

スマートウォッチのための磁気センサーを利用したインタフェース

最上 優¹⁾, 塩澤 秀和¹⁾

1) 玉川大学 工学部 ソフトウェアサイエンス学科

あらまし: 最近, 新たなウェアラブルデバイスとして腕時計型のスマートウォッチが注目されている。しかし, スマートウォッチはスマートフォンに比べてタッチディスプレイがとても小さいため, タッチ入力操作性, 正確性が課題となる。そこで本研究では, スマートウォッチの磁気センサーと加速度センサーを利用したジェスチャー入力インタフェースを試作した。ユーザが指に装着した磁石付きの指輪の動きを磁気センサーで検知することによって画面外でのジェスチャーを認識し, 手の甲を叩いたときの振動を加速度センサーで検知することによって画面外でのタッチを認識する。さらに, それらを組み合わせてスワイプ操作を可能にする。

Gestural Interface Using the Magnetic Sensor for Smart Watches

Yu Mogami¹⁾, Hidekazu Shiozawa¹⁾

1) Department of Software Science, College of Engineering, Tamagawa University

Abstract: Recently, smart watches are attracting attention as new wearable devices. However, smart watches have quite smaller screens than smartphones, so it is a problem to achieve both easy operability and sufficient accuracy of touch inputs on them. We developed a gestural user interface using the magnetic and the acceleration sensors. The system recognizes finger gestures by detecting a magnet attached on a ring, and also recognizes touches outside a screen by detecting motion by tapping on the back of the hand. Moreover, the combination of these two enables recognition of finger swipe operations.

1. はじめに

近年, 新たなウェアラブルデバイスとして, 腕時計型のスマートウォッチが注目されている。スマートウォッチはフルタッチディスプレイのユーザインタフェースを備え, その多くはスマートフォンと Bluetooth 等で連携させて, アプリの実行や通信などを行うことができる。

Google 社は, スマートウォッチ向けに Android ベースのオペレーティングシステム Android Wear [1]を開発, 提供しており, Android スマートウォッチ市場が拡大している。また, Apple 社も 2015 年春に iOS を搭載した Apple Watch [2]を発売予定であり, 注目が集まっている。

ユーザはスマートウォッチを腕に装着し, タッチ入力, フリック入力, 物理ボタン入力, 音声入力等によって操作を行うことができる。さらに, 加速度センサー, ジャイロセンサー, 磁気センサー, 心拍数センサーなどが搭載されている機種も販売されており, センサーを利用したさまざまな

アプリを開発・使用することができる。

しかし, スマートウォッチは現在主流となっているスマートフォンと比べ, タッチディスプレイがとても小さいという問題がある。図 1 に示すように, スマートフォンのディスプレイの大きさが約 4 インチなのに対して, スマートウォッチは約 1.65 インチであり, 面積の比は 1/6 程度である。このような小さなタッチディスプレイでは, 画面上での細かい操作が難しく, ディスプレイをタッチする際には画面の大部分が指で隠れてしまう。

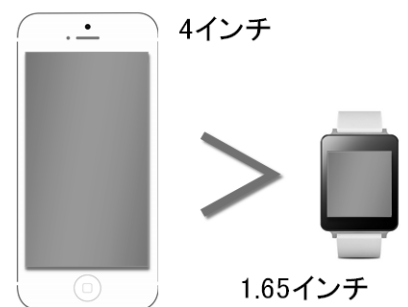


図 1 ディスプレイの大きさの比較

そこで、本研究ではスマートウォッチの磁気センサーと加速度センサーを利用したジェスチャー入力インタフェースを開発した。これは、ユーザが指に装着した磁石付きの指輪の動きを磁気センサーで検知することによって画面外でのジェスチャーを認識し、手の甲を叩いたときの振動を加速度センサーで検知することによって画面外でのタッチを認識する。さらに、それらを組み合わせてスワイプ操作を可能にする。

2. 関連研究

近年、スマートウォッチの狭小な画面における操作を実現する入力インタフェースが研究対象として非常に注目されている。ZoomBoard[3]は、スマートウォッチの画面に超小型のソフトウェアキーボードを表示する文字入力方式である。これは、最初のタッチで拡大し、次のタッチでキーを選択する入力方法によって、画面上にキーボード以外の表示領域を確保する。

