

探索行動に基づく形状知覚装置における情報提示方法の検討

正谷智広^{†1} 秋田純一^{†1} 伊藤精英^{†2} 小野哲雄^{†3} 岡本誠^{†2}

本研究では形状知覚装置における情報提示方法の検討を行った。また検討のために触覚提示デバイスであるFB-Finger2を開発した。このデバイスは人差し指の第二関節と第三関節にアクチュエータを対応させ、二自由度でかざした方向にある物体の形状をユーザに指の屈伸で伝達する。このデバイスを先行研究で開発した第三関節にのみアクチュエータ対応させたデバイスFB-Fingerと比較する実験を行った。

Examination of Information Presentation Method in Shape Perception Apparatus Based on Searching Behavior

AKIHIRO MASATANI^{†1} JUNICHI AKITA^{†1} KIYOHIDE ITOH^{†2}
TETSUO ONO^{†3} MAKOTO OKAMOTO^{†2}

In this study, we have investigated information presentation method in shape-sensory device. We have developed a FB-Finger2 is a tactile display device for consideration. The device is adapted the actuator to third joint and second joint of the index finger. The device transmits in bending and stretching of a finger the shape of objects in the direction held up by the two degree of freedom to the user. We were compared FB-Finger2 to the device FB-Finger of one degree of freedom that has been developed in previous research.

1. はじめに

これまで視覚障害者のための感覚代行機器が数多く開発、商品化されてきた。しかしながら、視覚障害者への普及率はあまり高くなく旧来の白杖を使用するケースが多い。これは他の感覚代行機器と比べて白杖が聴覚といった残存感覚と併用できることや、物体までの距離を連続的な触運動として知覚する事が可能であるためと考えられる。

このような背景から著者らは、白杖を利用できない状況、または、白杖と併用して視覚障害者が環境を把握することができる感覚代行デバイスFB-Fingerを開発してきた(図1)[1]。これはかざした方向にある対象との一点の距離を指の屈伸でユーザに提示するデバイスである。ユーザはこのFB-Fingerを持ち、自らが自由に探索行動を行うことで、その自身の探索行動と連動した距離情報を得ることができ、それによって対象までの距離、形状を知覚することができる。またこのFB-Fingerの他にも、多点で距離を提示するFB-3Fingerや距離情報を腕の屈伸として提示するCyARMの開発も行ってきた[2][3]。



図 1 FB-Finger

Figure 1 FB-Finger

FB-Fingerでは対象物体との絶対距離を提示するため、例えば対象物の表面の微小な凹凸などの詳細な情報の提示が難しい。また対象物体一点との距離を指に一自由度で提示するため、形状の知覚には広い範囲でスキャンが必要であり、探索行動に手間がかかってしまう。

そこで「対象物の形状」と「対象物までの距離」の情報提示を分離し、形状の情報を指に、距離の情報を腕に伝達させることで、より効率的な対象物の知覚が可能となると考えられる。触覚提示デバイスに関連する研究[4][5]、および実際に試作した簡易デバイスの操作から、指の腹のみに情報提示を行う方法では、形状認識において物体の角の知覚が困難であった。その一方、指の関節も利用して指の表面全体に情報提示を行うことで、さらに効率よく物体の角の知覚できると予想された。

本稿では、上記のような背景と経緯をふまえ、指への対象物の形状の情報提示方法について、一つの指に与える提示機構の自由度、および複数の指へそれぞれ一自由度の提

^{†1} 金沢大学
Kanazawa University.

^{†2} はこだて未来大学
Future University-Hakodate.

^{†3} 北海道大学
Hokkaido University.

