



THE VIRTUAL REALITY SOCIETY OF JAPAN

# 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提示制御の改善

嵯峨 智<sup>1)</sup>

Satoshi SAGA

1) 熊本大学 先端科学研究部 (〒 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、とレーザー光源によるシステムを提案する。これにより提示可能な領域を拡張する。本稿ではレーザー光源を利用した触覚提示における提示制御手法についての改善のため、アクティブ光源を利用した計測システムによる新しい制御手法を提案する。

**キーワード:** レーザプロジェクタ, 熱放射, 触覚ディスプレイ

## 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。

これまで、何もない空間中で力覚を感じさせる手法として、Long, et al. [1] 等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提示が提案されているが、提示可能な力が小さく、提示可能な範囲も限定されている。

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。本稿では、ハロゲンランプによる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. [2] 等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。そこで我々はこれまで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、より精度が高く、提示領域の大きい情報提示システムを実現する (Fig. 1)。

## 2. レーザ放射光の制御

通常レーザープロジェクタでは、ガルバノミラーにより投光方向を制御する。通常のレーザープロジェクタ同様に、我々のシステムにおいてもガルバノミラーにより熱放射用のレーザー光の照射方向を制御し、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。

### 2.1 投光量と位置制御

今回、熱放射のため 980 nm の波長を持つ最大出力 15 W の赤外レーザー光源を利用する。レーザー光源の出力は電圧制

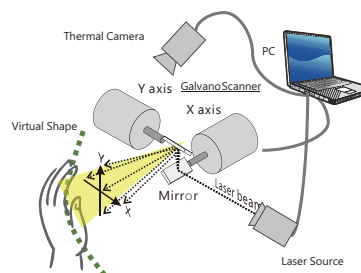


図 1: Laser-Emission-Based Thermal Radiation System

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。すなわち、投光量、スキャンの大きさ、投光の中心位置は Arduino および PC から制御可能である。

### 2.2 システム制御

本システムはレーザーユニット、ガルバノミラー、投光制御器、サーモグラフィ、超音波距離計と PC からなる。これまで提示システムに用いてきたハロゲンランプは反射鏡による集光をしているとはいえ、もともとが点光源であるため、光源からの光はある程度の角度をもって広がってゆく。また、図 2 に示すように、プランクの法則に基づき発熱源の温度で決定される、幅広い帯域の光線を発する。そのため、この光線により照らされた対象からは、同様に幅広い帯域の光線が拡散反射をおこす。

そのため、これまでハロゲンランプを用いたシステムにおいて掌の三次元位置を計測するためには、これらさまざまな方向へ広がってゆく、幅広い帯域をもつ拡散反射光による計測阻害を受けない手法をとってきた。すなわち、反射光に影響されない手法として、サーモグラフィと超音波センシングによる位置計測手法を実装してきた。サーモグラ

フィの光軸方向を  $z$  軸, 撮像面を  $x, y$  軸, カメラ中心を原点としたとき, この座標系における極座標表示  $r, \theta, \phi$  について考える. 撮像面内のサーモグラフィ画像から温められた掌を検出し, 掌中心より撮像面内での掌位置  $x_p, y_p$  が求まる. これと, 平均的な提示距離  $r_0$  をもとに, おおよその方向  $\theta_{p'}, \phi_{p'}$  を  $x_p = r_0 \sin \theta_{p'} \cos \phi_{p'}, y_p = r_0 \sin \theta_{p'} \sin \phi_{p'}$  より求める. ここから算出された  $\theta_{p'}, \phi_{p'}$  方向へ超音波センサを振ることで, 実際の掌までの距離  $r_p$  が求められ, 正確な  $\theta_p, \phi_p$  も得られる. これをもとに, 掌の空間位置  $X_p, Y_p, Z_p$  を求める.

この手法で鍵となる, 初期に得られる掌位置  $x_p, y_p$  は, サーモグラフィの座標値より求めているため, サーモグラフィの解像度に大きく依存する. 現在利用しているサーモグラフィ (testo-875i) は, リフレッシュレートを重視して選定しているため, 解像度は  $160 \times 120$  と限定的なものとなっている. このため, 掌の空間位置精度も大きくあげることが難しかった.

