

ラインセンシングによる近傍環境の 触知覚インタフェース

中村 紗誉^{*1} 栗原 洋輔^{*1} 蜂須 拓^{*1 *2}
佐藤 未知^{*1 *2} 福島 政期^{*1 *2} 梶本 裕之^{*1 *3}

Line-Sensing Haptic Interface for Perception of Close-Range Object

Sayo Nakamura^{*1}, Yosuke kurihara^{*1}, Taku Hachisu^{*1 *2},
Michi Sato^{*1 *2}, Shogo Fukushima^{*1 *2} and Hiroyuki Kajimoto^{*1 *3}

Abstract — 自分の手で触れたくても距離や安全性の問題から触れることのできないものは多く存在する。実際に物体に触れることなく物体の形状を触覚的に提示する手法は数多く提案されているが、その多くは物体表面上の一点までの距離情報を知覚させるものであり、物体の全体像を把握するためにはユーザ自身が長時間の走査運動を行なう必要があった。そこで本研究では、物体の奥行きラインセンシングとピンアレイ式二次元触覚ディスプレイの組み合わせによりユーザに物体全体の形状を把握させることを提案する。本稿ではバーチャル環境と触覚呈示装置の組み合わせによる評価実験を行い、本手法の有効性を検証した。

Keywords : Haptic interface, Haptic display, Line sensing

1 はじめに

目で見ることではできても、手で触れることのできないものは数多く存在する。例えば博物館の展示品は触ると傷をつけてしまう恐れがあり、動物園の猛獣は人間に危害を与える可能性があるため触れることが禁止されている。これらの物体は見るだけでも楽しむことができるが、触ることができれば見て楽しめるものにさらに触る楽しみを付与することができる。

そこで本研究では物体を切断する平面上の距離を測定するラインセンシング手法とピンアレイ式二次元触覚ディスプレイにより、物体に触れることなく触れている感覚を提示することを試みる。本研究が目指すデバイスの利用イメージを図1に示す。ユーザは距離センサとピンアレイディ

スプレイが一体となったデバイスを持ち、これを近傍物体に向け、物体までの距離をセンシングする。得られた距離情報に応じてピンアレイが駆動し、ユーザの拇指に物体の形状を提示する。

本デバイスを利用することで、ユーザは実際には触れることのできない展示品や危険物、猛獣などの物体に触れたかのような体験ができ、視覚だけではなく触覚的にも楽しむことができる。

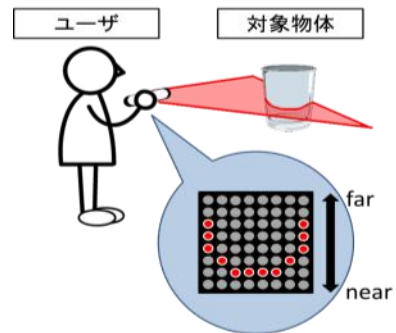


図 1 デバイスの利用イメージ

Fig. 1 Image of the proposed line sensing and display of surrounding environment.

*1 電気通信大学{nakamura, kurihara, hachisu, michi, shogo, kajimoto}@kaji-lab.jp

*2 日本学術振興会特別研究員

*3 科学技術振興機構さきがけ

*1 The University of Electro-Communications

*2 JSPS Research Fellow

*3 Japan Science and Technology Agency (JST)

2 先行研究

近傍環境を触覚的に提示する手法はすでに数多く提案されている。宮本らはレーザ変位計とレバー型力覚提示装置を組み合わせた遠隔触覚システム[1]により物体の距離情報を力覚として提示するデバイスを提案した。牧野らは力覚提示装置 PHANToM を用いて遠隔の動物とインタラクションするシステムを提案している[2]。野嶋らはペン型力覚装置, SmartTool[3]を提案した。SmartTool は道具先端に取り付けたセンサ情報に応じて力覚フィードバックを行うことで, 水と油の界面など実際には触れることができないものに触覚的性質を付与している。

