



# 映像遅延および空間情報を制御可能な 手の高速撮像・投影システムの構築

蛭間友香<sup>1)</sup>, 早川智彦<sup>1)</sup>, 石川正俊<sup>1)2)</sup>

1) 東京大学 (〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1, hiruma@ishikawa-vision.org)

2) 東京理科大学 (〒162-8601 東京都新宿区神楽坂 1-3, ishikawa@ishikawa-vision.org)

**概要:** 没入環境における身体感覚と視覚情報の差異がユーザーパフォーマンスに与える影響を評価するため, 本研究では先行研究で開発された映像遅延制御装置に加え, 新たに空間情報を制御可能なシステムを構築した. カメラ画像から撮像された手を抽出・背景色で上書きし, CG に置き換える画像処理を行い, OpenCV と HALCON では, 後者が 10 倍高速で適切なことを明らかにした. システムの最短遅延時間は約 10ms であり, 様々な没入システムの仕様設計への利用が期待される.

**キーワード:** 高速画像処理, 映像遅延, 高速プロジェクタ

## 1. はじめに

近年, VR や AR 等の XR 環境が普及しつつあるが, XR 環境に使用されるデバイスにおいて, 特に身体感覚と視覚情報の差異はいわゆる「VR 酔い」[1]だけでなく, タスクパフォーマンスの低下といった問題を引き起こすため, 十分考慮した仕様設計が必要である[2,3]. 門脇ら[4]によって最短 4.3 ミリ秒の遅延で 1000fps の映像を提示できる映像遅延装置が開発されたが, カメラに取得された手の映像を無編集で出力することで, 遅延時間の最小化を実現していたため, 任意の遅延を提示する時間情報の編集のみが可能であった. そのため, CG の描画や異なる人の手に変えるといった空間情報の編集ができず, それらを用いるインタラクティブシステムの仕様設計に活用できなかった.

そこで, 本研究では遅延時間を最小帯域に抑えたまま, 空間情報を編集可能とすることで, 遅延時間を含む時空間情報を同時にパラメータによって制御するシステムの構築を目指す.

## 2. 最小遅延 4.3ms, 1000fps の映像遅延制御装置

システムの概要を図 1(左)に示す. 高速カメラで撮像された被験者の手とタブレットを入力画像とし図 1(右)に示す. 装置は主に高速カメラと高速プロジェクタによって構成され, 装置の利用者は撮像された自身の手を, PC で任意の遅延時間制御をかけられた上で, プロジェクタの映像として見る. この際自身の手と映像として見る手のアングルや光路長が同一となるよう, 光学設計を実施した. タッピング動作に関する被験者実験を行った結果, 44.3ms より遅延が大きいきにタスクパフォーマンスの低下が生じることが明らかになった.

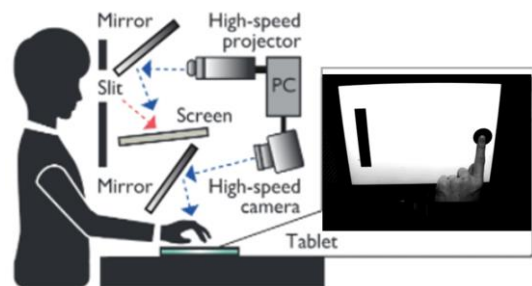


図 1: (左) システム概要図 (右) 検証に使用する入力画像

## 3. 手の領域抽出・上書きに関する高速画像処理検討

2章の装置に映像編集機能を加えるため, まず画像処理ライブラリの選定を実施した. 具体的に, 学術研究に用いられることの多い OpenCV (Version 4.5.0) と産業用途が多い HALCON (13.0.0.2) を選定し, 高速性の比較を行った.

どちらのライブラリを使用した条件でも, 撮像された手が含まれた画像を用いて, ①手の領域を抽出, ②手領域を周辺の背景色で上書きという 2 工程から成るアルゴリズムとし, 一連の処理時間を最小化可能な手法を追求した. なお, ②の処理後に手の CG モデルの描画を行うが, 両ライブラリを用いないため, 今回の比較対象外とした. なお, Intel 社製 Core i7-6700 を搭載した Windows 10 の PC を使用し, 本処理では GPU を使用しなかった.

実装の結果, 表 1 に示されるように, OpenCV に比べ HALCON は 10 分の 1 以下の速度で手領域の抽出と上書きの処理が可能だとわかり, HALCON では 2 工程を合計しても約 2.4ms しかかからなかった. それだけでなく, 図 2 で比較されているように, 手領域抽出の精度も HALCON

の方が正確に行うことができたため、手領域の上書き後に元の手領域が残らない結果となった。

表 1: 画像処理ライブラリ毎の手領域の画像処理時間

|              | OpenCV | HALCON |
|--------------|--------|--------|
| ①手領域の抽出[ms]  | 4.31   | 0.43   |
| ②手領域の上書き[ms] | 25.92  | 1.96   |
| 合計[ms]       | 30.23  | 2.39   |

