

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 4 月 25 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330220

研究課題名(和文)手の平に指で書く手書き文字入力インタフェースの研究開発

研究課題名(英文)Development of Handwriting Input Device Worn on a Hand

研究代表者

関 啓明 (Seki, Hiroaki)

金沢大学・機械工学系・教授

研究者番号：20270887

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：情報弱者がモバイル環境で使用しやすい、携帯端末用の手書き文字入力インタフェースを開発することが本研究の目的である。手の平に指で文字を書く動作で生じる摩擦音を3か所のマイクで取得し、その到着時間の差から指の位置を連続的に検出する原理である。摩擦音の特性解明やそれを利用した背景音との分離法、音源位置の計算の高速化、位置の滑らかさや音の周波数分布を考慮した音源のグループ化などを検討した。予備実験装置によるテストや試作・改良を繰り返して、最終的なウェアラブルインタフェースを製作し、ある程度文字が入力できることを確認した。

研究成果の概要(英文)：We are developing a portable handwriting input device for people of less computer skills. Three microphones of the proposed device catch the frictional sound generated by writing motion of a finger on a palm and the device detects fingertip position continuously from the differences of sound arrival times. We have analyzed the characteristics of frictional sound and devised the separation method from back ground noises. We have also discussed the fast algorithm to calculate sound source position and grouping of sound sources by using their position changes and frequency distributions. After testing by a preliminary experimental equipment and prototype devices repeatedly, we finally made a wearable device and confirmed the device can detect finger motion to some extent.

研究分野：ロボット工学・メカトロニクス

キーワード：ユーザインタフェース 手書き文字 摩擦音 モバイル環境 マイクロフォン

1. 研究開始当初の背景

携帯電話やモバイル端末が普及した IT 社会では、視覚障害者や高齢者もそれらを使ったコミュニケーションに関わらざるを得ない。特に視覚障害者については、メールや Web ページなどを点字ディスプレイに表示したり、合成音声で読み上げたりする技術が既に実用化している。文字を入力するインタフェースは、点字(あるいは通常の)キーボードが主流であるが、操作を習熟するのに労力がかかっている。近年は、後天的に失明した高齢者の視覚障害者も増えており、そのような者が、見えない状態でのキーボード操作に慣れることは非常に困難である。音声入力もプライベートな環境ならば良いが、公共的な場所では発声しにくい。タッチ패드などを利用したインタフェースもあるが、非目視下では、パッドの枠や小さな入力範囲に制限されるなど、使いやすさに難がある。

我々の研究グループでは、文字を覚えている後天的な視覚障害者や高齢者用の文字入力インタフェースとして、磁気を利用したインタフェースを研究開発してきた(引用文献①②)。指に磁石を装着し、もう一方の手首に磁気センサを取り付けて、磁界の変化を計測することで、磁石、すなわち、指の位置を連続的に検出する原理である。磁石をつけた指で手の平に文字を書く動作により文字が入力される。しかし、指先の磁石が他の作業の邪魔になる点や、磁石が IT 機器に悪影響を及ぼす可能性がある点などが欠点となっていた。

2. 研究の目的

そこで本研究では、指には何も装着せず、手の平に指先で文字を書く時に皮膚がこすれることで発生する摩擦音を利用した手書き文字入力インタフェースを開発する。自分の手の平に指で文字を書くのであれば、非目視下でも、書いている位置や感覚が非常に分かりやすい。基本的には、図 1 のように手首付近に配置する 3ヶ所のマイクロホンでこの摩擦音を受信し、指とマイクロホンの距離の違いによって生じる伝播時間の差から、摩擦音の音源(指)の位置を検出する原理である。

