

# 実時間の点群データに対する力覚インタラクションのための 時間的補間性能の検証

山崎健一<sup>†1</sup> 橋本渉<sup>†2</sup> 西口敏司<sup>†2</sup> 水谷泰治<sup>†2</sup>

実物体の点群データは、深度センサを用いることによって容易に取得できるようになった。しかし、深度センサの更新速度が力覚提示の更新速度に比べて遅い。そのため、深度センサで取得した高速に動く物体に対する力覚提示は、衝突物体に対して貫通するという問題が起きる。我々は、この問題に対処するために、深度センサの変化を推定するために ICP アルゴリズムを適用することによって、仮想的に更新速度を増加させた。一方、高精度の力覚提示には高い更新速度が必要であるため、深度センサの更新速度も力覚提示装置の更新速度と同程度必要である。そこで、本研究では、提案手法を用いて仮想的に深度センサの更新速度をどの程度まで増加させることが可能かを検証を行った。

## Confirmation of the Performance of Time-Scale Interpolation for a Haptic Interaction Method of Live Streaming Point Cloud Data

KENICHI YAMASAKI<sup>†1</sup> WATARU HASHIMOTO<sup>†2</sup>  
SATOSHI NISHIGUCHI<sup>†2</sup> YASU HARU MIZUTANI<sup>†2</sup>

Recently, point cloud data of real objects can be easily obtained by using the depth sensor. However, the update rate of the depth sensor is slower than the update rate of the haptic device. Therefore, the haptic rendering of fast moving object captured by the depth sensor causes pass-through problem of collider objects. To avoid the problem, we applied the ICP algorithm to estimate interpolation data of the depth sensor in order to increase the apparent of the update rate. The apparent of the rate should be high and similar to the rate of the haptic device because high-quality haptic rendering requires a high update rate of the haptic. Then we confirmed that our method has a potential to increase the apparent of the update rate of the sensor.

### 1. はじめに

実空間を認識するのに利用される装置の1つとして深度センサがある。深度センサを使うことで、非接触で3次元の構造を動的に把握することが出来る。深度センサで取得したデータは、仮想空間上に点群データとして反映することが出来る。そこで、深度センサにより取得したデータから表現された点群データに対して力覚提示をすることが出来れば、遠くにあり実際に触れないものや、触ると危険などの理由で直接触れないものを触っているような感覚を提示することが出来るようになる。例えば、直接触るには危険な動物を触っているような感覚を提示することが出来るようになる。また、テレプレゼンスなど遠隔地に対する提示においても実用性があると考えられる。

深度センサの更新速度は30Hzと力覚提示装置の約1kHzに比べれば遅い。そのため、実時間で取得した点群データに対して急激な変化が生じれば力覚提示が正しく行われぬ更新速度のギャップの問題がある。そこで、我々は深度センサの更新速度を仮想的に向上させる方法を提案した[1]。

また、一般的に用いられている力覚提示装置の更新速度は約1kHzである。高精度の力覚提示を行うには、さらに

高い更新速度が必要となってくる。十分な力覚提示の性能を引き出すには、描画用データの更新速度を力覚提示装置の更新速度と同程度必要である。

そこで、本研究では、仮想的に深度センサの更新速度をどの程度向上させることが出来るのかを検証するとともに、様々な更新速度の装置に対応可能かを確かめた(図1)。

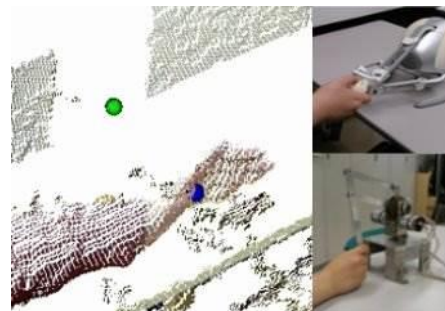


図1 異なる更新速度の力覚提示装置を用いた場合  
Figure 1 Case of using the haptic device of different update rate

### 2. 関連研究

深度センサにより取得された点群データに対して力覚提示する方法として、プロキシという概念を適用した方法がいくつか存在する。

Fredrikらは、プロキシに3つの異なる大きさの同心球を定義し、点群データとプロキシの位置関係により状態を変

<sup>†1</sup> 大阪工業大学大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka Institute of Technology  
<sup>†2</sup> 大阪工業大学情報科学部  
Faculty of Information Science and Technology, Osaka Institute of Technology

化させ、その変化から加速度を推定することで動的物体に対しての力覚提示を行っている。また、深度センサから取得したデータがカメラ座標で表現されていることを利用し、プロキシの座標をカメラ座標に変換し、変換した座標を中心とした正方領域のデータだけを参照することで、参照するデータ数を減らしている[2].