中妻ら[4]は、センサーを搭載したリストバンドをつけることによって手の甲全体をタッチパネルに見立てる入力インタフェースを提案している。このシステムでは、ユーザが赤外線 LED、赤外線センサー、圧電センサーを搭載したリストバンド型端末を腕に装着することで、手の甲に触れた指を検出し、それをポインターとした操作を行うことを可能にする。

また、磁気センサーを利用した入力インタフェースの例として、Hwang ら[5]による MagPen がある。これは、両端が磁石の N 極と S 極となっているペンを使用して、タブレット端末上でさまざまな入力を行うことを可能にするペン入力手法である。このシステムでは、磁界の強さ等を検知して筆圧等を読み取ることが可能であり、画面外でのタッチや素早くペンを持ち替える動きもジェスチャーとして認識し、登録された機能を素早く呼び出すことに利用することができる。

磁気センサーを非接触ジェスチャー入力に利用する例では山本ら[6]の研究がある。この提案では、イヤホンに使用されている磁石を利用することで、

スマートフォンの操作や個人認証を行う。ユーザがイヤホンを端末の側面に沿って前後に動かすことによって、端末内部の磁気センサーが磁界の変化を読み取り、画面を上下にスクロールさせる。また、ユーザが自分のイヤホンを使って位置と向きを予め設定しておくことで、個人認証を行うこともできる。

3. 磁石を利用したジェスチャー入力の提案

本研究では、スマートウォッチにおける非接触ジェスチャーを実現するために、(永久) 磁石と磁気センサーを利用したインタフェースを提案し、それを実現するアプリの開発を行う。

さらに、手の甲をタッチする際の微量な手首の振動を加速度センサーによって検知することで、画面に触れずに行うタッチ入力を可能にする。

ユーザは、磁気センサーと加速度センサーが内蔵されているスマートウォッチ端末を腕に装着し、反対側の手の指に磁石を装着する。そして図 2 のように、手の甲に対してジェスチャー入力を行う。ユーザは、手の甲の上で指を移動することによってポインター操作を行い、手の甲をタッチすることによって対応した座標での選択を行う。

さらに、この両者を組み合わせれば、手の甲をタッチした直後に指を前後左右いずれかに素早く動かした場合に、対応した方向へのスワイプ操作として認識させることができる。

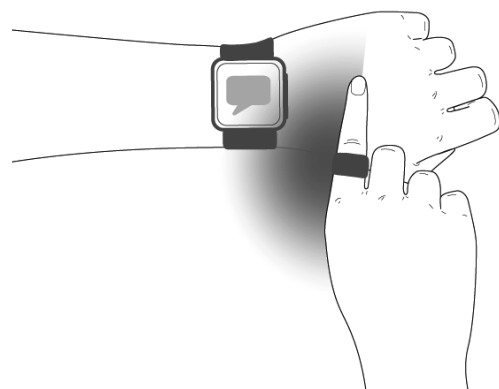


図 2 本研究の提案インタフェース

4. 試作システムの開発

4.1 開発環境と開発手順

スマートウォッチのための開発環境はまだ使いづらい点が多いので、本研究では、まず Android スマートフォンをスマートウォッチと仮定して開発を行い、その後にスマートウォッチに移植する手法を選択した。

開発に用いたスマートフォンは、LG Electronics optimus it であり、現在、スマートウォッチ端末の LG G Watch に移植を進めている。

また、指に磁石を装着するために、指輪に 2800 ガウス (0.28T) のボタン磁石を貼り付けたものを製作した (図 3)。この指輪を装着した状態の磁界の強さを基準に研究を進めた。



図 3 磁石付き指輪

本研究では、磁気センサーを用いた位置認識、加速度センサーを用いたタッチ判定、これら両者を組み合わせたスワイプ判定の 3 つの手法を実現した。本システムの解説は、図 4 に示される座標軸をもとに行う