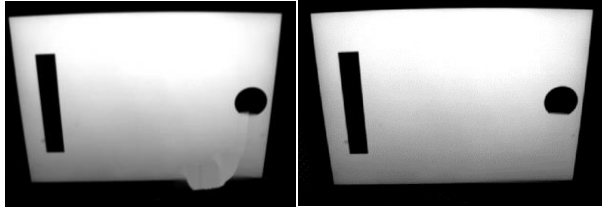


図 2: 手の領域上書き後の様子  
(左)OpenCV 利用時, (右)HALCON 利用時

#### 4. GPU を利用した手の CG モデルの描画処理

3章で処理された画像に対し、手の CG モデルを描画するにあたり、GPU や解像度毎の速度の比較を行った。

まず、オープンソースの手の 3DCG モデルを用意し、描画ライブラリとして VTK ライブラリ (OpenGL) を利用した。

入力画像に対し、GPU ボードに入力画像と手のモデルを転送して描画させ、描画済み画像をメインメモリに転送する。この際、処理を高速化するため、Pixel Buffer Object (PBO) を使用し、DRAM と V-RAM 間を DMA 転送とした。CG で描画されるモデルは、手領域の重心に合わせた位置を基準とし、任意サイズ・位置・角度で表示可能とすることで、空間情報に関する条件が変化した場合の指標を得やすい設計とした。描画する際の画像サイズは、プロジェクトの出力解像度である 1024×768 と、カメラ解像度である 2336×1728 でそれぞれ計測した。

実装の結果、装置で出力された CG モデルの様子を図 3 に示す。これにより、装置の利用者の視点で見たとき、自身の本来の手の位置に CG モデルの手を表示できただけでなく、空間情報に関する各パラメーターの制御や、手以外にも異なる描画コンテンツへの拡張も可能である。

また、描画処理時間に関して各条件で計測した結果を表 2 に示す。その結果、NVIDIA Quadro P2000 での描画時間が 3.47ms(288fps)であることがわかった。これは、NVIDIA GeForce GTX750Ti と比べて Quadro P2000 が CUDA Core 数やクロック周波数が高いことに依ると考えられ、GPU ボードのスペック向上に反比例して、より短縮可能である。

これらの結果より、システム本来の最小遅延時間 4.3ms に加えて手の領域抽出および上書きの 2.39ms と CG 描画の 3.47ms を加えて、遅延時間の最小時間が合計 10.16ms になることがわかった。この値は、VR 酔いはおろか、タスクパフォーマンスの低下が起こるとされる 44.3ms と比べても十分短い時間である。

#### 5. まとめ

本研究により、高速性が要求される画像処理の一事例と

表 2: GPU と画像サイズ毎の CG 描画時間の比較

|                  | 画像サイズ    |           |
|------------------|----------|-----------|
|                  | 1024×768 | 2336×1728 |
| Quadro P2000[ms] | 3.47     | 12.95     |
| GTX750Ti[ms]     | 6.25     | 54.32     |

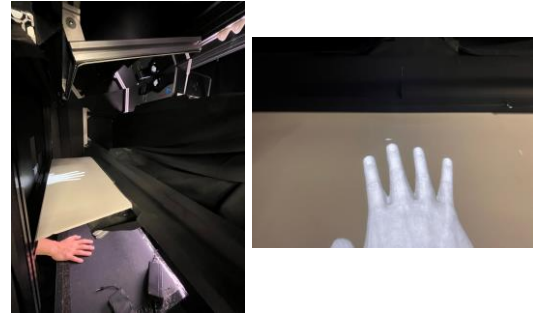


図 3: 映像遅延制御装置に空間制御機能を加えて投影した様子(左)全体像, (右)装置の利用者の視点で見える手の CG

して、手領域抽出や上書き処理において、OpenCV と比べて HALCON の方が 10 倍程度速度の面で優れているだけでなく、処理精度も高いことを明らかにした。また、CG 描画に使用する GPU ボードはコア数やクロック数が高い方が高速だと確かめられた。その結果、映像遅延制御装置に映像編集機能を加える場合でも、1024×768 の解像度で合計 10.16ms の最小遅延量であることがわかり、人のタスクパフォーマンスが低下する遅延時間と比べても短いため、実利用においても律速にはならないと考えられる。

このシステムにより、人の手の動きに合わせた CG の手を利用し、遅延や空間情報に関するパラメーターがパフォーマンスに及ぼす影響の調査が可能となる。今後は、本装置を用いて様々な没入システムの仕様要求の検討に用いられることを目指し、本稿で開発したシステムを用い被験者実験を実施することで有用性を確かめるだけでなく、手の関節を動作させた際の CG モデルのインタラクション追加や、手以外への部位への適用を順次実施する。

#### 参考文献

- [1] Moss, J.D., Austin, J., Salley, J., Coats, J., Williams, K., Muth, E. R. : The effects of display delay on simulator sickness, *Displays*, 4(32), pp. 159-168, 2011.
- [2] Ng, A., Lepinski, J., Wigdor, D., Sanders, S., Dietz, P. : Designing for low-latency direct-touch input; In *Proceedings of the 25th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 453-464, 2012.
- [3] Jota, R., Ng, A., Dietz, P., Wigdor, D. : How fast is fast enough?: a study of the effects of latency in direct-touch pointing tasks; In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 2291-2300, 2013.
- [4] 門脇拓也, 丸山三智佳, 早川智彦, 松澤直熙, 岩崎健一郎, 石川正俊: 身体感覚と視覚情報にずれが生じる没入環境における低遅延な映像のユーザーへの影響, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 24 巻, 1 号, pp.23-30, 2019.