

G-Shark: 磁石を利用した携帯端末 3次元入力インタフェース

PHAM THANH SON^{†1} 高橋伸^{†2} 田中二郎^{†2}

ネオジウム磁石を動かして携帯端末を操作するインタフェース-G-Shark を提案する。磁気センサの配列を利用して、磁石の3次元位置をトラッキングすることで、携帯端末の周辺スペースでの3次元インタクションを可能にした入力インタフェースである。磁石トラッキングアルゴリズムを工夫して、携帯端末の処理でもリアルタイムにインタクションできるようになった。本論文で G-Shark の実装と携帯デバイスへのアプリケーション、インタクションでの応用の考察について、また、イヤホンに入っている磁石などの普通の磁石の利用の可能性の検討についても述べる。

G-Shark: A 3D Input Interface for Mobile Device using Magnet

PHAM THANH SON^{†1} TAKAHASHI SHIN^{†2}
TANAKA JIRO^{†2}

In this paper we introduce G-Shark - a 3D interaction method for mobile device using a Neodymium magnet moved by user's hand. This magnet's 3D position will be tracked by using a magnetic sensor array, enabling users to execute 3D interaction like pointing, object manipulation tangibly by moving their hand in the space around the mobile device. We optimized magnet position tracking algorithm, and accomplished good enough response time to apply this technique in mobile device interaction. We will discuss about using G-Shark in mobile device's interaction and application, and also examining the possibility of using this method with daily used magnets like magnet attached in earphones.

1. はじめに

本研究では、携帯端末でも3次元の操作を正確に、簡単に行うことができるようにすることを目標として磁石を利用した携帯端末用の3DOF入力インタフェース「G-Shark」を開発した。本システムは複数の磁気センサを利用して、磁場の強度のデータから磁石の3次元の位置情報を取得し、その位置情報をインタラクション入力にマッピングする。3次元入力することにより、G-Shark は様々な新しいインタラクションを生み出すことが考えられる。また、この手法では、端末と磁石の間に布やプラスチックなどの障害物があっても入力することができる。カメラ、距離センサなどの場合、センサの前でジェスチャを行わなければならないため、センサはデバイスの外側に配置しなければならないが、磁気センサの場合では、この理由により、自由に配置することができる。磁気センサと磁石を利用するとき、ユーザは磁石を装着する負担があるが、磁石は電池の必要がなく、小型の携帯ストラップにしたり、スタイラスにつけたりすると簡単に持ち歩くことができる。

位置情報トラッキングは複数磁気センサを利用する線形計算手法で行ったので、携帯端末の処理でも応答時間が早く、リアルタイムに位置トラッキングができるようになった。現在は1秒で約15回のトラッキングフレームを計算することができ、インタラクションに十分な速度である。

2. 関連研究

磁気センサ利用した入力インタフェースの関連研究として Harrison らの研究[1]または Rong-Hao らの研究[2]が上げられる。Harrison らは磁気センサを利用した極座標の1次元と2次元の入力インタフェースのプロトタイプ Abracadabra を提案した。この研究では磁気センサのコンパス機能の方位検出計算方法で極座標の1次元位置を検出している。また高さを一定と仮定し、反復法で2次元位置情報を検出している。これらの位置情報を応用し、彼らは小型のデバイス用の簡単なインタフェースについて検討した。Rong-Hao らは1次元の磁気センサの配列を利用してスタイラスにつけた磁石の2次元位置と傾きを検出する Gaussense を提案した。本研究は3次元の位置情報を利用する入力インタフェースを開発し、さらに携帯端末に応用することを検討する。

また違うアプローチで Hamed らは iPhone に搭載されている方向検出用の磁気センサを使って磁気変化を検出し、パターン認識で入力を区別する手法を提案した[3]。この手法で数字の入力[4]、や仮想楽器の操作[5]などに応用できることを彼らは示した。しかし、この手法は現在携帯端末に搭載される磁気センサでインタラクションが行えるが、認識できるパターンは限定され、また学習の過程が必要となる。本研究は複数の磁気センサを必要とするが、3次元位置情報を用いてより自由な入力が可能である。

3. 磁石の位置情報のトラッキング

磁気センサで取得できる磁束密度ベクトル

^{†1} 筑波大学コンピュータサイエンス専攻
Department of Computer Science, University of Tsukuba
^{†2} 筑波大学大学院システム情報系
Faculty of Engineering, Information and Systems, University
of Tsukuba