これらの提案は共通して対象物体表面の一点のみをセンシング, 呈示している(これを今後「点センシング手法」と呼ぶ)。しかしこの点センシング手法の場合, 同時にセンシング, 呈示できる情報の量が少ないため物体全体の形状を把握するためにユーザは何度も物体上を走査する必要があり, 形状把握までに時間がかかることがあった[4]。

また, 視覚障害者のための環境情報提示の試みでは, 物体までの距離に対応した複数の振動子を駆動することで近傍環境を手のひら全体に提示する手法[5]や, ステレオビジョンと形状ディスプレイを用いる視触覚変換手法[6]が提案されている(これを今後「面センシング手法」と呼ぶ)。この面センシング手法の場合, ユーザが同時に把握しなければならない触覚情報は二次元情報となりかえって分かりにくく, ごく単純な形状の場合を除けば点センシング手法以上に形状知覚に時間がかかることがあった。

触覚呈示において面情報を効率的に呈示する手法は過去に多く提案されており, 代表的な例の一つは線分情報のスキャンである[7]。つまり触覚は複雑な二次元形状を把握することは難しいが, ライン状のものを把握することはかろうじて可能であると考えられる。

そこで我々は, 物体表面を直線状に走査, 呈示する手法(これを今後「ラインセンシング手法」と呼ぶ)を用いて効率良く物体の形状を把握ことができると考えた[8]。ラインセンシング手法であれば点センシング手法よりも多くの触覚情報を同時に得ることができるため, 形状を把握するために必要な走査量が減り, 物体全体の形状

把握に必要な時間の短縮が期待される。同時にセンシング面に垂直な方向には点センシング手法と同様, ユーザ自身の動作による時分割走査を行なう。よって同時には面センシング手法ほどの情報量は持たず, 触覚での形状把握に適切であると考えられる。

3 形状提示実験システム

本章では, センシング手法の違いにより形状知覚に差異が現れるか実験するためのシステムについて述べる。

我々が提案するデバイスは物体を見ながら使用し, 視覚に加え触覚的にも形状を提示することを想定している。一方で本想定環境を考慮し物体が見えている状態で形状を触覚的に提示しても, 視覚のみで正しい形状を認識できてしまう。そのため想定環境と同様の環境を実空間で再現して実験を行っても, センシング手法の違いによる触覚提示能力の差を検証することができないと考えられる。

そこでバーチャルな空間でのセンシングシミュレーションを行い, 視覚と触覚の矛盾を生じさせることで, ラインセンシング手法と点センシング手法の形状提示能力についての比較実験を行った。

3.1 システム構成

図 2 に実験システムを示す。本システムは PC, PC モニタ, 赤外線位置センサ(任天堂, Wii リモコン), ピンアレイ式二次元触覚ディスプレイ(KGS (株) 製点図セル SC5), マイクロコンピュータ (mbed NXP LPC1768) で構成されている。

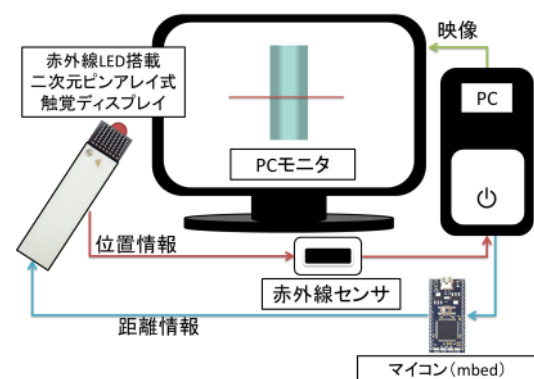


図 2 システム構成
Fig. 2 System Structure

3.1.1 ピンアレイ式二次元触覚ディスプレイ

図 3 にピンアレイ式二次元触覚ディスプレイの外観を示す。把持部分のカバーは ABS 樹脂で作成されており、全長は 127mm、重さ 70g である。先端部には直径 1.3mm、8 行 8 列のピンアレイが 3mm ピッチで並べられており、呈示面の大きさは縦横ともに 24mm である。ピンアレイのストロークは 0.7mm で、33Hz で常に上下運動を繰り返すよう設定した。

