。
- 意図的にカメラを回転させたときも、水平がロックされていることで画像の枠を回転させられず、視覚的な抵抗感が生まれる。
- カメラが一定角度以上回転すると、ロックされていた水平が解放され、現在の角度に再ロックされる。このとき視覚的な抵抗感に急激な変化が起こる。

ロックが解除される瞬間の衝撃感覚は、視覚的な効果だけでは表現しにくく、さらに触覚との関係性を強調するため、カメラに直接衝撃を与えて利用者の手に触覚的な刺激を与える。このロックが解除される瞬間の視覚と触覚の同期は、視覚誘導性錯覚に非常に重要である。

### 4. 実装

本研究で構築するシステムを図 3 に示す。システムは入力部、制御部、視覚提示部から構成されている。

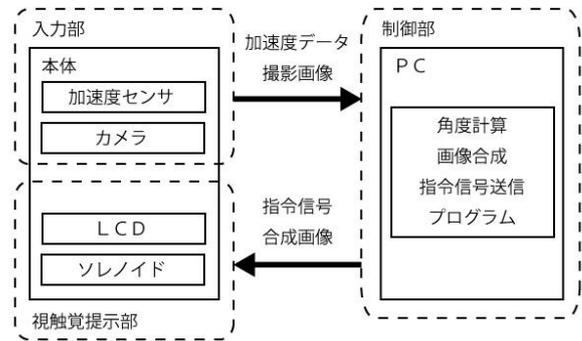


図 3. システム構成

#### ● 入力部

加速度センサによって本体の水平方向の加速度を、カメラで撮影画像を取得する。

#### ● 制御部

加速度センサで取得した値から、求めた傾きに応じて画像の枠がロック・ロック解除されるように枠の回転角を補正する。またロックが解除されるタイミングでは、ソレノイドに指令信号を出力する。枠の回転角補正手順については、4.1 節で詳しく述べる。補正された枠は撮影画像と合成される

#### ● 視覚提示部

合成された画像をLCDに表示する。利用者は本体にはめ込まれた凸レンズ越しに画像を見る。ソレノイドによる衝撃は、本体を通して利用者の手に伝わる。

図 4 はプロトタイプ外観と、横から見た断面図である。

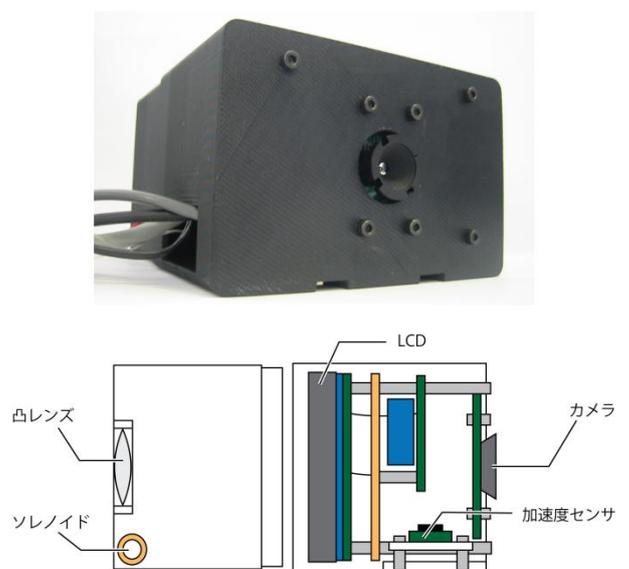


図 4. プロトタイプ外観と断面図

#### 4.1 視覚提示部

- 光学系の利用

利用者が錯覚を起こすためには利用者自身の手が見えないことが重要である。そこで、利用者は本体に開けられた直径19mmの穴を通して、ファインダをのぞきこむようにLCDに表示された画像を見る。これで画像のみが視界に入るようにできるが、眼とLCDの距離が近すぎると焦点があわなくなるため、凸レンズを通して距離約5.8cmにある3.5インチのLCDを、像面距離約25.6cmに飛ばした。画像の枠はLCDの中心に表示し、枠のサイズは画角約21度とした。図5はレンズ越しに見えるLCDの画面である。