$B_l(B_{lx}, B_{ly}, B_{lz})$ と磁石からセンサまでの距離ベクトル $R_l(a, b, c)$ の関係は(1)の式で表される。磁束密度から位置情報(a, b, c)を取得するためこの非線形連立方程式を解かなければならない。

$$B_l = B_T \left(\frac{3(\mathbf{H}_0 \times \mathbf{X}_l)\mathbf{X}_l}{R_l^5} - \frac{\mathbf{H}_0}{R_l^3} \right) \quad (1)$$

ここで B_T は磁石の強さ、 \mathbf{H}_0 は磁石の方向ベクトルで、 $\mathbf{X}_l(x_l, y_l, z_l)$ は磁気センサの位置である。この連立方程式を解くためには、反復法により近似解を求める手法を用いることが多いが、処理能力の制限がある携帯端末で、3変数の非線形連立方程式を解き、磁石の位置を検出することは困難である。そのために、Chaoら[6]が利用した磁石位置トラッキング方法の方針に従い、複数の磁気センサから線形連立方程式を立て、位置情報を推測した。また、計算を簡単化するため、磁石の方向ベクトル $\mathbf{H}_0 = (0, 0, 1)$ と固定する。これにより、各センサから次のaとbの方程式が求められる：

$$B_{lx}b - B_{ly}y_l + B_{ly}x_l - B_{lx}a = 0 \quad (2)$$

各センサから(2)の式を求め、最小二乗法で連立方程式を解くことで、aとbを求める。cはaとbを(1)に代入することで求めることができる。cを求めるときはNewton-Raphsonの反復法を利用する。計算を簡単化するため、現在のトラッキング処理では地磁気の影響まだ考慮していない。

4. 実装

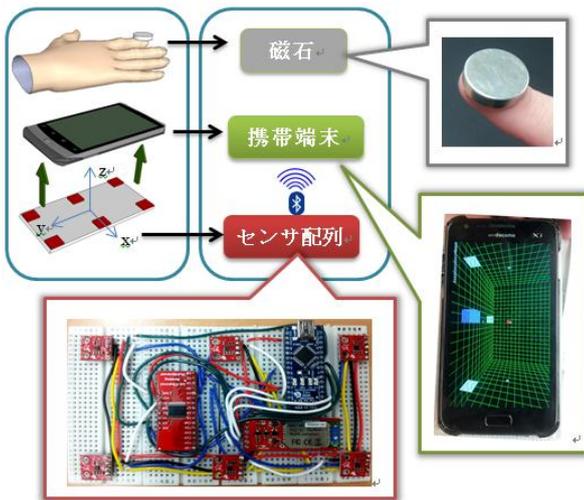


図1 - システム構成

試作デバイスとして携帯端末の裏面に2x3の磁気センサの配列を取り付けた。Arduino[7]で磁気センサを制御し、Bluetoothで携帯端末に磁気センサのデータを送信する(図1)。位置情報の計算は携帯端末で行う。今回の実装で、携帯端末はAndroid端末(Samsung Galaxy SII SC-03D)を利用した。

磁気センサは3次元磁気センサ Mag3110 (1.33cm x 1.45cm)を用い、Bluetooth Mate GoldのBluetoothシェルでBluetooth通信を行う。センサは2.5cmの間隔を空けて配置した。磁石は半径1cmのディスクのネオジウム磁石を利用した。この試作デバイスでは、センサ配列の左右上下の辺から5cm以内、上下10cm以内の空間で、磁石の位置を検出することができた。すなわち、およそ15cm x 20cm x 20cmの入力空間を提供することができる。この空間中で、位置情報計測のエラーは0.5cm以内であった(図2)。

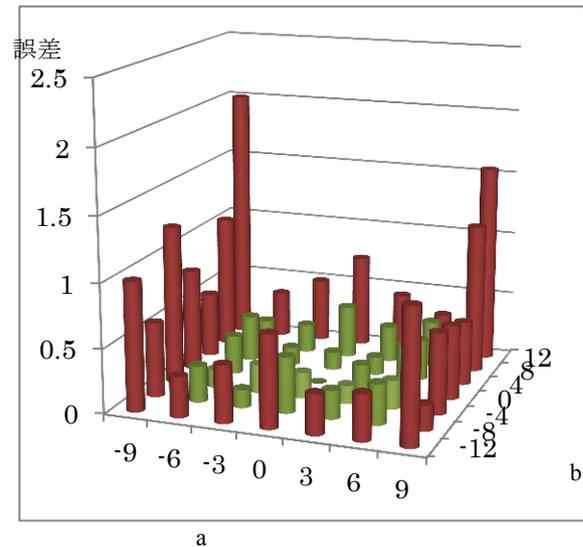


図2 - 携帯端末から5cmから離れる平面で位置情報計測の誤差の平均(cm)