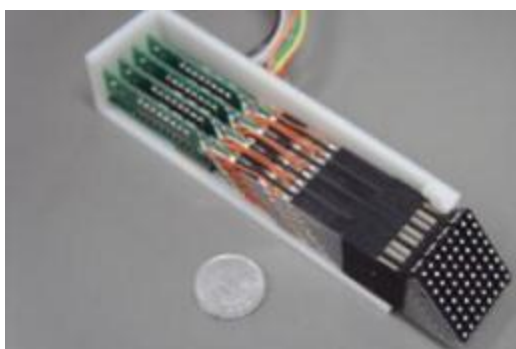


図 3 ピンアレイ式二次元触覚ディスプレイ
Fig. 3 Two-dimensional pin array tactile display

本ディスプレイの下部には赤外線 LED が搭載されており、この位置を Wii リモコンの赤外線位置センサによって取得することでデバイスの位置情報を得る。位置情報は Bluetooth を介した通信により PC へ送信される。

デバイスの位置情報から仮想的な物体断面のセンシングを行なう。物体断面の奥行きに応じてデバイスを駆動する。デバイスは 8 行 8 列のピンマトリクス状触覚呈示装置であり、各縦列に対応する方向の奥行き情報が提示され、結果としてピンマトリクス全体で対象の断面形状が提示される。

ユーザが現在センシングしている部分を PC モニタ上に表示する。ラインセンシング手法であれば水平な線分、点センシング手法であれば点として表示される。ラインセンシング手法であれば表示された線分上の等間隔に分割した 8 点、点センシング手法であれば表示されている 1 点が駆動するピンアレイの位置に対応しており、距離情報に応じて各列のどの行のピンアレイを駆動させ

るかを決定する。ラインセンシング手法の際に距離情報をピンアレイの出力に変換する際のイメージを図 4 に示す。

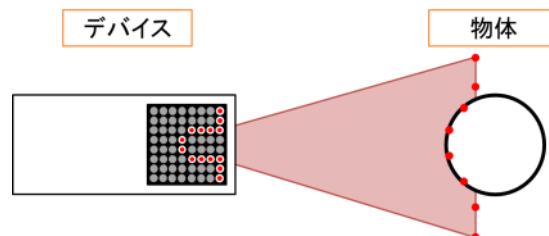


図 4 奥行きからピンアレイ駆動への変換イメージ
Fig. 4 Image of conversion of depth to pin actuation

3.2 ピンアレイ駆動アルゴリズム

ピンアレイにより物体の形状を正確に知覚させるには、駆動させるピンの最適化が非常に重要であると考えられる。幾つかの試行錯誤の結果我々が採用したピンアレイ駆動アルゴリズムを図 5 に示す。まず各列で駆動するピンを対象の奥行きに対応させる (図の赤点)。これだけでは呈示形状に隙間ができてしまうので、ピンとピンの間を補間する (図の黄色点)。以上の方法でピンアレイを選択、駆動させると図 5 に示すようにすべての線が繋がった形でピンアレイでの形状提示が可能となる。

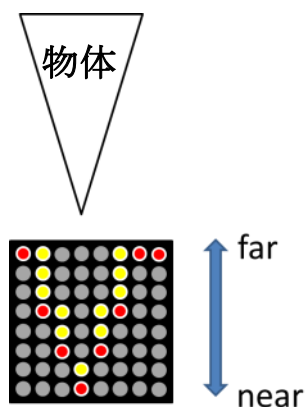


図 5 ピンアレイ駆動アルゴリズム
Fig. 5 Algorithms of pin actuation

4 実験1：視覚と触覚のマッチング判定によるセンシング方法ごとの特性検証

ラインセンシング手法と点センシング手法においてどれだけ正確に形状を知覚できるか、また走査にどれだけ時間がかかるかを比較する実験を行った。

ラインセンシングについては前章で示したシステムおよびアルゴリズムを用いた。点センシング手法についてはピンアレイの中央2列のみを距離情報に対応させ、残りの列はユーザから一番遠い点を常に駆動させた。これは基準となる奥行きを呈示するためである。計測距離が最も近い場合はピンアレイの中央2列の全ピンが駆動する。逆に離れば離れるほど中央2列の駆動部分が手前から減っていき、物体との距離が一番離れるとユーザから一番遠い全ての点が振動する。