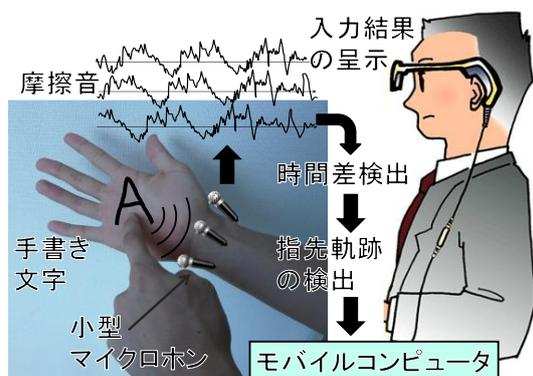


図 1 摩擦音による入力インタフェース

3. 研究の方法

手の平に指で文字を書くときに生じる摩擦音の特性を解明した上で、それらを利用した手書き文字入力インタフェースを考えていく。試作、改良を繰り返し、エラー処理など実際の環境で使用できる方法も加えて、最終的には、手に装着できる実用的なインタフェースの試作と様々な環境下でのテストを行う。具体的には次の通りである。

(1) 信頼のおける音響計測システムを用いて、手の平に指で文字を書くときに生じる摩擦音の波形の特徴や、どのような周波数成分を多く含んでいるのか、また、動かす方向によってそれらが変化するのかなど、摩擦音の特性を詳細に解明する。比較のため、指で、紙や衣類に文字を書いたときに生じる摩擦音も計測する。

(2) 指の位置検出を行う際に、3ヶ所のマイクで摩擦音を受信し、摩擦音の伝播時間の差を検出して利用することを検討する。このとき、受信したそれぞれの摩擦音の波形パターンのずれが伝播時間の差となる。どの程度マイクを離しても波形パターンに共通性が見られるか、また、高周波成分は反射波が混入しやすいといった特徴もあるため、どのような周波数帯域を利用すれば、波形パターンの共通性が見やすいかなどを調べる。

(3) 伝播時間差を検出するとき、各波形パターンをマッチングする方法を具体的に検討する。単に波形の相関をとる方法だけでなく他の方法も検討し、予備実験により有効な方法を調べる。

(4) マイクの受信音には、指の摩擦音だけでなく、その環境で生じる背景音が混入する。ただし、摩擦音と通常の背景音では、周波数成分などが大きくことなると予想される。この違いを調べた上で、摩擦音の特徴を利用して、背景音が混入しても、指の摩擦音だけ取り出す方法を検討する。

(5) マイクの配置を変えたときの位置精度の分布をシミュレーションし、検出精度の良いマイク配置を理論的/実験的に検討する。その際、マイクは、手の動きにできるだけ邪魔にならないように配置しなければならない。

(6) 小型のコンデンサマイクを用いて、コンパクトな手書き文字入力インタフェースを試作する。増幅回路における雑音除去のためのフィルタ等も慎重に検討する。摩擦音かどうかを検出する方法や伝播時間差から指先の位置を検出する方法を実装して、インタフェースを評価、改良していく。

(7) どんなに工夫しても、ある一定の割合で

位置検出エラーを生じるものであるが、手書き文字であることを利用すれば、例えば、位置は滑らかに変化するというような条件を加えることで、エラーを除去することも可能である。このような、位置検出エラーの除去方法を考案する。

(8) 最終的には、手に装着できる実用的なウェアブルインタフェースを試作する。指の摩擦音は小さい音であるため、集音構造なども検討する。実際の様々な環境下で、入力の情報性テストを行う。

4. 研究成果

まず、手のひらに指で文字を書くときに生じる摩擦音を広帯域マイクで取得し、周波数分析（スペクトログラム）を行った結果を図2に示す。オフィスの背景音や人の声との比較を行った結果、摩擦音は基本的にはホワイトノイズに近いことが分かった。人の声などと比べると、高周波成分が多く含まれ、人には聞こえない20 kHz以上の超音波領域の成分も含まれていた。

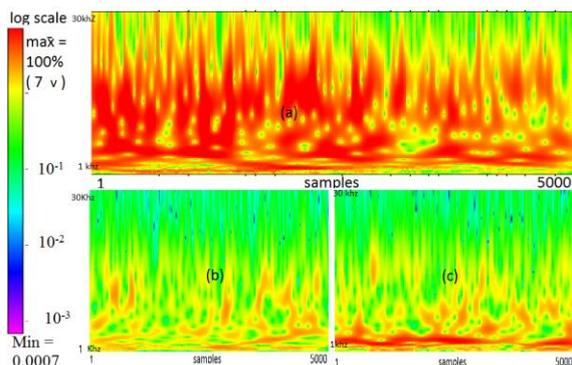


図2 スペクトログラム (a)摩擦音と背景音 (b)背景音のみ (c)人の声と背景音

この特徴をもとに、ある程度の音量の音が入力されたとき、FFTをかけた時の低周波成分と高周波成分のパワー比を計算することで摩擦音を検出した。その周波数の境界は8 kHz程度の設定したとき、検出性能が良好であった（図3）。なお、周波数の下限は1 kHz、上限は30 kHzとした。

