

方向に基づく振動提示による能動的な情報の知覚手法

早川 敬介 柏谷 篤

NEC インターネットシステム研究所

1.はじめに

近年、GPS(Global Positioning System)機器の普及に伴って、地図上の目的地や経路の探索をおこなうカーナビゲーションシステムは広く利用されるようになった。また、GPS 機能付き携帯電話のような携帯情報機器を使った測位情報にもとづいた地図情報の配信や歩行者ナビゲーションへの期待も高まっている。さらには、GIS(Geographic Information System)のように実世界の情報を空間的に管理することで利用者がより合理的な判断を行うための情報テクノロジーへのアプローチもすでに始まっている。今後、このような地図上に付帯するデジタル情報の積極的な利用が、通信網のブロードバンド化及びワイヤレス化の整備が進むモバイル環境でさらに促進され、地図を基盤に実世界とインターネット上のデジタル情報が融合した生活空間を生み出すことが予想される。

将来、デジタル情報によって拡張された現実空間では、デジタル情報の存在を直感的に把握することでデジタル情報から実世界に容易にアクセスし、逆に実世界からデジタル情報へ容易にアクセスするように実世界の情報とデジタル情報をシームレスに利用できるインタフェース技術が欠くこと出来ない。例えば、好みの料理を提供する近くのレストランが今どの方角にあるのかを知り、銀行の建物からその銀行の営業時間情報をすぐに取得するといった情報の利用を目指す場合には、見たいとき知りたいたときにいつでもどこでも誰でも簡単に情報を利用できるインタフェースが必要になる。

しかし、現在のモバイル環境で地図情報を利用する場合、地上から景色を眺めている利用者が

携帯電話や携帯情報端末の小画面に表示した地図情報(上空からの風景)を見ながら地図に付帯するデジタル情報と自身の方位や場所・建物などの関係をすぐに対応づけることを直感的に行うことが難しく、利用者は地図情報を十分に活用できていないのが現状である。

このような問題に対して、ウェアラブルコンピュータ技術に関連する研究開発が盛んである。従来技術として代表的な手法は、頭部装着型のディスプレイである HMD(Head Mounted Display)を利用してデジタル情報をコンピュータグラフィックス技術によって実世界の風景へ投影(シースルー)することで視覚的にデジタル情報の存在を表現する方法である[3]。HMD には光学的シースルー方式とビデオシースルー方式の 2 種類がある[4]。光学的シースルー方式では野外利用において屋外光によりコンピュータ画面がかき消されて見え難く、一方のビデオシースルー方式では肉眼に比べて解像度が十分に得られないなどの問題がある。HMD を用いて視覚によるデジタル情報の存在を提示する方法はある程度有効な方法ではあるが、実際の利用に関してはデバイスとしての HMD には使い勝手の改善などに課題が残るといえる。視覚以外の入力チャネルを用いてデジタル情報の存在を知覚する方法として、振動を用いた触覚による提示手法がある。例えば、Active Belt[8]では多数の振動モータを腰に装着するベルトに配して、各振動子の動作を連続的に切り替えることで振動の仮想運動(apparent movement)により目的地の方位を知覚する。このような手法は、知覚時に探索対象となるデジタル情報の数を 1 つに限定した場合に有効であるが、能動的な探索動作を伴わないため利用者の周りに散在するデジタル情報群の全体像を把握することが困難である。また複数のモータを使った触覚システムはシステム構成が複雑になりやすいという短所もある。

A method of perceiving information actively in the vibration based on a direction

Keisuke Hayakawa and Atsushi Kashitani

Internet Systems Research Laboratories, NEC Corp.

そこで、筆者らはよりシンプルなシステム構成でデジタル情報の存在を適切に知覚して利用するための手法について検討している。ドイツの心理学者カツ(D.Katz)は、「能動的に触れることで我々は自身ではなく、外界を知覚する」ことを指摘している[1]。そこで、このようなハプティクス(haptics)による知覚の心理面を考慮して、本稿では自然な動作で能動的かつ直感的にデジタル情報を知覚する手法を提案する。提案するシステムでは、能動的な探索動作によってデジタル情報の存在を直感的に知覚するために、手のひらに装着した振動子が下腕に装着した方位センサに連動して振動することで振動触覚としてデジタル情報の存在を利用者へ提示する。つまり、「手探り」のように腕を水平面上で左右に動作させることで利用者の周りに存在するデジタル情報の方向と利用者の下腕の方向が一致したときに振動触覚を得て、あたかもデジタル情報に触れたような存在感を利用者に与える。筆者らはこのような方向に基づいて振動触覚を提示する試作システムを開発して、これを用いて本手法を考察する。