4.1 実験手続き

まず実験者は被験者に対し、PC モニタに表示された物体を点センシング手法またはラインセンシング手法で走査し、視覚的に提示された形状と触覚的に提示された形状が合致しているかどうかを Yes または No の二択で回答するよう指示した。提示した形状は直方体の角部分、円柱、直方体の平面部分それぞれを真横から見た状態の3種類であり、すべて横160ピクセル、縦400ピクセルで表示された(図6)。これらの3種類の図形のどれかが提示されることは被験者に伝えられていたが、提示される順番はランダムであった。

視覚刺激1種類につき8試行を行い、そのうち4試行は視覚刺激と同じ形状を示す触覚刺激が提示された。また走査時間に制限は設けず被験者の回答が決まるまで自由に走査してよいとし、回答が決まった瞬間キーボードを押すよう指示した。実験者は被験者の回答と回答時間を記録した。

20代男女1名ずつの被験者に視覚刺激1種類につき触覚刺激3種類×8試行の計24試行をラインセンシング、点センシング手法それぞれで実施した。また、実験者は被験者にそれぞれのセンシング方法で実験を開始する前に練習時間を与え、被験者が慣れるまで自由に平面形状(視覚・触覚ともに平面の提示)を走査させた。ただしこの時に視覚情報と触覚情報が一致しているかど

うかは被験者に伝えられていなかった。試行順序によって片方のセンシング方法が優位にならないよう、被験者の1人はラインセンシング手法、もう1人は点センシング手法での試行を先に行った。片方のセンシング方法で24試行を行った後は、腕の疲れが十分に取れたことを確認しもう一方のセンシング方法で24試行を行い、実験を終了した。

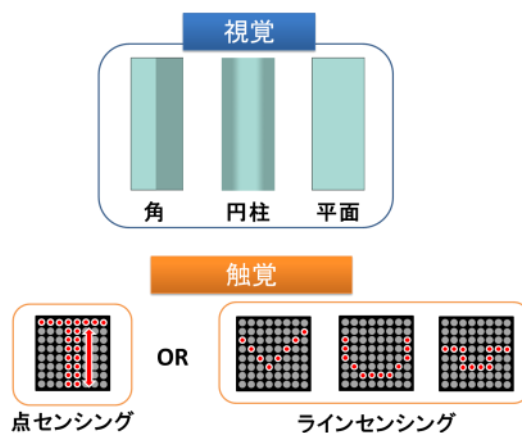


図6 提示した図形と触覚(実験1)

Fig. 6 Presented visual shape and tactile shape (experiment 1)

4.2 実験結果

図7に各被験者の正答数を、図8に各被験者の平均回答時間を示す。図7の結果から、どちらの被験者も各センシング方法における正答率はほぼ等しいことがわかる。また図8の結果から、ラインセンシング手法の方が回答までに時間がかかってしまう傾向がみられた。

実験前の予想ではラインセンシング手法の方がセンシングできる範囲が広いので回答にかかる時間が短くなると予想していたが、結果は我々の予想とは逆となった。しかし正答数がほぼ同じということから、空間的にはラインセンシング手法も点センシング手法と同程度の形状提示能力を持つことが示唆された。