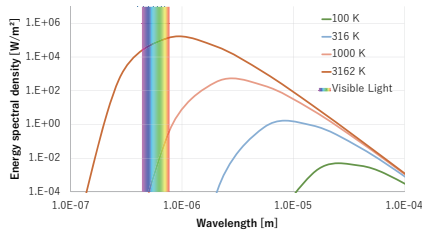


図 2: Energy spectral density of halogen lamp

しかし, 今回提案するレーザー光による熱放射では, レーザに使用する帯域は発振周波数のみに制限されることと, 集束光のみによる照射のため, 光源による拡散反射からの計測阻害の影響が最小限におさえられる. このことから, Kinect や Xtion など, アクティブ光源を利用した 3 次元計測システムが利用可能であると考えられる. アクティブ光源による計測システムでの計測可能性を検証するため, 今回は ASUS Xtion2 と, DepthSense325 を用意し, ハロゲンランプ光源下での計測結果と, レーザ光源下での計測結果を比較する.

### 3. 深度情報計測実験

アクティブ光源による計測システムとして, 今回は ASUS Xtion2 と, DepthSense325 を用意し, ハロゲンランプ光源下での計測結果と, レーザ光源下での計測結果を比較した. 光源からの光が掌に照射されるようにした状態で,  $43^\circ\text{C}$  付近まで温度を上昇させたときのそれぞれの状態を計測システムにより記録する.

図 3 に計測結果を示す. 図 3 左側はハロゲンランプ光源下での深度画像計測結果であり, 右側はレーザー光源下での深度画像計測結果である. また, 上側は ASUS Xtion2 による計測結果, 下側は DepthSense325 による計測結果である.

これらの画像からわかるとおり, 左側 2 つの画像では掌周辺で大きな領域が灰色にぬけており, 深度情報が得られ

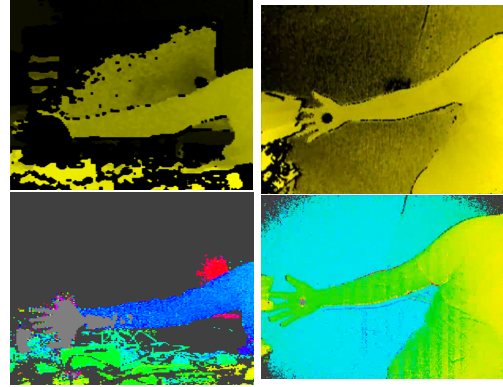


図 3: Results of each depth map (Left: depth map under halogen lamp, right: depth map under laser projection, upside: depth map by Xtion2, downside: depth map by DepthSense325)

ていないことがわかる. 逆に右側 2 つの画像では掌の内部に一部抜けがあるか, ほとんど抜けとわからない程度の変化がある程度の深度画像となっている. このことから, 左側の画像から掌の位置情報と深度情報を取得するのは困難である一方, 右側の画像からは掌の輪郭がとれることから, 位置情報および深度情報を取得できることがわかる.

### 4. 結論と今後の予定

我々は, 空間中での触覚情報提示手法として, 熱放射を利用する手法を提案した. 本稿ではこれまでのハロゲンランプにかわり, レーザ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. また, 金スパッタによる反射率の向上を実現した.

また, 掌の位置検出のため, アクティブ光源を用いた計測システムの計測可能性を議論し, 実際に計測結果をハロゲンランプ光源下とレーザー光源下の 2 つの環境で比較を行った. その結果, レーザ光源下ではアクティブ光源を用いた計測システムによる掌の三次元位置計測が可能であることがわかった.

今後は距離提示のための制御式の改善とあわせ, アクティブ光源を用いた計測システムを導入したシステムを構築し, より正確な距離提示を目指す.

#### 参考文献

- [1] Benjamin Long, Sue Ann Seah, Tom Carter, and Sriram Subramanian. Rendering volumetric haptic shapes in mid-air using ultrasound. *ACM Trans. Graph.*, Vol. 33, No. 6, pp. 181:1–181:10, November 2014.
- [2] 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.