### 3. 提案手法

#### 3.1 深度センサを用いた力覚提示の問題点

関連研究[2]では、参照する点群データを減らすことで、接触判定の計算を高速に行っている。しかし、深度センサの更新速度は力覚提示装置の更新速度の約 1kHz に比べて、30Hz とはるかに遅い。そのため、高速な移動物体のデータにおいては、取得データ間でのデータの変化量がプロキシの大きさを超える移動量になる場合がある。データの移動量がプロキシをすり抜けてしまう場合、接触判定が正常に行われず、力覚提示に支障を来すという問題が起こる。この問題は、深度センサと力覚提示装置の更新速度のギャップにより起こる問題であるため、力覚提示の計算を高速にしても解決できるものではない。また、更新速度のギャップから、力覚提示装置の性能を十分に引き出せない問題がある。

#### 3.2 時間的補間方法

我々は、時系列的に連続する 2 つのデータに対して、ICP(Iterative Closest Point) アルゴリズムを適用することで、データ間の同次変換行列を算出した。算出した同次変換行列を分割して適用させることで、2 つのデータ間に微小変化した新しいデータを作成することが出来る。この時の作成データ数は任意に変更することが出来る。これにより、深度センサの更新速度を仮想的に向上させた[1].

### 4. 検証

深度センサの更新速度を仮想的にどの程度まで向上させられるかを確認するために実験を行った。まず、提案手法の計算量に関する検証を行った後、[1]で用いたものとは異なる力覚提示装置を用いて実験を行った。本実験で用いた深度センサは Microsoft 社の Kinect。力覚提示装置は更新速度 1kHz である Novint 社の Falcon を用いた。

#### 4.1 計算量に関する検証

同次変換行列の算出が深度センサのデータ取得間隔内であるかの測定と深度センサのデータ取得間隔内でどの程度データが作成可能かを確かめるために、同次変換行列の算出と新しい 1 つのデータの作成にかかる時間を測定した。本実験では、局所領域の 1 辺の長さは 60pixel で行った。その結果、同次変換行列の算出には 31ms、データ 1 つの作成に要する時間は 0.01ms であった。

深度センサの更新速度は 30Hz であるため、データは 33ms ごとに取得される。そのため、33ms 以内に同次変換

行列の算出が完了しなければ、深度センサの更新速度に影響を及ぼす。しかし、本実験の結果より、同次変換行列算出時間は 33ms より早く、影響がないことが分かった。また、データ取得間隔である 33ms よりも長くデータ作成を行えば、提示される視覚情報の遅れが蓄積されてしまう問題が起きる。そのため、データ作成可能時間の最大は 33ms である。データ作成可能な最大時間と本実験の結果より、作成可能な最大データ数は、3300 であることが分かる。このことから、最大 99kHz まで仮想的に更新速度を増幅させることが可能であることが分かった。

#### 4.2 更新速度の異なる装置を用いた検証

更新速度の異なる装置においても対応可能かを確認するために[1]で用いた装置とは異なる Falcon を用いて移動物体に対して正しく接触判定が行われるかを確認した。本実験では、装置の位置は固定し、また、移動物体には人間の手を使用した。人間の手を前後に移動させ、その動きに対してプロキシが追従するかを確認した。本実験では、作成するデータ数は 30 とした。プロキシと Falcon の座標位置を図 2 に示す。

この結果から、更新速度の異なる装置を用いた場合でも、物体の動きに対してプロキシが追従していることが分かる。

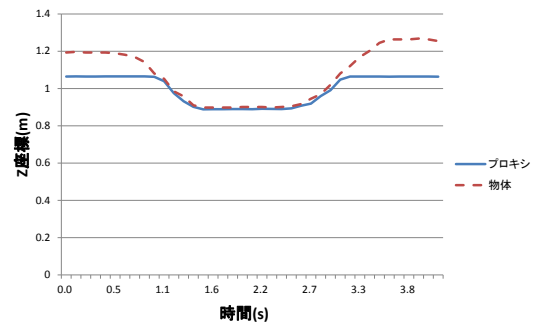


図 2 プロキシと Falcon の座標位置  
Figure 2 Position of proxy and Falcon

### 5. まとめ

本研究では、仮想的に深度センサの更新速度をどの程度まで向上させられるかを確認した。その結果、最大 99kHz まで向上可能であることが分かった。また、更新速度が異なる力覚提示装置に対しても提案手法が適用可能であることが分かった。

### 参考文献

- 1) 山崎健一, 橋本渉, 西口敏司, 水谷泰治: 時間的補間による時系列的点群データに対する力覚提示手法, 第 18 回日本バーチャルリアリティ学会, 2013
- 2) Fredrik Ryden, Howard Jay Chizeck: A Proxy Method for Real-Time 3-DOF Haptic Rendering of Streaming Point Cloud Data, IEEE Transaction on Haptic, 2013