図 5. レンズ越しに見えるLCDの画面

- 画像の枠の回転角補正手順

水平に対する本体の傾きを $\theta$ とおく。水平に対する画像の枠の傾きが $\theta_s$ にロックされるように補正したい。ロックされる角度 $\theta_s$ は、ロータリスイッチでいうところの接点にあたる。本体の傾き $\theta$ の値によって $\theta_s$ は毎回更新される。 $\theta_s$ からロックが外れるまでの角度、すなわち次の接点までの角度を $\Delta\theta_s$ とすると、更新後の $\theta_s'$ は次の式で表される。

$$\theta_s' = \begin{cases} \theta_s + \Delta\theta_s, & \theta \geq \theta_s + \Delta\theta_s \\ \theta_s - \Delta\theta_s, & \theta \leq \theta_s - \Delta\theta_s \\ \theta_s, & \theta_s - \Delta\theta_s < \theta < \theta_s + \Delta\theta_s \end{cases} \quad (1)$$

また、本体に対する画像の枠の補正角度 $\theta_f$ は次の式で求められる。

$$\theta_f = (-1) \times (\theta - \theta_s') \quad (2)$$

以上を図示したものを、図6に示す。

#### 4.2 触覚提示部

視覚的なロックが外れるタイミングは、式(1)において $\theta \geq \theta_s + \Delta\theta_s$ または $\theta \leq \theta_s - \Delta\theta_s$ となった瞬間である。視覚的に画像の枠の角度が変化したこの瞬間に、利用者に触覚的な衝撃が伝わるようにソレノイドを駆動する。ソレノイドの配置を図7に示す。

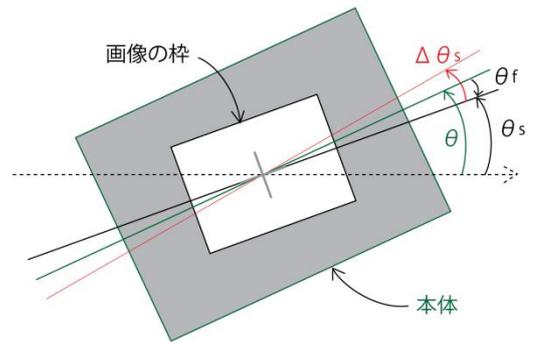


図 6. 画像の枠の角度補正方法



図 7. ソレノイドの配置

### 5. 実験

錯覚を利用した操作感の実現には、視覚と触覚の刺激が同期していると利用者が感じられることが重要である。そこで、第4章で製作したプロトタイプについて、指令信号に対するLCDの画面更新とソレノイドの衝撃それぞれの時間遅れを測定した。一般的に、触覚に比べ視覚のほうが、反応速度が遅い。先行研究[7]では、視覚に対して40msec未満の遅延であれば、視覚と触覚がほぼ同時に感じることができると報告されている。

#### 5.1 測定方法

測定は、机の上に衝撃吸収材を置き、その上にプロトタイプ本体を乗せた状態で行った。ソレノイドに指令信号を送り、同時にLCDに表示される画像の枠を黒から白に切り替えた。LCDにはフォトトランジスタを取り付け、画面の明暗の変化によって起こる電圧の変化から、LCDの遅延時間を測定した。ソレノイドの衝撃が本体に伝わる遅延時間は、加速度測定用に取り付けてある加速度センサの値の変化から測定した。

#### 5.2 測定結果

測定結果の例を図8のグラフに示す。測定結果より、指令信号を出してからソレノイドが駆動するまでの遅延は無視できる程度であったが、LCDの画面更新は指令信号から約45~52msecの遅延があることがわかった。

