



レーザー光による熱放射を利用した触覚ディスプレイの熱伝達

嵯峨 智¹⁾

1) 熊本大学 (〒 860-8555 熊本市中央区黒髪 2-39-1, saga@saga-lab.org)

概要: 我々は熱放射を利用した触覚ディスプレイを提案している。本ディスプレイは熱放射という光を利用して空間中の掌温度を制御する。そのため、熱画像カメラ、超音波センサ、ハロゲンランプという複数のセンサおよび光源の座標系によるシステムを提案してきたが、提示可能な距離が限定されていた。本稿ではこれまでのハロゲンランプにかわり、レーザー光源を利用した遠隔化におけるレーザー光源の熱伝達と、その制御手法について検討する。

キーワード: Haptic Display, Thermal Radiation, Laser Projection

1. はじめに

現在、スマートフォンの普及とともに触覚技術への期待が増大している。しかし、触覚を介した変形を伴う対象とのインタラクションは力覚ディスプレイなど限定された点での情報提示しか実現できていない。我々是对象との変形を伴うインタラクションのための新たな力覚ディスプレイとして、熱放射を利用した力覚ディスプレイを提案する。

近年、Kinect などジェスチャ入力を可能とするインタフェースの開発により、空間的な入力を支援する枠組みが利用されるようになってきた。Kinect をバーチャルな粘土造形に利用しようという例としては Cho, et al. による Turn [1, 2] などがあげられるが、多くの場合、空間的な入力に対するフィードバックは視覚のみで力覚的なフィードバックがないため、直感性に欠ける部分も存在する。

何も空間に力を感じさせる手法としては、Hoshi, et al.[3]の超音波フェイズドアレイによるインタフェースは手に何も持たなくても応答性の高い力を提示することができるが、提示可能な力が小さい。

我々は、触覚を介した変形を伴う対象とのインタラクションを実現するため、熱放射を利用する手法を提案してきた。熱放射とは、放射される電磁波により伝わる熱である。この熱を制御し、手など皮膚に当てることで応答性の高い熱提示が可能になる。さらに侵害性の刺激を忌避するヒトの特性とあわせて利用することで、熱で忌避する空間を対象の形と認識させること狙う。これにより、これまでのディスプレイでは実現できなかった多自由度かつ拘束なし、高速な応答性をもつ空間知覚を実現する力覚ディスプレイを目指す。これまでに我々は熱放射による空間知覚により、手掛りが空間的に固定された位置に提示可能なこと [4] を実験的に検証した。

しかしながら、ハロゲンランプと集光反射鏡を用いた手法では、提示距離と提示精度に大きな制約がある。そこで本稿では、これら提示距離と提示精度の制約を解決する手

法として、レーザーとガルバノミラーを利用したシステムを提案する。過去、レーザーを用いた触覚提示は Jun, et al. [5] や Ochiai, et al. [6] によって提案されているが、連続的な触覚提示を広範囲で実現することを目的としたものではないため、刺激提示が局所的であった。そこで、これまで我々が培ってきた熱放射の制御手法とあわせて利用することで、より精度の高い情報提示の実現を目指す。

2. レーザとガルバノミラーを利用した熱放射システム

ヒトの温度感覚はいくつかの受容器の応答により成り立っている。それぞれの受容器はそれぞれ受容する温度帯が異なる。そのうちの一つである TRPV1 は熱覚を生起するだけではなく痛覚も生起する。すなわち、温覚から熱覚+痛覚の変化には大きな相変化のようなものが存在する。この相変化を利用することにより、我々は形状情報を提示することを提案する。この相変化がユーザに強い感覚を生起し、自己受容感覚とあわせて提示することにより、我々は力覚の様な情報提示を実現する。

これまで我々は、空気中で熱放射による触覚表現を実現する手法として、ハロゲンランプとジンバルミラーを利用した熱放射システムを構築し、これを精度よく校正する手法を提案してきた。本手法では適切なキャリブレーションにより、ある程度の距離に任意の熱量を放出する制御が可能となる。このためのキャリブレーションとして、これまで以下 2 手法を提案してきた。

- ジンバル機構による放射方向と、熱画像カメラの位置関係のキャリブレーション
- 距離ごとの放射熱量の拡散に応じた、制御電圧のキャリブレーション

しかしながら、反射鏡による集光のため、ある程度以上の距離への熱量の制御が困難である点、より高速での位置制御が困難であることから、今回我々は熱放射源として、レーザー光源を用いる。さらに高速での応答を実現するため、ガル

Satoshi Saga

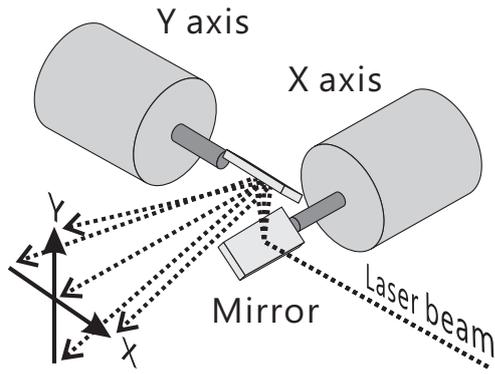


図 1: ガルバノミラーによる投光制御

バノミラーを用いた実装を目指す (Fig. 1). 本手法はレーザープロジェクタなどで広く利用されている方式であるが, これを熱放射を用いた触覚ディスプレイのための技術として確立させることを目指す.