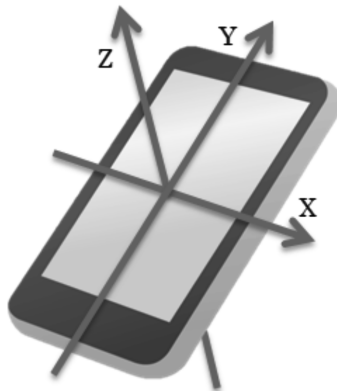


図 4 端末の空間座標

4.2 磁気センサーによる位置認識

磁気センサーは、磁界の強さを X, Y, Z 軸の 3 方向で検知する。そのため、次の式(1)を用いて磁界の強さを算出することができる。また、操作において、磁石は端末に対してほぼ水平に移動するため、X, Y 軸の値だけを用いて、次の式(2)を用いて磁界の向きを算出する。

$$\text{磁界の強さ} = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (1)$$

$$\text{磁界の向き} = \tan^{-1} \left(\frac{Y}{X} \right) \quad (2)$$

次に、磁界の強さと向きから、ベクトルの示す強さと向きを上下反転し、画面内の対応する位置にポインターを表示することで、磁気センサーの検出値の可視化を行った。ユーザが左手首に端末を装着する場合、画面中央右端がポインターの初期位置となり、左手の甲の中心に右手の指を置いた際に、ポインターが画面の中央を指すように、センサーの値と計算式を設定し、ポインターが画面内を適切に移動するように調整した。

図 5 は、ポインターが画面の中央に表示されるように磁石を近づけたときの各値の表示である。

X軸:25.36
Y軸:-0.01
Z軸:-1.45
強さ:25.40
向き:-0.01

図 5 画面中央での磁界の強さと向き

本研究ではN極とS極が近接するボタン型の磁石を使用するため、図 6 のように磁力線が大きくカーブし、磁気センサーの位置によっては磁界の向きと磁石からの方向がずれてしまう。例えば、図 8 に示した点の位置に磁気センサーがあった場合、磁界の向きは真上を指す。このように、単純な磁界の計算だけでは磁石の位置が正確に読み取れない問題が生じている。これに関しては、現在改善策を検討中している。

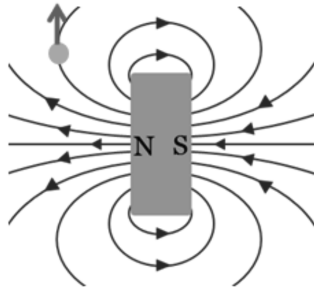


図 6 ボタン磁石の磁力線

4.3 加速度センサーによるタッチ判定

手の甲がタッチされると、その振動は端末の画面に対して垂直方向に働くため、Z 軸の加速度の変化をもとにタッチ判定を行う。

端末には常に 9.8 m/s^2 の重力加速度がかかっていることと、ユーザがスマートウォッチを操作するときには、腕を上げて胸の前のあたりに端末をおくと考えられることを考慮し、Z 軸の加速度が下向きに 6.0 m/s^2 以上のときに、端末は適切な向きにあり、入力可能な状態であるとみなす。

入力可能かつタッチ判定が行われていない状態では、適当な時間間隔で傾きのチェックを行い、加速度に $\pm 1.0 \text{ m/s}^2$ 以上の急激な変化がない安定状態の値を基準値として記憶する（し続ける）。

そして、入力可能状態時に、基準値の $\pm 1.0 \text{ m/s}^2$ 以内から下向きに 0.5 m/s^2 以上の変化があった場合にタッチ判定を開始する。約 1 秒間の加速度を記憶し、変化の前後で値がほぼ同じに戻っていれば、タッチによる振動と判定する。

図 7 はデバッグ画面での Z 軸加速度の波形であるが、ここではタッチ入力テストを 5 回行い、全てタッチと判定している。



図 7 タッチ判定における Z 軸加速度の波形

4.4 磁気と加速度によるスワイプ判定

指の動きの認識とタッチの判定を組み合わせることによって、スワイプ操作（指でタッチしてすぐに横に動かす操作）の判定を行うことができる。

前節の方法でタッチ判定が開始された場合には、同時にタッチ前後約 2 秒間の指の動きも記録し、タッチ判定が成功した場合に限り、前後における磁界の変化の比較を行い、表 1 をもとにスワイプの方向を判定する。