2.システム構成

試作システムは、情報端末(WindowsCE 機)に接続した方向を検出するハイブリッド方位センサと振動を発生する振動モータ(振動子)によって構成する(図 1)。下腕に装着した方位センサで計測した方向に連動して手のひらに装着した振動子が振動することで、デジタル情報の存在する方向を利用者の手のひらに振動触覚として提示するシンプルなシステム構成となっている。図 1 に示すように、シリアル通信(19200bps)によって接続されたマイクロプロセッサ(PIC16F873)は、内蔵する 10bit の AD コンバータを 1 ポート使用して時分割で地磁気センサ(HS-02-G)の X 軸と Y 軸の磁界強度を電圧値として測定する。また、同時に AD コンバータを 2 ポート使用して傾斜センサ(ADXL202E)が重力加速度から得る X 軸と Y 軸の加速度を電圧値として計測する。携帯情報端末は、マイクロプロセッサからの送信データから得られる傾斜角から補正した方位ベクトルによってセンサの方位角を算出する。デジタル情報の方向と方位センサが計測する方向とが一致したとき、マイクロプロセッサがモータ駆動回路を介して振動子を駆動させて振動が発生する。一般に振動子は機械摩擦などが原因となってモータ駆動回路が出力する駆動電圧値に比例して振動強度が変化するわけではない。試作した 4 ビットのモータ駆動回路を使って振動子の

制御を行ったところ、「振動なし」、「非常に弱い振動(数十 Hz)」、「強い振動(200Hz 前後)」の 3 種類の振動を手のひらで弁別できたが、「非常に弱い振動」は遅い振動刺激のため利用者が感じる刺激が非常に鈍い。そのため、能動的な探索時において振動触覚を十分に得ることが難しいことから今回は提示する振動刺激から除くことにし、試作システムでは「振動なし」と「強い振動(振動あり)」の 2 種類で振動提示する。本システムを実際に運用するときには GPS 機能を追加して地図情報をネットワークからダウンロードする利用形態を想定するが、今回の検証にあたっては、利用者の位置を固定して携帯情報端末には能動的探索の対象となるデジタル情報の方位情報を予め蓄積することで必要十分と考える。これらの制御を含めた試作システムの動作は約 20Hz となった

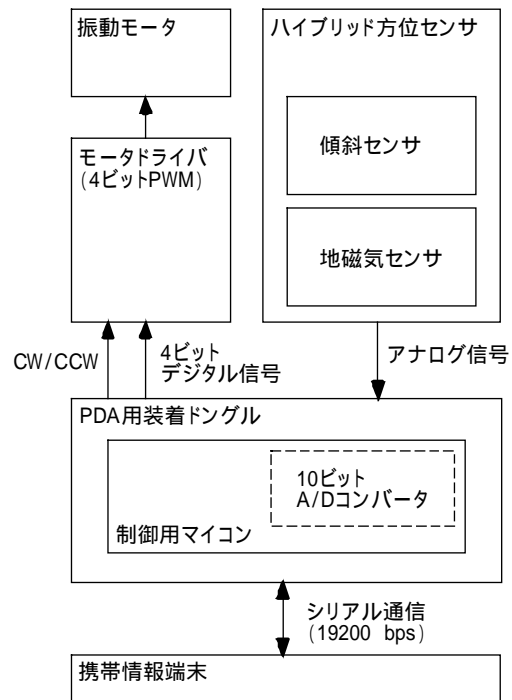


図 1 試作システムの構成

3.方向に基づく振動提示による能動的な情報の知覚の検証について

今回の検証にあたっては探索対象が自身の胸から視点までの高さで遠方に存在することを前提とした。この前提をもとに我々が周囲を手探りで探索する場合、腕の伸ばし方に個人差がみられる。簡単な予備実験では、この腕の伸ばし方の違いによって腕の傾斜角度は水平から 0 度(腕を最大限に伸ばした状態)から約 55 度(自然な体勢で腕を胸元に引き付けた状態)と傾斜角の値は一定ではない。方位センサに利用される地磁気