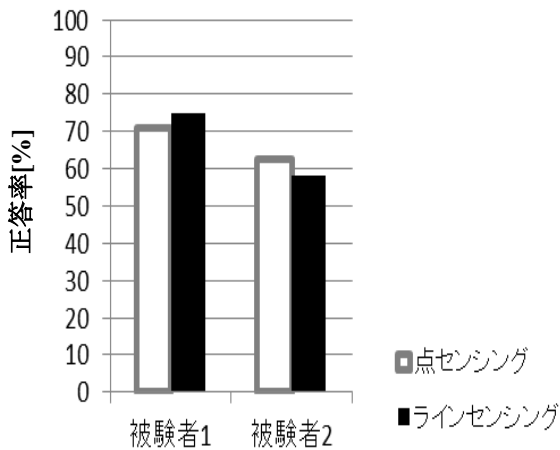


図 7 各被験者の正答率 (実験 1)

Fig. 7 Rate of correct answers (experiment 1)

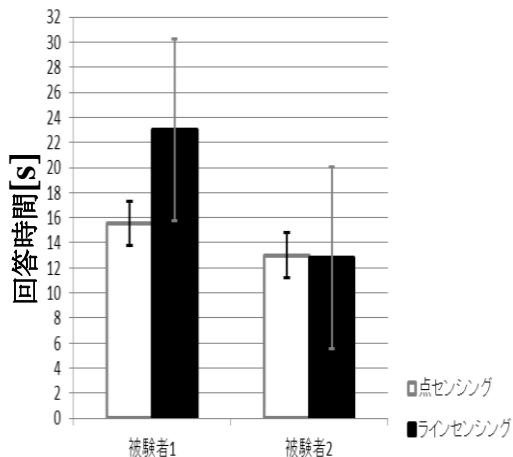


図 8 各被験者の平均回答時間 (実験 1)

Fig. 8 Average of response time (experiment 1)

また、今回提示した形状は水平方向の奥行き変化はあるものの垂直方向への変化がなかったため、点センシング手法でも水平方向のみの走査で容易に形状を把握することができたと考えられる。すなわち点センシング手法にとって有利な形状であったといえる。実空間の物体は垂直方向にも形状変化があると考えられ、本実験で用いた対象は単純すぎると考えられる。

5 実験 2：形状提示能力の比較

実験 1 では提示した形状が実空間で使用する際の有用性を検証するためには不十分なものであったため、提示する形状を変更して実験を行った。

5.1 実験手続

実験に用いたデバイスおよびアルゴリズムの環境は実験 1 と同じであるが、提示する形状を図 9 に示す 3 種類に変更した。実験 1 の形状と比較し、上下方向にも形状の変化があることが特徴である。

また実験 1 では視覚情報と触覚情報が一致しているかどうかを回答させたが、本デバイスでは視覚情報と触覚情報の矛盾している使用状況は本来想定していないため、今回は視覚的な形状提示は行わないこととした。すなわち被験者に提示する視覚情報を長方形のガイドラインと、被験者の走査している場所を示すためのラインおよび点のみに変更し、視覚的に形状を把握することができないようにした。

被験者に対し、ガイドラインの中に隠れている 3 種類の形状を実験デバイスで走査することで、どの形状か回答するよう指示した。触覚刺激 3 種類 (瓶、砂時計、円錐) × 8 試行分を点センシング手法・ラインセンシング手法で行い、合計 48 試行を行った。実験 1 と同様に練習時間を各センシングの施行前に設けたが、今回練習中に提示した触覚は円錐であり、どの形状の触覚情報が提示されているかは被験者には伝えなかった。被験者は 20 代男女 6 名とし、ラインセンシング手法での実験の様子を図 10 に示す。

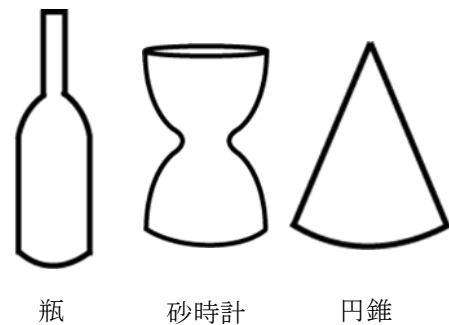


図 9 提示した図形 (実験 2)