条件に該当しなかった場合は、単なるタッチと認識する。また、スワイプ判定の最中にタッチが行われた場合はスワイプ判定を中止し、再度改めてスワイプ判定を行う。

表 1 スワイプの方向判定
(左手に端末装着の場合)

方向	判定条件
上	磁界の向きが $+20^\circ$ 以上の変化
下	磁界の向きが -20° 以下の変化
左	磁界の強さが $+5 \mu\text{T}$ 以上の変化
右	磁界の強さが $-5 \mu\text{T}$ 以下の変化

5. 試作したアプリケーション

5.1 デバッグ用のポインター表示アプリ

本研究で提案したジェスチャー入力を実装し、デバッグを進めるために、まずスマートフォンのためのデバッグ画面アプリ（図 8）を開発した。

上の表示はスマートウォッチのディスプレイを見立てており、ここにポインターが表示される。タッチ判定が成功した際は、タッチされた位置から波紋が広がり、スワイプ入力が行われた際には、スワイプした方向の矢印が中央に表示される。

下の表示は Z 軸加速度の波形を表示している。タッチが成功した際は、タッチ判定を行った部分がマゼンタ色に変化する。

開発中は、図 9 のように手首に端末を載せながらデバッグを行い、デバッグ画面に表示される波形やポインター、値をもとに調整を行った。

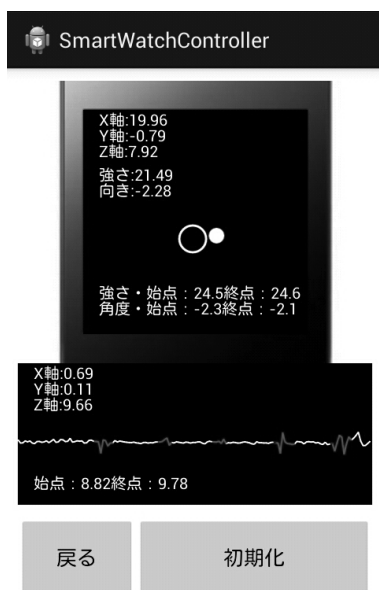


図 8 デバッグ用のポインター表示アプリ

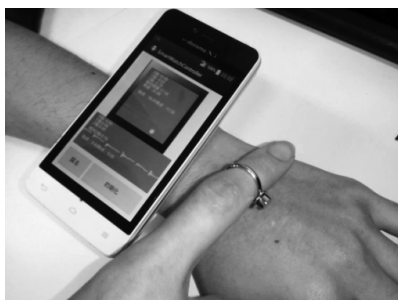


図 9 スマートフォンを用いた開発の様子

5.2 スワイプ操作による画像ビューア

また、スワイプ操作によって動作する画像ビューアの開発を行った。全画面に画像を表示し、左右のスワイプ操作によって画像をスライドショーのように切り替えることができる。

図 10 は、スマートウォッチのエミュレータ上で起動した画像ビューアである。



図 10 画像ビューア (Android Wear エミュレータ上)

5.3 文字入力機能付きメモアプリ

本インタフェースの実用性を探るため、文字入力機能付きメモアプリ (図 11) の試作も行った。画面外でのジェスチャーを用いると画面上にキーボードを表示する必要がないため、全画面に情報を表示しながら、文字を入力することができる。

入力方式は、当初フリック入力の実現を目指していたが、現時点では携帯電話のかな入力の複数回タッチ方式が実現できている。図 12 のように手の甲を縦 3 分割、横 4 分割し、各子音 (ひらがなの行) の位置をタッチすることで母音が「あ」から順に進んでいき、約 1 秒間入力が行われない時に入力文字が決定される。

手の甲の上の位置と磁気センサーの値の対応については、ユーザによる設定 (キャリブレーション) 機能を用意してある。それぞれの文字を表すマス目に対して、あらかじめユーザがタッチして座標と磁界の強さと向きを記憶させておき、それらと比較することで押された位置を判定する。