示機構で提示する方法の両者の比較検討を行った結果について述べる。

2. 二関節提示機構をもつ FB-Finger2

上記の比較検討を行うために開発したFB-Finger2を図2に示す。



図 2 開発した FB-Finger2

Figure 2 Developed FB-Finger2

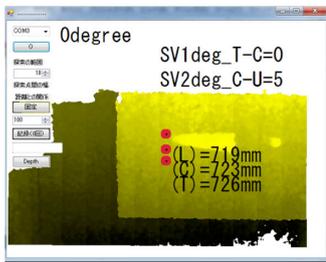


図 3 得られた距離画像と計測点

Figure 3 Captured depth map and three measurement point

2.1 コンセプト

計測・提示が1点のFB-Fingerでは、対象物までの距離に応じて指の屈伸角度を連続的に変化させていた。そのため、例えば距離の計測範囲として10[cm]~100[cm]を0度~90度に対応させて提示した場合、1[度/cm]の分解能でしか情報を提示できないことになる。そこで対象物体の表面の凹凸などの形状の詳細な情報提示に重点を置くために、複数の点で対象物体との距離を測定し、それらの相対距離を指に伝達する方法を採用することで、対象物体の表面形状の情報をより詳細に得られると考えられる。また、実際に対象物体をなぞっているような感覚をユーザに与えるため、アクチュエータの数を二つに増やし人差し指の第二関節と第三関節に対応させる構造とした。ユーザはこのデバイスを横方向にスキャンすることで、面的に空間を知覚することができる。また縦方向にスキャンすることで、計測・提示が1点のFB-Fingerと比べて一直線上の情報を効率的に取得することができる。

2.2 形状の提示手法

FB-Finger2では、距離画像を取得可能なデプスカメラによって得られた対象物までの距離の分布から、あらかじめ指定した縦に並んだ三つの点それぞれで対象物体との距離を測定する。そして、その三点の距離の差から三点間の垂

直方向の角度差を算出し、指の関節に対応したアクチュエータがその角度と同じになるようにアクチュエータを動かすことでユーザに形状を伝達する(図4)。

また、三つの探索点の間隔については指で実際に触っているような形にするため、対象物体上での距離を上と中心の点の間隔が指の先から第二関節まで、中心と下の点の間隔が指の第二関節から第三関節までの距離と同等になるようにして設定した。

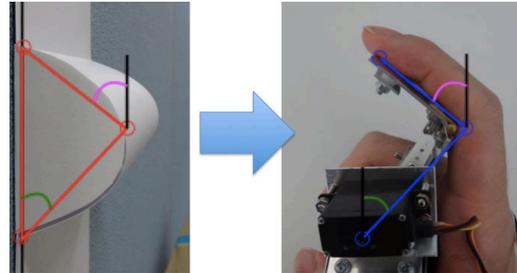


図 4 三点で取得した距離情報と指の対応

Figure 4 Corresponding finger and the distance information

acquired by the three-point

2.3 ハードウェア構成

距離センサには、複数の点で距離を測定して距離画像を取得可能なデプスカメラ(ASUS社 Xtion Pro live)を用いた。また情報提示のためのアクチュエータであるサーボモータの動作によっておこる振動の影響を小さくし、またデバイス全体のバランスをとるために、このデプスカメラはFB-Finger2の下部に取り付けた。

アクチュエータにはそれぞれにかかる力について考慮した結果、指の第三関節の方にHS-56HB(HITEC社、トルク:98[mNm])と第二関節の方にGWSSPICO/STD/F(GWSサーボ社、トルク:68[mNm])を用いた。また制御用のマイコンは、CY8C24123(Cypress社)を各サーボに用い、それらとPCとをバス型に接続した。

FB-Finger2全体の構成を図5に示す。PCでデプスカメラから得られた距離画像を取得し、そこから計測対象の三点の距離情報にもとづいて各サーボモータの回転角を算出し、それをコマンドとしてそれぞれのサーボモータに対応したマイコンに送信し、各サーボが動作して形状情報をユーザに提示する。

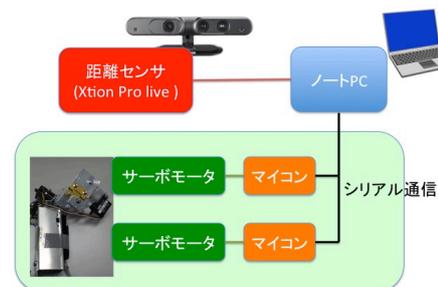


図 5 FB-Finger2 の構成図

Figure 5 Block diagram of the FB-Finger2

3. 評価実験

3.1 実験に用いた各デバイスの説明

形状情報提示における指の数や自由度と情報伝達の関係について調査するために、以下の3種類の距離情報提示装置を用いる。なお対象物までの距離計測は、いずれの装置でも同じく2.3節で述べたデプスカメラを用いる。

(1) 指一本・二自由度のFB-Finger2

2節で述べたように、一本の指に対して二つのサーボモータによって距離情報を提示する。

(2) 指一本・一自由度のFB-Finger

著者がこれまで開発してきた一点計測・提示のFB-Fingerとの比較検証のために、FB-Finger2と同様に二点の距離の差からサーボモータの角度を図6のように決定するように変更した。なおFB-Finger2との機械的構造や触り心地などの影響を排除するため、FB-Finger2の機構をそのまま使用し、これの指の第二関節に対応するサーボモータを固定することで一自由度の情報提示を行うデバイスFB-Fingerの代用とした。