摩擦音を検出されたならば、複数のマイクで取得した波形のずれ、すなわち、到着時間の差を検出しなければならない。いくつかの方法を検討した後、時間軸上で波形をずらしながら、最も単純な相関を取って、最も一致するところを見つける方法を採用した。

3つのマイクで取得した音の波形から、到着時間の差が2つ求まる。この時間差から、音源（指）の位置（2次元平面内）を計算する方法を考案した。厳密な解は、双曲線の交点となるが、解析的には求めにくい。そこで、最急降下法を用いて、計測された時間差に近づくように音源位置を収束させた。しかし、

この収束計算は効率的でない。音源から無限遠にあると仮定すると、到着時間差から音源の方向が簡単に計算できる。2つの時間差から、音源の2つの方向が導かれ、その交点を音源位置の近似解とすることができる。この近似解を最急降下法の初期値として用いることで、位置の収束演算を速めることができ、得られる収束解の精度も向上した。

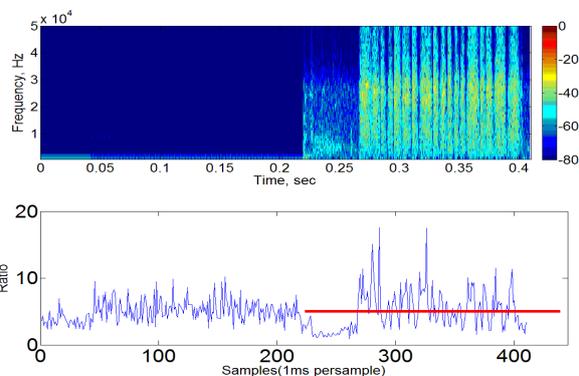


図3 周波数成分のパワー比による検出

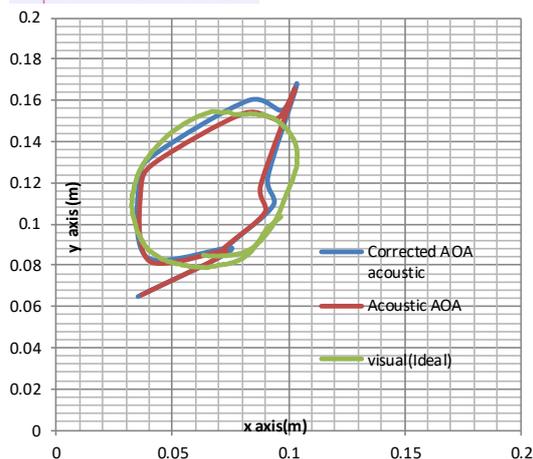


図4 予備実験装置と指の動きの検出例（緑線：カメラで追跡した真値、青線：マイクで検出した位置）

図4のように、基本的な検出方法を確認するための予備実験装置を構成した。マイクロフォンとしては、超音波も取得可能で小さなコンデンサマイクである Knowles 社製 SPM040LE5H を用いた。また、指の軌跡の本当の動きを取得して、音源位置の検出と比較す

るため、高速カメラを取り付け、指の動きをトラッキングできるようにした。予備実験の結果、軌跡が完全には一致しないものの、およその指（音源）の動きを検出できることが示された。

原理が確認できたことから、この段階で、入力インターフェースの試作を行った。それを図5に示す。センサの配置を変化させたときの位置検出精度をシミュレーションし、手に取り付けやすく、かつ、位置検出精度の良い配置を見出した。