2.1 レーザ光源およびガルバノミラーを用いたシステムの利点

ここでは, ハロゲンランプおよびジンバルミラーを用いたシステムにかわり, レーザ光源およびガルバノミラーを用いたシステムの利点について議論する.

先にも記述したとおり, ハロゲンランプでは集光のために反射鏡を用いており, この集光精度の関係から, 数十 cm 以上の距離での正確な熱提示が困難であることがわかった. そこでレーザーを利用することにより, これら熱提示の範囲を格段に広げることが期待される.

また, ジンバルミラーに代わり, ガルバノミラーを利用することで, 高速なスキャンを実現でき, レーザ光による点提示を面に広げた提示が可能になる.

さらに, ハロゲンランプを利用したときには, 放射される光束には幅広い周波数帯の光が含まれていた. 一方, レーザ光源を利用することにより, 非常に限定的な周波数の光束のみを放射可能となる. このことにより, 掌など, 人体のセンシングに Kinect2 といった, 赤外光を用いたアクティブセンサが利用可能となる.

以上のように, レーザ光源およびガルバノミラーを用いたシステムでは, 多くの利点がみられるため, 今後はレーザー光源を用いたシステムの開発を行う. この際, これまでのハロゲンランプにおける設計で活用してきたキャリブレーション手法を応用することで, 熱画像とのキャリブレーションをあわせたシステム構築を目指す.

2.2 レーザ制御手法

我々は熱放射をレーザー光源により提示する手法を提案する. 通常レーザープロジェクタで用いるように, 熱放射用のレーザー光源をガルバノミラーにより提示領域をスキャンすることで遠隔への熱放射提示を実現する. 今回, 熱放射のため 808 nm の波長を持つ最大出力 7 W の赤外レーザー光源を利用する. レーザ光源の出力は電圧制御が可能である.

また, ガルバノミラーについても電圧制御によりパンチルト角を決定できる. そこで我々は Arduino Uno と MCP4922 を併用した DA 変換によるコントローラを構成した.

通常レーザープロジェクタでは, ささまざまな入力画像のエッジをスキャンすることで描画する. しかし我々はレーザー光源による熱放射を目指すため, 掌など対象となる領域に一律に熱放射を与える. そのため, 今回はインタレーススキャンによる一様な熱放射を実現した (図 2). 一回あたりの面スキャンに要する時間は 40.1 ms であり, 人の温度に対する応答性より十分に高速なスキャンが実現できている.

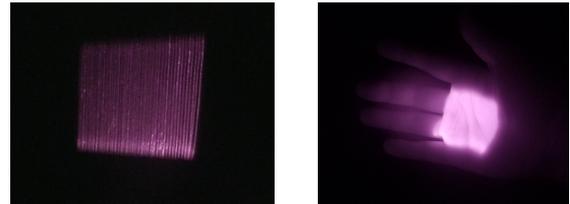


図 2: インタレーススキャンによる平面提示. 左: 光源から 1m 離れた壁面への投影の様子. 赤外光レーザーのため, 通常のカメラでは暗く映る. 右: 光源から 0.1 m における平面での掌への投影の様子.

2.3 熱量伝達特性とその改善手法

今回我々は, レーザ光源, ガルバノミラーと制御マイコンを利用し, 上記のように掌の領域をスキャン可能なシステムを構築した.

ガルバノミラーによる熱量の伝達特性を定量的に調査するため, スキャン面の大きさと温度上昇の傾向を調査した. すなわち, 実験者の掌にスキャン光を照射し (図 3), その様子をサーモグラフィで計測した (図 4). その結果, 面積が小さいほど高速に温度上昇することと, スキャン面が大きい場合, ある程度以上は温度上昇しなくなることがわかった. また, スキャン面の大きさ制御により, 放熱とのバランスによる安全性の確保が可能であることもわかった.