図 11 文字入力アプリ実行中の様子

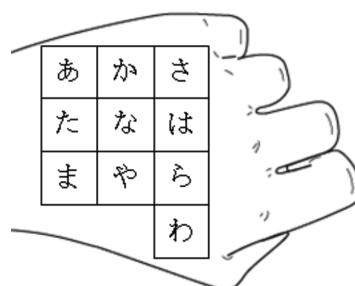


図 12 文字入力アプリにおけるかなの配置

6. 考察および今後の課題

本研究では、スマートウォッチの画面の小ささという欠点を補うひとつの方法として、画面外でのタッチとジェスチャーを実現する具体的な技術を提案できたと考えている。現在、スマートフォンで開発したプロトタイプをもとに、Android Wear のエミュレータ上で開発を進めており、実機を用いたテストが課題となっている。

本インタフェースは、磁気センサーと加速度センサーという既にスマートウォッチに搭載されている機能を用い、従来からある機能に付加する形で画面外でのジェスチャー操作を実現できることが大きな利点である。当然、画面上でのタッチ操作との併用も可能であり、個々のアプリ等で手軽に拡張的なジェスチャー操作を提供するのに利用することもできる。

現在のスマートウォッチでは音声入力による文字入力も注目されている。しかし、音声入力は顔文字などの感情を表す表現方法が難しいほか、電車の中や騒がしい場所には不向きだという問題点がある。本インタフェースのように手を使う操作にはそのような問題はない。また、今回我々は文字入力インタフェースを実装したが、音声入力を補助するような活用の可能性も考えられる。

しかし、まだ多くの課題が残されている。

本システムは磁気センサーを利用して操作するため、地磁気の影響を考慮する必要がある。そのため、現在は磁気センサーの一定時間の平均値を地磁気として差し引いて初期値を設定しているが、ジェスチャー入力中に端末の方向や角度に変化があった場合、それが誤動作の原因になることがある。現在は画面をタッチすることで改めて初期値を設定できるが、ユーザが移動しながら使用することを考え、これを自動で行う必要がある。

他に、磁石を端末に密接に近づけた場合も、磁気センサーの測定値が大きく変わってしまう問題がある。磁気関係の問題発生時に行うキャリブレーション機能を導入する必要がある。

また、端末を持ちながら上下に揺らした際に誤

ってタッチと判定してしまう場合や、指の位置認識が安定しないこともまだ多い。これらは、タッチや指の位置の判定アルゴリズムが単純であり、判定基準も不十分なことから起因する問題なので、正確な認識や判定できるようにアルゴリズムを改良する必要があると考えている。

7. おわりに

本研究では、スマートウォッチの入力インタフェースの問題点に着目し、磁気センサーと加速度センサーを利用したジェスチャー入力インタフェースを試作した。タッチディスプレイでの操作以外に、手の甲でのタッチ、スワイプ操作を加えることにより、より多くの操作が可能になった。

しかし未だに多くの課題が存在するため、それらを解決し、更に研究を進める必要がある。

謝辞

本研究を卒業研究として進めるにあたり、日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂いたビジュアルインタフェース研究室（塩澤研究室）の皆様感謝します。

参考文献

- [1] Google Inc.: Android Wear, <http://www.android.com/wear/>
- [2] Apple Inc.: Apple Watch, <http://www.apple.com/watch/>
- [3] S. Oney, et. al.: ZoomBoard: A Diminutive QWERTY Soft Keyboard Using Iterative Zooming for Ultra-Small Devices, Proc. ACM CHI '13, pp.2799-2802, 2013.
- [4] 中妻, 牧野, 篠田: リストバンド型デバイスを用いた指先位置検出による入力インタフェース; 情報処理学会インタラクシオン 2011 (インタラクティブ発表), 2011.
- [5] S. Hwang, et al.: MagPen: Magnetically Driven Pen Interactions on and around Conventional Smartphones, Proc. ACM Mobile HCI '13, pp.412-415, 2013.
- [6] 山本, 宮下: イヤホンを用いたスマートフォンの操作と個人認証; 情報処理学会インタラクシオン 2013 (インタラクティブ発表), 2013.

© 2015 by the Virtual Reality Society of Japan (VRSJ)