センサは磁束密度を捕らえる性質のものであるため、一般に地磁気センサは傾きの変化に弱いことが知られている。しかし、我々が試作した方位センサは、高感度の地磁気センサと小型の傾斜センサを併用することで傾斜角度(ピッチ角とロール角)から地磁気センサが計測する方位ベクトルを補正するハイブリッド方式のため、姿勢変化に強い [6]。今回使用するハイブリッド方位センサでは約±60度までの姿勢変化に対して0.3度の方向検出精度を保証するので、能動的な探索動作時にみられる腕の伸ばし方の違いによって計測する方向の検出精度が大きく変化することはない。

写真1に示すように、振動子は手のひらに装着する。その理由は手探りを比喩するためだけではない。振動子は携帯電話などで使用される小型振動モータを使用する。モータの回転動作によって振動を発生するので振動の出力時には振動子の周辺の磁界が変化する。そのため、振動子と地磁気センサの位置関係が計測精度に影響を与えることが予想された。そこで、能動的探索時には探索方向を向く手と下腕の方向はほぼ一致するものと仮定して、振動子は手のひらに装着してハイブリッド方位センサは情報端末と一緒に下腕の中央部に装着することで可能な限り振動子と方位センサの位置を離すことにした。



写真1 試作システムを装着した様子

そのため、試作システムの検証時には水平面上で腕を左右に動かして外界を能動的に探索するときは被験者の手首の関節を下腕に固定するように予め伝えておく。振動子とハイブリッド方位センサの配置を考慮したことで、振動出力の有無による方向の検出精度に変化は見られない。試作システムを用いて次のような検証をおこな

う。試作システムを右腕に装着した被験者の正面方向を基準(0度)として±45度、±90度の合計5方向に振動提示することによって能動的に知覚可能な探索対象を配置する。探索対象が存在する方向は被験者へは事前には知らされず、被験者自身が振動触覚によって探索する。被験者は正面が基準(0度)を向くように体勢を固定して、右腕を左右に動かす手探り動作のみで探索対象を振動触覚により知覚する。このとき、振動子が振動を発生するのに伴ってモータの駆動音がかすかに聞こえる他には、探索対象の方向を知覚することができる振動触覚以外の情報は与えない。振動を提示する範囲(振動提示範囲)は、上記の5方向に対して、(a)±0.5度、(b)±2.5度、(c)±5度、(d)±10度、(e)±20度の5種類とする(図2)。

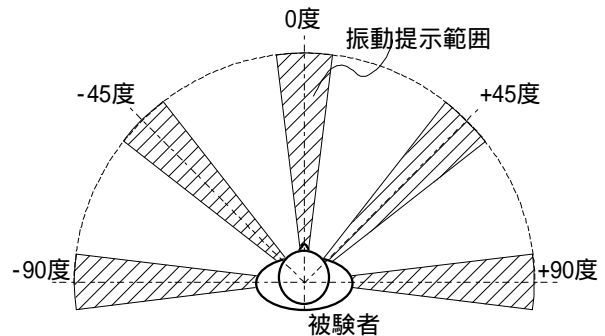


図2 振動提示による能動的な情報知覚の検証

4. 考察

被験者が水平面上で腕を左右に動かして外界を能動的に探索する場合、腕は肩および肘の関節を中心に移動するため上腕と下腕は必ずしも一直線上には並ばない。被験者が右腕を使って右側外界を能動的に探索するときは肘の関節があまり稼動せず上腕と下腕が一緒になって肩の関節を中心に腕を左右に動かすのに対して、被験者が右腕を使って左側外界を能動的に探索するときでは上腕は被験者の正面にあって肩の関節はほとんど稼動せず主に肘の関節を中心に上腕のみを左右に動かす特徴がある。ゆえに、本検証において手のひらに振動触覚を提示した場合の心理的に想起される方位の原点(心理原点)は、被験者の胸部から右肩の周辺に存在することが予想された。ただし、被験者の体勢を正面に固定しない場合では一般に能動的な探索動作時には腰部の回転動作も加わるため、このときに予想される心理原点の位置はこの限りではない。

検索対象が存在する方向は被験者へは事前に知らされていないため、実験開始時の被験者は右腕を左右に大きく動かして探索対象を知覚しようとする。そのとき、腕の動作加速度が急激に変化する場合があり、上腕部に装着された傾斜センサが計測する X 軸方向の重力加速度に腕の加速度が加わることで下腕部の傾斜角度に計測誤差がみられる。そのため、傾斜角度から補正して得られる下腕部の方向の値も微妙な誤差を含む。つまり、試作システムでは腕をすばやく動かして能動的な探索動作を行う場合には、探索対象が存在する方向を正確に知覚することが難しくなるといえる。