Fig. 9 Figures shown in the 2nd experiment

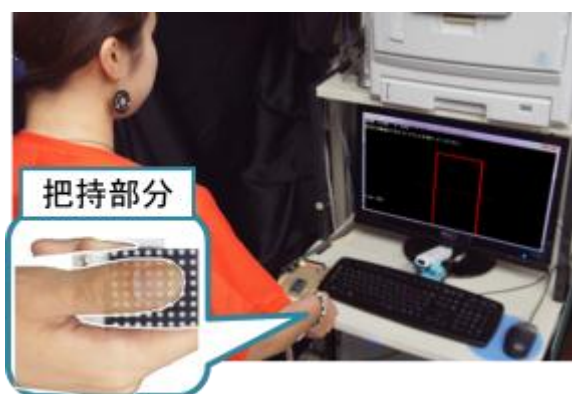


図 10 実験 2 の様子 (ラインセンシング手法)
Fig. 10 Overview of the experiment (line-sensing)

5.2 実験結果

被験者の 1 人が他の被験者とは極めて異なる走査方法を行ったため、実験結果から除外した。図 11, 図 12 に各被験者の正答率と平均回答時間を示す。正答率については実験 1 と同じく、点センシング手法とラインセンシング手法でほぼ同等であった。

一方で回答時間については、統計的に優位な差は認められなかったが (t 検定, $p=0.19$) 点センシング手法 (平均 14.35s) よりもラインセンシング手法 (平均 9.78s) の方が早くなる傾向があった。

また回答時間・正答数の標準偏差はどちらもラインセンシング手法の方が小さくなった。

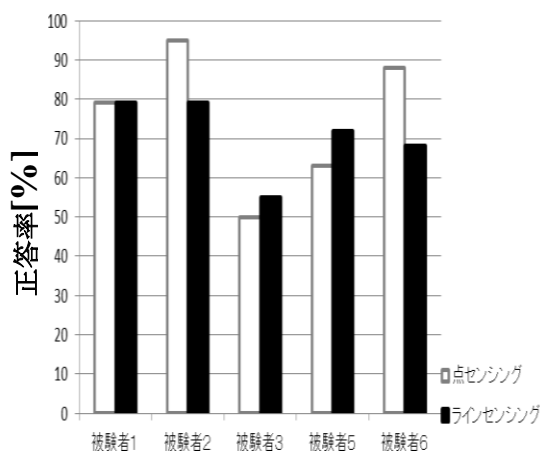


図 11 各被験者の平均正答率 (実験 2)
Fig. 11 Rate of correct answers (experiment 2)

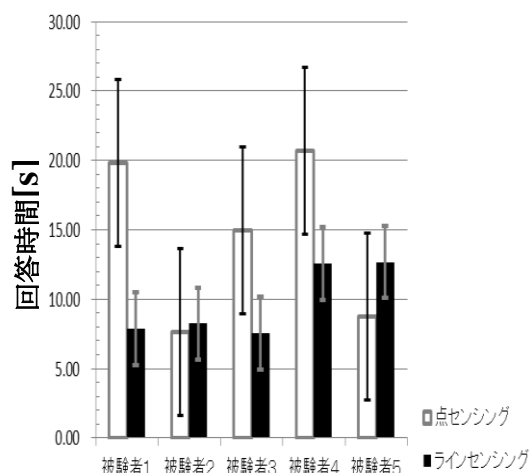


図 12 各被験者の平均回答時間 (実験 2)
Fig. 12 Average response time (experiment 2)

6 考察

実験 1 および実験 2 から、回答までに時間制限を設けない条件ではラインセンシング手法と点センシング手法では同等の形状提示能力があることが示唆された。また回答に要する時間に関しては、円筒形状などの単純な形状では点センシング手法の方が有利であり、ボトル形状などの複雑な形状ではラインセンシングのほうが有利になる傾向があることが示唆された。

特に実験 2 における回答時間の差については、点センシング手法の場合、被験者は主に左右方向に走査し、これを物体の上端から下端まで繰り返して行っていた。一方でラインセンシング手法の場合は左右に広がるセンシングラインで物体全体を一度だけ上下に走査し、それでもわからなかった場所をもう一度走査して回答を行っていた。この走査経路の差が回答時間の差となって表れたと考察できる。