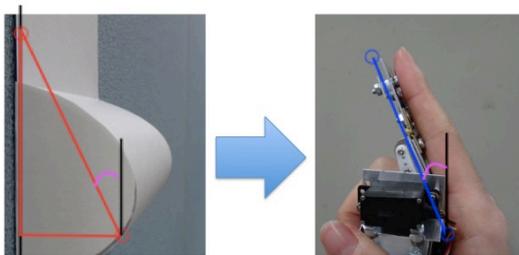


図6 二点で取得した距離情報と指の対応

Figure 6 Corresponding finger and the distance information acquired by the two-point

(3) 指三本・三自由度のFB-3Finger

人差し指、中指、薬指それぞれにFB-Fingerと似た機構を持たせ、三点で計測した距離に応じた角度をそれぞれの指に提示するデバイスFB-3Fingerを試作した(図7)

このFB-Finger3では、対象物体が700[mm]にあると仮定し、3点で計測した距離と700[mm]の差に応じて各サーボモータの角度を決定する仕様とした。

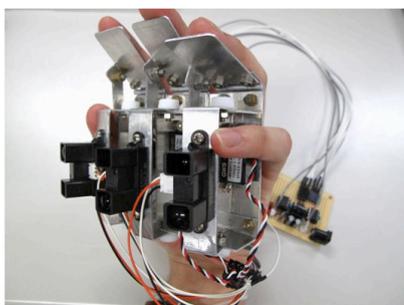


図7 試作したFB-3Finger

Figure 7 Developed FB-3Finger

3.2 実験方法

3.2.1 実験環境

被験者は、対象物を視認できないよう目隠しをした状態で椅子に座る。そして前方700[mm]の位置にある壁に4種類のオブジェクトをランダムに提示し、3種類のデバイスでそれぞれ納得するまで形状探索を行う。なおサーボモータの動作による振動と手ぶれによる距離センサへの影響を排除するため、距離計測のためのデプスカメラを縦方向のみにしか動かない器具に取り付け、その上に距離提示デバイスを装着した。

なお各デバイスの探索方向を同じ条件にするため、FB-Finger2とFB-3Fingerは探索点が縦並びの向きになるように取り付けた(図8)。実験の様子を図9に示す。

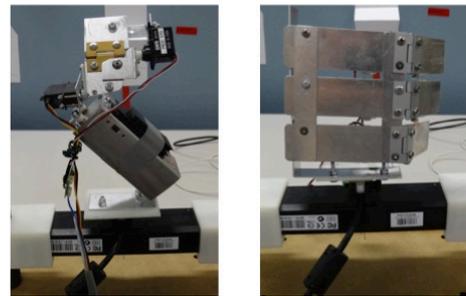


図8 FB-Finger2(左)とFB-3Finger(右)の取り付け方向
Figure 8 Mounting of FB-3Finger(right) the FB-Finger2(left)

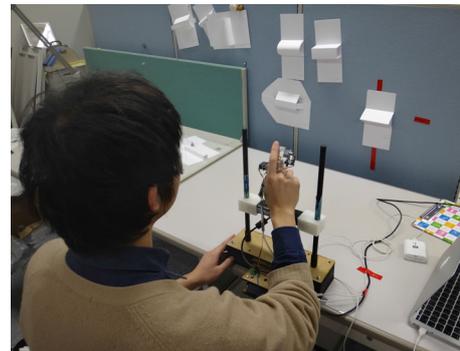


図9 評価実験の風景

Figure 9 View of evaluation experiment

3.2.2 提示物体の形状・サイズ

各デバイスで探索する対象物体は、正面からの投影面積が400[mm²], 800[mm²], 1600[mm²]である三角形, 四角形, 台形, 半円の柱体十二種類をケント紙で製作して使用した。対象物体の寸法は、例えば面積が1600[mm²]の場合、それぞれ以下になる。(図10)

- 三角形：底辺56[mm] 高さ56[mm]
- 四角形：底辺56[mm] 高さ56[mm]
- 半円：半径22.5[mm]
- 台形：上辺28[mm] 下辺84[mm] 高さ28[mm]