そこで、画面の更新はこれまでの通り行い、ソレノイドへの指令信号を約52msec遅らせて同様に測定した結

果の例を図 9 のグラフに示す。

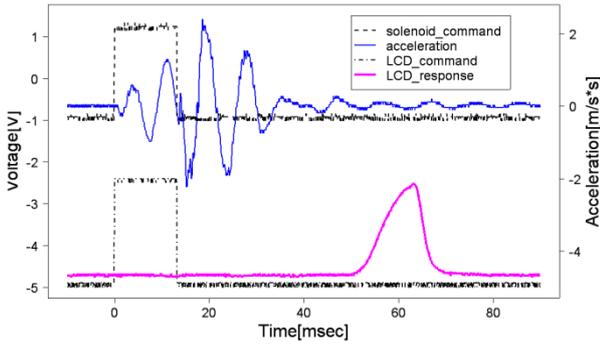


図 8. LCD の遅延時間補正前の波形の例

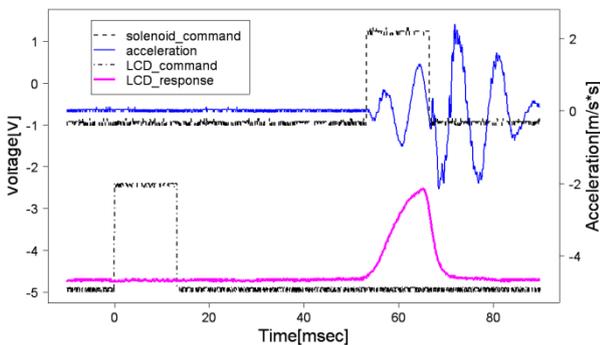


図 9. LCD の遅延時間補正後の波形の例

測定の結果、LCD の画面更新の立ち上がりとソレノイドの駆動の時間差をから約 10msec 以下に抑えることができた。ソレノイドの衝撃が視覚刺激に対して 40msec 未満の遅延に納まったので、製作したプロトタイプは視覚と触覚がほぼ同時に利用者に提示できるといえる。

## 6. おわりに

本研究では、視覚誘導性錯覚を利用して空中に保持したカメラの感覚的な安定化をもたらす操作感付与の手法を提案した。提案に基づき製作したプロトタイプでは、LCD の更新とソレノイドによる衝撃の時間的なずれを、利用者がほぼ同時だと感じる範囲に収めることができた。

しかしながら、画像の更新に時間がかかるためプログラム 1 周期の時間が LCD に依存する。そのためカメラを素早く回転させると本体の角度に対する時間遅れが目立ち、利用者に違和感を与える可能性がある。ただ画像の枠を回転角に合わせて回すだけで視覚的な誘導は可能であるので、枠を機械的に回転させるような機構を用いれば時間遅れの問題を有効に解決できると考えられる。

また、今回は触覚的には衝撃のみを表現し、触覚で提示できない部分には視覚誘導性錯覚を利用した。しかし実験結果からもわかるように、ソレノイドが駆動する方向に並進加速度が発生してしまっている。ロータリス

イチの抵抗感の変化は、回転加速度の変化であるので、並進加速度の影響を取り除かなければさらなるリアリティは得られられない。そこで、本体の左右両側に 2 個ずつ、それぞれ逆向きに計 4 個取り付け、図 10 のように順回転の方向に二本のソレノイドを同時に駆動する。この方法によって、ソレノイドによって生じる並進加速度をカメラの重心を中心とした回転加速度として利用できることが予想される。

以上の点を踏まえてプロトタイプを改良し、今後は心理物理実験による提案手法の評価を行う予定である。

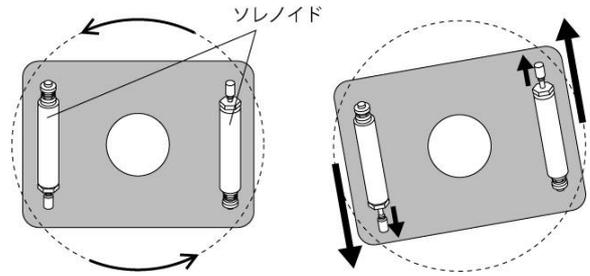


図 10. ソレノイドの加速度による抵抗感の変化

## 参考文献

- [1] M. Badesc, C. Wampler, and C. Mavroidis : Rotary Haptic Knob for Vehicular Instrument Controls, Proc. of the 10th Symp. on Haptic Interfaces for Virtual Envir. & Teleoperator Sys. (HAPTICS'02), 2002.
- [2] M. Sakai, Y. Fukui, N. Nakamura : Effective Output Patterns for Torque Display "GyroCube", ICAT 2003, pp.160-165, 2003.
- [3] A. Lécuyer, S. Coquillart, A. Kheddar, P. Richard and P. Coiffet, "Pseudo-Haptic Feedback : Can Isometric Input Devices Simulate Force Feedback?": IEEE Int. Conf. on Virtual Reality, pages 83-90, New Brunswick, US, 2000.
- [4] H. Mochiyama, A. Sano, N. Takesue, H. Fujimoto : Discrepancy Method for Operation Feel Display Using Body Image Illusion , World Haptics Conference, 2007.
- [5] Y. Sekiguchi, K. Hirota, M. Hirose : Haptic Interface Using Estimation of Box Contents Metaphor, Proc. ICAT2003, pp.197-202, 2003.
- [6] H. Yao, V. Hayward. : An Experiment on Length Perception with a Virtual Rolling Stone. EuroHaptics 2006, 2006.
- [7] 松井信也, 井村誠孝, 安室喜弘, 眞鍋佳嗣, 千原國宏 : 直動式ソレノイドを用いた撃力提示デバイス, 日本VR学会第 8 回大会論文集, pp.29-32, 2003.