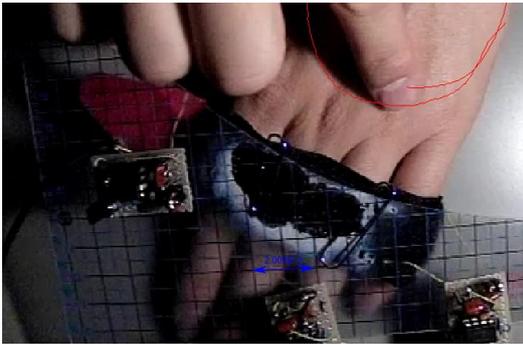


図5 入力インターフェースの試作

予備実験装置と同様、試作インターフェースでも、およその指の動きを検出することができたが、周波数成分のパワー比だけでは、完全に摩擦音だけを検出することはできなかった。どうしてもエラーが混じってしまう。そこで、摩擦音とその他の音をさらに区別する手法を考えた。音源位置をグループ化する方法である。周波数成分のパワー比を満たす音が検出される度に、音源位置を計算し、それまでに検出された音源位置の各グループの平均位置との距離をチェックする。距離が近ければ、そのグループに含め、どのグループからも遠ければ、新しいグループを生成する。周囲からくる音の位置は、手の平に相当する位置からは離れているため、それらのグループを除けば、指からの摩擦音の位置が残ることになる。結果を図6に示す。音源がグループ化されていることが見て取れる。

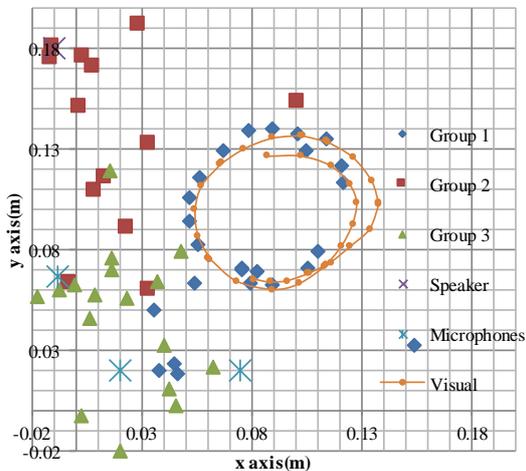


図6 音源のグループ化

さらに、異常値を除去し信頼性を高めるため、音源位置のグループ化を単なる距離だけで行うのではなく、音の周波数分布の類似度も含めてグループ化した。具体的には、1～30 kHzに対して、1 kHz毎に周波数成分のパワーを計算し、それらの差の2乗和を類似度とした。

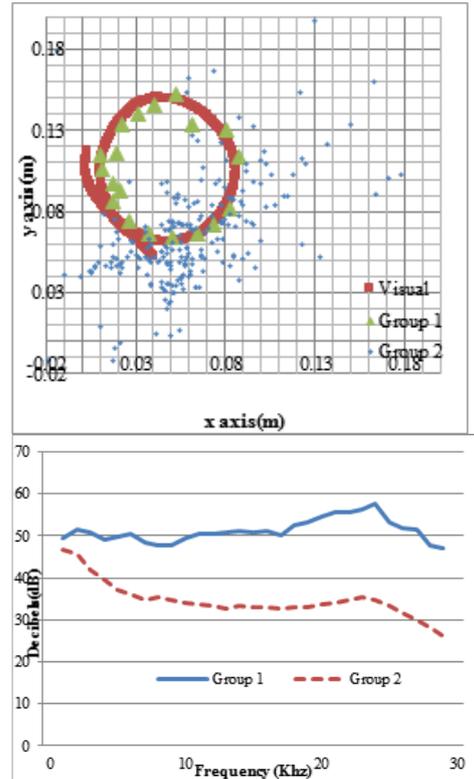


図7 周波数も考慮した音源のグループ化

以上の検討を踏まえて、何度か試作・改良を繰り返したのち、この研究としては最終的なインターフェースを試作した。図8に示す。腕時計のように、手首に簡単に取り付けられるようになっている。この際、できるだけ集音できるようにホーンを取り付ける工夫を行ったが、残念ながら、効果は大きくなく、結局ホーンはつけないことにした。