また実験 2 で被験者間での回答時間および正答率の標準偏差値がラインセンシング手法の方が低い値をとったことから、ラインセンシング手法はより個人差を生じにくい提示手法であると考えられる。

被験者の内観報告では、「ラインセンシング手法の方が自分の回答に自信が持てる」、「物体のカーブがはっきりわかる」といった報告があった。したがって、正答率にかかわらずラインセンシング手法の方がユーザの主観的な確信度が高いことが考えられる。またこのことからライン状に

形状を提示すると形状をイメージしやすいことが示唆される。

今回実験に使用したピンアレイディスプレイの総重量は 70g と一般的な携帯電話の約半分程の重量であったが、実験終了後に腕に疲労を感じたという被験者が多かった。このことから実際の使用状況では形状提示デバイスの軽量化と走査時間の短縮が重要であると考えられる。我々の提案するラインセンシング手法は走査時間を短縮できるためこの条件を満たすといえる。

7 おわりに

本稿では、近傍環境の物体の形状を触覚提示する手法としてラインセンシング手法を提案、実装、評価した。評価においてはバーチャルな空間に提示した 3 次元物体を走査し、物体の形状を把握させることで点センシング手法との形状提示能力の比較を行った。その結果、ラインセンシング手法は対象形状が複雑になるにつれ従来の手法以上の形状呈示能力があることが示唆された。

今回は触覚呈示能力を評価するため視覚的な形状手がかりは排除したが、実際の使用状況では視覚的な呈示も行なう。このため実際の回答時間はより減少すると考えられる。つまり本研究の目的である「見えているが触れることができない物体を遠隔地であたかも触ったかのように感覚を提示する」ことは十分に可能であると考えられる。

今後は物体の形状をより知覚させやすくするための触覚呈示アルゴリズムの改良を行う。また、実空間に存在する物体をセンシングするため、センシングにラインスキャン式レンジセンサを用いた試作機を製作中である。

参考文献

- [1] 宮本優一, 矢野博明, 岩田洋夫:”レーザ距離センサを用いた遠隔触覚システム”, 日本バーチャルリアリティ学会第 13 回大会論文集, pp.111-114, 2008,9.
- [2] 牧野泰才, 日高佑輔, 塩川雄太, 前野隆司, 山内敬大, 岡本正吾, 昆陽雅司:”触覚伝達システムを用いた動物とのインタラクション”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, pp.1A1-C19(1)-1A1-C19(3), 2010.
- [3] 野嶋琢也, 関口大陸, 稲見昌彦, 舘暉:”力覚提示を利用した実時間実環境作業支援システムの提案”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, No.2, pp. 193-200, 2002.
- [4] 秋田純一, 伊藤精英, 小野哲雄, 岡本誠:”CyARM: 非視覚モダリティによる空間認識装置”, 情報処理学会論文誌 Vol.46, No.7, pp.1693-1700, 2005, 7.
- [5] C. Shah, M. Bouzit, M. Youssef, L. Vasquez: Evaluation of RU-Netra – Tactile Feedback Navigation System For The Visually Impaired, International Workshop on Virtual Rehabilitation, pp.72-77, 2006.
- [6] F. Maingreud, E. Pissaloux, F. Gaunet, R. Velazquez, M. Hafez, J-M. Alexandre: A dynamic tactile map as a tool for space organization perception, application to the design of an electronic travel aid for visually impaired and blind people, 27th Annual Int. Conf. of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Shanghai, China, pp.6912-6915, 2005.
- [7] 触覚伝達機器の設計支援情報:
<http://www.tsukuba-tech.ac.jp/info/treky:8080/index.html/kaken/home.html>
- [8] 神山和人, 梶本裕之, 市川晴久:”周辺奥行き情報を触覚情報に変換するラインセンシング触覚インターフェース”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, pp.1A1-D04(1)-1A1-D04(2), 2010.