5. 応用：

携帯端末では入力スペースが制限される。また、現在携帯端末で流行しているタッチ入力は直感的な入力インタフェースであるが、fat-fingerやオクルージョンの問題などにより詳細な操作が困難である。G-Sharkは入力スペースを拡張ことができ、タッチインタフェースを補足し様々な応用が考えられる。

● 3Dオブジェクトの操作

タッチインタフェースは2次元入力手法なので、3Dオブジェクト、3Dシーンの操作には難しい。G-Sharkの3DOFの入力インタフェースを利用すると、3Dシーン中の操作を安易に行うことができる。操作の例として、3Dオブジェクトの3次元位置を指定して選択したり、移動させたり、光源の位置(図3)、シーンの観察する位置(図4)を変更したりする操作が考えられる。



図4 - 光源の位置を変える



図3—シーンの観察する位置を変える

またユーザが手を動かして、直接にオブジェクトをコントロールすることができ、3Dゲームのコントローラとして利用することも考えられる(図4)。



図4—手を動かして直接にオブジェクトをコントロールする

● 裏側、サイドの空間の利用

G-Shark は携帯端末の裏側、サイドのスペースでも利用することができ、オクルージョンの問題を回避することができる。これらの空間を利用して画面をブロックせず、ポインティング、ナビゲーションすることができる。さらに、磁石を固定しデバイスを移動させる(図5)、または携帯端末をテーブルの上に置き、テーブルの下で磁石を動かして操作するなど、様々なインタラクションが考えられる。



図5—磁石を固定して、デバイスを動かし、シーンのナビゲーションを行う

● 普通の磁石の利用

普通の磁石の利用の可能性を検討するため、本システムをイヤホンの磁石(Apple社のMA662G)での実験も行った。この磁石は利用していたネオジウム磁石と比べて十分弱い磁石なので、検出できる範囲はデバイス周辺2cm以内に制限されるという結果になった。しかし、複数の磁気センサを利用するため、検出できる範囲内では、表面の位置(a,b)の正確さはネオジウムの磁石の場合と同程度であった。この結果で、携帯をポケットに入れたままに文字入力する、または、携帯の裏でポインティングするなど、便利な様々なシチュエーションが考えられる(図6)。



(a)



(b)

図6—(a)携帯をポケットに入れたまま文字を入力する
(b)G-Sharkで入力した文字

6. 終わりに

本研究は「G-Shark」—磁石を利用した携帯端末用の3次元入力インタフェースを提案した。G-Sharkは正確でスムーズな3次元インタラクションを可能にした。また、ある程度制限されるが、イヤホンでも様々なシチュエーションで利用することができた。今後の課題として、正確度をさらに向上し、地磁気のキャンセリングを実装すると考えている。

参考文献

- 1) Harrison, C. and Hudson S. E. Abracadabra: wireless, high-precision, and unpowered fingerinput for very small mobile devices. In Proc. UIST 2009, ACM Press (2009), 121-124. 2009
- 2) Rong-Hao Liang, Kai-Yin Cheng, Chao-Huai Su, Chien-Ting Weng, Bing-Yu Chen, and De-Nian Yang. 2012. GaussSense: attachable stylus sensing using magnetic sensor grid. In Proceedings of the 25th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '12).
- 3) Hamed Ketabdar, Kamer Ali Yuksel, and Mehran Roshandel. MagiTact: interaction with mobile devices based on compass (magnetic) sensor/ In Proc. MobileHCI 2010, ACM Press (2010), 443—446. 2010.
- 4) Hamed Ketabdar, Kamer Ali Yuksel, and Mehran Roshandel. MagiWrite: towards touchless digit entry using 3D space around mobile devices. In Proc. MobileHCI 2010, ACM Press (2010), pp 443—446. 2010.
- 5) Hamed Ketabdar, Amirhossein Jahanbekam, Kamer Ali Yuksel, Tobias Hirsch, and Amin Haji Abolhassani. MagiMusic: using embedded compass (magnetic) sensor for touch-less gesture based interaction with digital music instruments in mobile devices (TEI '11). ACM, New York, NY, USA, pp 241—244. 2011.
- 6) Chao Hu, Max Q.H.Meng, Mrinal mandal, A linear Algorithm for Tracing Magnet Position and Orientation by Using Three Axis Magnetic Sensors. IEEE Transactions on Magnetics, Vol 43, No.12, December 2007 pp, 4096-4101.
- 7) <http://www.arduino.cc/>