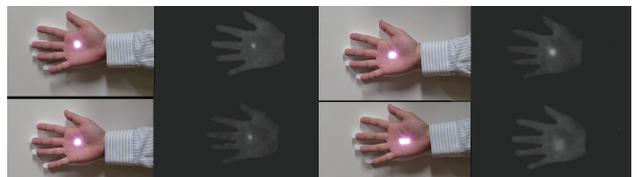


図 3: 掌温度の変化

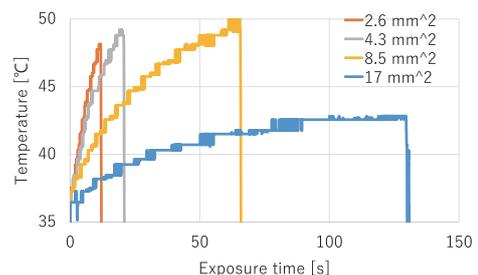


図 4: レーザースキャン面の大きさと温度上昇の傾向

また、グラフから、加熱による温度上昇がゆるやかであり、45℃付近までに要する時間が長いことがわかる。これは図5左に示すように、ガルバノミラーにおいて使用しているミラーが808nmの光の反射特性がよくないためであると考えられる。これについては、より高波長の光源を反射可能なミラーへ変更することで対応することとした。

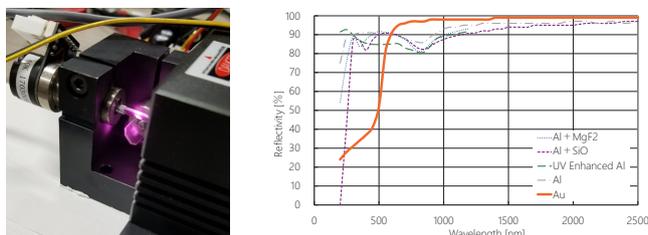


図5: 左: ガルバノミラー部分においてミラーから漏れる光。右: 金属膜の反射率の比較 (シグマ光機 web より再構成)

シグマ光機 [7] が公開する金属膜の反射率の比較データによると (図5), 800 nm 付近ではアルミニウムで 85% 程度まで低下することがわかる。一方、金では 98% 程度を維持しており、アルミニウム反射膜より金の反射膜が適していることがわかった。

そこで、金反射膜をコートした反射ミラーを金スパッタリングにより作成した。金スパッタリング・カーボン蒸着装置 E-1010 (株式会社日立ハイテクノロジーズ) を利用し、5分程度スパッタすることにより、ガルバノミラーガラス面の反射率を高めることで、ミラーから漏れる光を大幅に低減することができた。

3. 結論と今後の予定

本稿では手による創造性を実現するインタラクションの一形態として、熱放射を利用する手法を提案した。そして、人に対象の形状情報を伝える手法として、熱放射を利用する手法を提案した。侵害性の刺激を忌避するヒトの特性とあわせて利用することで、高速な応答性をもつ空間知覚を実現する。

本稿ではこれまでのハロゲンランプにかわり、レーザー光源を用いたシステムを構築し、簡単な照射テストにより、システムの実効性を検証した。その結果、スキャン領域の制御は容易に実現可能なこと、ただしミラーの反射特性のため十分な放射熱を得られていないことがわかり、金スパッタによる反射率の向上を実現した。今後はシステム制御手法の実装および、実際の2次元スキャンにより生起する感覚の調査などを行う。

参考文献

- [1] Sungmin Cho, Yunsil Heo, and Hyunwoo Bang. Turn: a virtual pottery by real spinning wheel. In *ACM SIGGRAPH 2012 Posters*, p. 11. ACM, 2012.
- [2] Yoon Chung Han and Byeong-jun Han. Virtual pottery: a virtual 3d audiovisual interface using natural

hand motions. *Multimedia Tools and Applications*, pp. 1–17, 2013.

- [3] Takayuki Hoshi, Takayuki Iwamoto, and Hiroyuki Shinoda. Non-contact tactile sensation synthesized by ultrasound transducers. In *EuroHaptics conference, 2009 and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. World Haptics 2009. Third Joint*, pp. 256–260. IEEE, 2009.
- [4] Satoshi Saga. Calibration method of thermal-radiation-based haptic display. In *Proceedings of EuroHaptics2016*, pp. 470–478, Jul. 2016.
- [5] Jae-Hoon Jun, Jong-Rak Park, Sung-Phil Kim, Young Min Bae, Jang-Yeon Park, Hyung-Sik Kim, Seungmoon Choi, Sung Jun Jung, Seung Hwa Park, Dong-Il Yeom, Gu-In Jung, Ji-Sun Kim, and Soon-Cheol Chung. Laser-induced thermoelastic effects can evoke tactile sensations. *Scientific Reports*, Vol. 5, No. 11016, 2015.
- [6] Yoichi Ochiai, Kota Kumagai, Takayuki Hoshi, Jun Rekimoto, Satoshi Hasegawa, and Yoshio Hayasaki. Fairy lights in femtoseconds: aerial and volumetric graphics rendered by focused femtosecond laser combined with computational holographic fields. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol. 35, No. 2, p. 17, 2016.
- [7] シグマ光機. 金属膜の反射率の比較. https://www.global-optosigma.com/jp/category/opt_d/opt_d03.html. Accessed: 2018-07-26.