

複数の磁気センサを用いた携帯端末向け 3 次元 入力インタフェースの開発

PHAM THANH SON[†]

高橋伸[‡]

田中二郎[‡]

筑波大学情報学群[†]

筑波大学システム情報系情報工学科[‡]

1 はじめに

現在、携帯端末のインタラクションは基本的にボタン操作やタッチ操作で行われている。これらの入力のためのスペースを確保しようとした場合、携帯端末を現在より小型化することは困難である。そのため、最近では、カメラ、IR センサ、磁気センサなどを用いて携帯端末の周辺スペースを活用する手法が注目されている。中でも、磁気センサを利用して、ユーザが持っている磁石から発生する磁場を検出し、入力とする方法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、IR 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、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、磁石は電池の必要もなく、小型の携帯ストラップにすれば持ち歩くことも不便にならず、またはイヤホンなどの磁石がついている生活備品などを利用することも可能である。

本研究では、複数の 3 次元磁気センサによって、ユーザの指につけた磁石の位置を取得し、ユーザの手の 3 次元動的な動きを認識することで、携帯端末の周辺スペースを利用する入力システムを実現し、評価実験を行い、応用アプリケーションを実装した。

2 位置情報取得

磁気センサで取得できる磁束密度ベクトル $\mathbf{B}_l(B_{lx}, B_{ly}, B_{lz})$ と磁石からセンサまでの距離ベクトル $\mathbf{R}_l(a, b, c)$ 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。

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

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。

Development of 3D Input Interface for Mobile Device using Multiple Magnetism Sensor

[†]School of Informatics, University of Tsukuba

[‡]Division of Information Engineering, Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

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[1]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、位置情報を計算する。また、計算を簡単にするため、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。

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

最小二乗法でこれらの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。

3 試作デバイスの実装

試作デバイスとして携帯端末の裏面に 3 x 3 の磁気センサの配列を取り付けた。磁気センサを Arduino で制御し、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 (Android OS 2.3.4) 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) を使い、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 1cm x 1.5cm x 0.5cm の長方形ネオジウム磁石を利用した。この試作デバイスで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る。すなわち、およそ 20cm x 20cm x 20cm の入力空間を提供することができる。

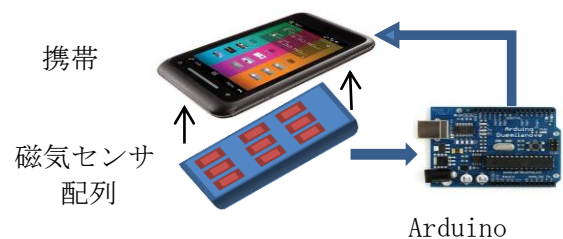


図 1 - システム構成図

4 位置計測精度の評価

実装したシステムにより計算された位置情報の精度について評価を行った。センサの配列から高さ 3cm から 7cm の平面において、磁石を動かし、システムにより計算された位置 (a, b, c) を記録した。図 2 は高さ 3cm と 6cm のときの計算結果の平面位置(a, b)を示している。実際の位置と比較すると、計算した 2 次元位置の誤差は ±3mm 以内であった (平均: 0.9mm)。この結果から、磁石をカーソルなどとして利用することは十分可能であると考えられる。

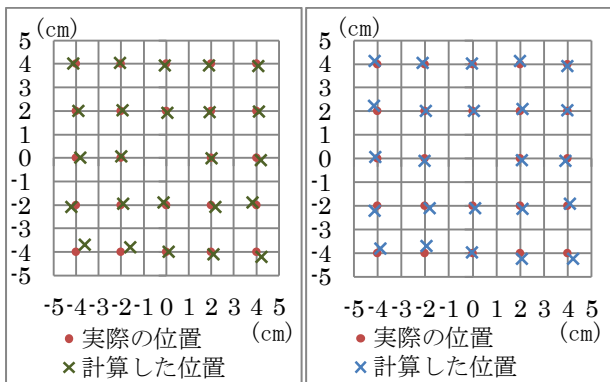


図 2. 平面の位置 (a, b) 精度の実験

左: 高さ 3cm のデータ, 右: 高さ 6cm のデータ

図 3 は 3cm から 7cm までの高さの平面において計算した高さを示している (各高さで 12 個のデータ)。実験から、高さが低いとき (3cm 以下) はセンサのオーバーフローなどの問題で精度は下がるが、ある程度の高さ以上であれば ±5mm 以内に収められることが分かった。

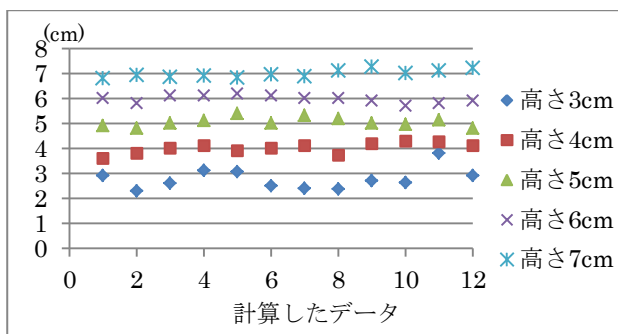


図 3. 高さ精度の実験

5 応用

3 次元の位置情報の応用として、2 次元の位置情報をカーソルとして利用し、高さの情報を用いてクリック操作や値を変更するスライダの操作などを行うことができる。また指と携帯端末の相対位置を利用してナビゲーション操作など

にも利用できる。今回は 3 次元の位置情報を利用する二つの応用アプリケーションを実装した。

- ・デジタル地図操作アプリケーション: パンニング, 拡大縮小の操作を手の前後左右と上下の移動に対応させ, 直感的な地図操作を提供する。
- ・指による手書き入力アプリケーション: 指を上げる操作で筆を上げる操作とすることで, 携帯の上 (または下) の手書き入力が行える。



図 4. 応用アプリケーションを利用するシーン

6 関連研究

Chris ら [1] は磁気センサを利用した 1 次元と 2 次元の入力インタフェースのプロトタイプを作成した。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, 携帯端末に应用する。また Hamed ら [2] 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方法を提案した。本研究は複数の磁気センサを必要とするが, 位置情報を用いてより自由な入力が可能になる。

7 まとめ

本研究では複数の磁気センサを利用することにより, 携帯端末の 3 次元入力インタフェースを開発し, 精度評価を行った。また, 応用アプリケーションを実装した。

8 参考文献

- [1] Chao Hu, Max Q.-H. Meng, and M. Mandal, "A Linear Algorithm for Tracing Magnet Position and Orientation by Using Three-Axis Magnetic Sensors," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 43, no. 12, pp. 4096-4101, Dec. 2007.
- [2] Harrison, C. and Hudson, S.E. *Abacadabra: wireless, high-precision, and unpowered finger input for very small mobile devices*. In Proc. UIST, (2009), 121-124. 2009.
- [3] Ketabdar, H., Roshandel, M. and Yüksel, K. *Towards using embedded magnetic field sensor for around mobile device 3D interaction*. Proc. MobileHCI (2010), 153-156. 2010.