図 10 提示物体の例

Figure 10 Examples of Objects for experiment

3.2.3 評価実験の手順

評価実験では形状知覚実験と大きさ知覚実験の両者を順に行った。

形状知覚実験では、同一の面積で異なる四つの柱体の中からランダムで選んだ対象物を提示し、被験者にそれぞれのデバイスで探索させ、図形の種類を答えさせる。試行は各デバイスにつき 20 回行い、各試行の時間は無制限とし、被験者が納得するまでとした。

大きさの知覚実験では、同一形状で異なる三つの大きさの中からランダムで選んだ対象物を提示し、被験者にデバイスで探索させ、図形の大きさを答えさせる。試行は各デバイスにつき 10 回行い、各試行の時間は無制限とし、被験者が納得するまでとした。

なおそれぞれの実験の前に、目隠しをせずにそれぞれの対象物を各デバイスで探索する練習を、被験者が納得するまで行った。

3.3 実験結果

形状知覚実験では、面積が $1600[\text{mm}^2]$ のグループでの正答率がどのデバイスでも最も高く、面積が小さくなるほど下がる傾向にあった。デバイスごとの違いについては FB-Finger では正答率が 40% で、FB-Finger2 と FB-3Finger ではどちらも 50% とわずかな違いが見られた。また図形ごとの正答率の違いとしては、三角形と四角形の正答率が FB-Finger では 40% であるのに対して FB-Finger2 と FB-3Finger では 80%、円と台形の正答率どちらもあまり変わらず 40% という結果であった。円と台形が対象となる判別実験では、どのデバイスでも円か台形の判別を誤る事例が多く見られた。

大きさ知覚実験については、どのデバイスにおいても 80% 付近の正答率という結果が出た。詳細な結果として FB-Finger であれば $800[\text{mm}^2]$ と $1600[\text{mm}^2]$ の判別が難しく、FB-Finger2 であれば $400[\text{mm}^2]$ と $800[\text{mm}^2]$ の判別が難しいという傾向が見られた。

実験後に被験者から意見や感想を自由形式で集めた結果、形状知覚実験において FB-Finger に比べて FB-Finger2、加えて、FB-Finger2 に比べて FB-3Finger の方が直感的で物体を触っているように感じられた、という意見が見られた。また各デバイスの対象物の探索に費やした時間を計測

した結果、FB-3Finger, FB-Finger2, FB-Finger の順に時間が短かった。

4. 考察

4.1 提示自由度とユーザに与える情報の関連

FB-Finger2 と FB-Finger の正答率の違いから、提示自由度とユーザの形状知覚の関係について検討する。FB-Finger2 と FB-Finger の全体の正答率を比較すると FB-Finger2 がわずかに高いというだけで大きな違いは見られなかった。しかし、三角形と四角形に限った判別に関しては FB-Finger2 の正答率が高い傾向が見られた。これは三角形と四角形には角があり、それが複数の自由度で提示されることで被験者が特徴をしっかりと捉えられるためと考えられる。

4.2 提示される指の数とユーザに与える情報の関連

FB-3Finger と FB-Finger2 の正答率には大きな違いは見られなかったが、被験者の意見と被験者が探索に費やした時間から複数の指に提示した方が知覚しやすいのではないかと考えられる。

5. まとめ

本稿では、形状知覚における提示の自由度と提示する指の数について検討するためのデバイスを開発し、評価実験を行い、その結果について述べた。今後はこれまでの評価結果をもとに形状知覚デバイスの改良を行い、さらなる検討を進めていく。

参考文献

- 1) 山本顕剛, 秋田純一, 小松孝徳, 伊藤精英, 小野哲雄, 岡本誠: Banana: 探索行動に基づく空間認識装置, エンタテインメントコンピューティング 2009 予稿集, pp. 9-12 (2009).
- 2) 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).
- 3) 山本顕剛, 藤本義治, 清水鮎穂, 秋田純一, 小松孝徳, 伊藤精英, 小野哲雄, 岡本誠: 視覚障害者用触覚探索拡張装置の開発(1). HCG シンポジウム 2010 論文集, pp.394-399 (2010).
- 4) Hiroaki Yano, Yuichi Miyamoto, Hiroo Iwata: Haptic Interface for Perceiving Remote Object Using a Laser Range Finder, 3rd Joint EuroHaptics Conf. 2009 and Symp. on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Sys., World Haptics, pp. 196 – 201 (2009).
- 5) Takahiro Endo *et al.*: Five-fingered haptic interface robot: HIRO III, 3rd Joint EuroHaptics Conf. 2009 and Symp. on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Sys., World Haptics, pp. 458 – 463 (2009).