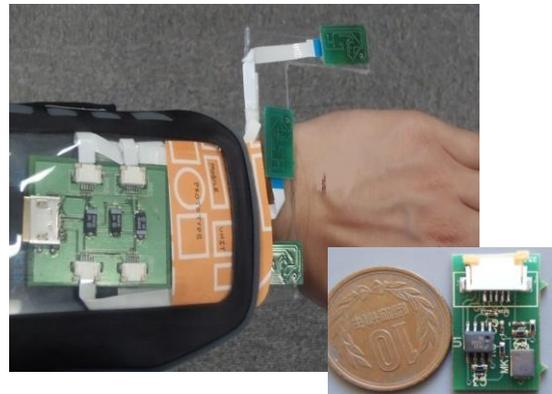


図8 最終的に作ったインターフェース

最終的に試作したインターフェースを様々

は場所で使用し、どのくらい背景音にロバストか調べた。大学の人が歩いている構内程度の環境では、十分、指の動きを入力することができたが、食堂などの騒がしい環境ではエラーが多くなることもあった。しかしながら、図10のように、手の平でなく、机や衣類の表面に指で字を書くようなことをすると、騒がしい環境でもかなり入力できることも分かり、インタフェースに新たな工夫ができる可能性があることも示された。

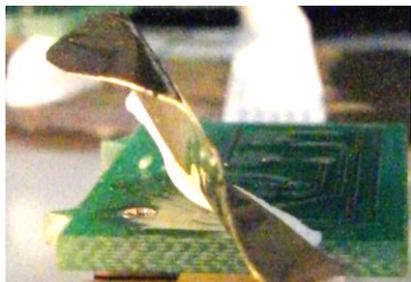


図9 集音ホーンの取り付けの試み

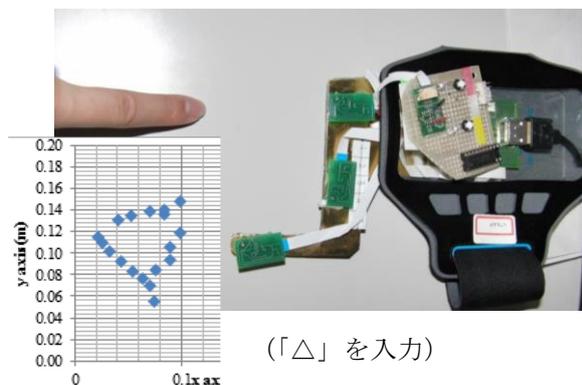


図10 机上での文字入力の試み

<引用文献>

- ① H. Seki, Y. Kobayashi, X. Han, Y. Kamiya, M. Hikizu, M. Maekawa, Handwriting Input Device Using Magnetic Field for Wearable Computing, Proc. of the 3rd Int. Conf. on Computational Intelligence, Robotics and Autonomous Systems, 2005, CDROM
- ② X. Han, H. Seki, Y. Kamiya, M. Hikizu, Wearable Handwriting Input Device Using Magnetic Field - 2nd Report: Influence of Misalignment of Magnet and Writing Plane -, Precision Engineering, Vol. 34, No. 3, 2010, pp. 425-430

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① Y. W. Leong, H. Seki, Y. Kamiya, M. Hikizu, Triboacoustic Localization for Mobile Device: Improving Accuracy

& Noise Clustering, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, Vol. 27, No. 2, 2015, pp. 200-207

- ② Y. W. Leong, H. Seki, Y. Kamiya, M. Hikizu, TRIBOACOUSTIC LOCALIZATION SYSTEM FOR MOBILE DEVICE - ENVIRONMENTAL EFFECTS TO ACCURACY -, Int. Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, 査読有, Vol. 7, No. 2, 2014, pp. 658-673
<http://s2is.org/Issues/v7/n2/>

〔学会発表〕(計1件)

- ① Y. W. Leong, H. Seki, Y. Kamiya, M. Hikizu, Verification of finger contact area on paper, The 20th Int. Symp. on Artificial Life and Robotics 2015, 2015年1月21日, 別府国際コンベンションセンター(大分県・別府市)

〔その他〕

ロボティクスメカトロニクス研究室ホームページ

<http://as.ms.t.kanazawa-u.ac.jp/robo.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関 啓明 (SEKI, Hiroaki)
金沢大学・理工研究域・教授
研究者番号: 20270887

(2) 研究分担者

疋津 正利 (HIKIZU, Masatoshi)
金沢大学・理工研究域・助教
研究者番号: 10272949

(4) 研究協力者

Leong Yeng Weng (LEONG, Yeng Weng)