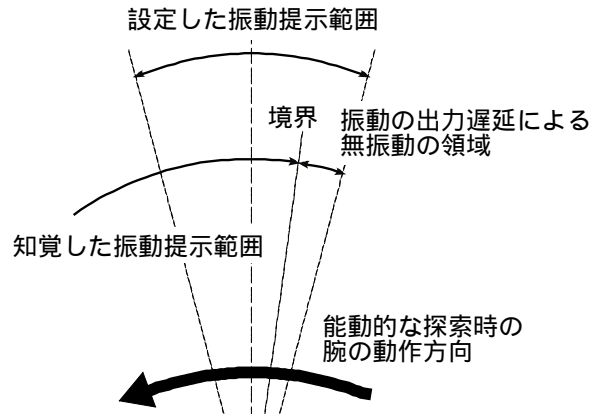


図3 振動の出力遅延に関する考察

被験者の正面方向を基準(0度)として ± 45 度、 ± 90 度の合計5方向の探索対象を振動提示で知覚するとき、試作システムでは振動提示範囲が(a) ± 0.5 度、(b) ± 2.5 度、(c) ± 5 度の3種類の場合では、探索対象を地上から垂直に伸びる線のような存在として知覚される傾向にある。これは、腕の高さに関わらず腕の方向のみで振動触覚を提示したことが原因である。つまり、一見腕を左右に動かすだけの1次元方向の能動的な探索動作であっても腕の微妙な上下の動きから探索対象を面として2次元的に捕らえようとしている可能性がある。同様の理由で振動提示範囲が(d) ± 10 度、(e) ± 20 度の2種類の場合では地上から垂直に伸びる帯状または柱状の存在として知覚される傾向にある。

腕を水平面上で左右に動かすことで能動的な探索動作を行うとき、振動提示範囲を把握する課程で腕の方向が振動提示範囲に入ってからすぐに出てしまう探索動作のオーバーシュートが起こることがある。振動提示範囲から出てしまい瞬間的に振動触覚を失ったことを被験者が知覚すると、被験者はすぐに腕を振動提示範囲に戻そうと逆方向に腕を動かそうとする。このように振動提示範囲の境界付近を頻繁に行き来することで振動子の駆動と停止が頻繁に発生する。振動子が十分な振動を発生させるために必要なモータの回転速度に達するまでの遅延時間に加えて、試作システムでは方位を検出してから振動を発生させるまでの演算上の遅延時間(約50msec)がある。そのため、振動触覚を提示する境界付近を頻繁に往来する探索動作を繰り返すと、方位を固定している探索対象が振動出力の遅延によってまるで左右に移動しているような感覚を得ることがあった(図3)。

5.まとめ

実世界とデジタル情報がシームレスに融合された空間を直感的に知覚するために、人の能力を拡張・増幅させるという視点で「手探り」のように腕を水平面上で左右に動作させることで振動触覚を用いて能動的に情報を知覚するための試作システムを構築した。今回の検証から、今後必要な方位計測技術を再考するとともに、システムの遅延時間の改良に取り組む必要がある。

参考文献

- [1]岩村:タッチ 神経心理学コレクション,医学書院(2001)
- [2] H. Ishii and B. Ullmer: Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms, In Proceedings of CHI'97, pp.22-27 (1997)
- [3] S. Feiner, et al: A touring machine: Prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment, In Proceedings of ISWC'97, pp.208-217 (1997)
- [4] S. Feiner: Augmented Reality: A New Way of Seeing, Scientific American, pp.48-55 (2002)
- [5]矢野,廣瀬,小木,田村:触覚グローブを用いた流れ場表現,情報処理学会論文誌, Vol.40, No.2, pp.414-421 (1999)
- [6]早川,柏谷,山田:磁界センサと傾斜センサを併用した方位検出による情報提示システム,ヒューマンインタフェースシンポジウム 2001 論文集, pp.135-138 (2001)
- [7]山本,泉,白銀,小島,田中,井野,井福部:振動触覚刺激による二次元方位知覚特性,ヒューマンインタフェースシンポジウム 2002 論文集,pp.21-24 (2002)
- [8]塚田,安村: Active Belt:触覚情報を用いたベルト型ナビゲーション機構,日本ソフトウェア科学会 Workshop on Interactive Systems and Software (WISS2002), pp.23-28 (2002)