

# 加速度信号の線形予測分析と重回帰による 振動環境下のタッチスクリーンタップ位置補正方式の検討

土居大夢

加藤恒夫

山本誠一

同志社大学 大学院 理工学研究科

## 1. はじめに

スマートフォンを電車やバスの乗車中に使用する状況において、振動の影響により意図した位置から大きくずれた位置をタップしてしまうことがある。本研究ではスマートフォンの加速度センサから取得した加速度信号を利用して、振動環境におけるタップ位置のずれを補正することを目的としている。

歩行時のタップ位置のずれを分析、補正する研究はいくつか報告されている。Crossanら[1]は携帯端末の加速度計を利用して、ユーザの歩行とタップ動作の関係性を調査した。その結果、ユーザは歩行中よりも座っている方が正確なタップが出来ること、またタップした時の歩行タイミングに応じてタップ位置ずれの大きさに傾向があることを示し、ユーザは無意識のうちにエラーの起こりにくいタイミングでタップすることで精度を向上させている可能性があることを示した。またタイミングに応じた補正を行うことでエラー率を下げられる可能性を示した。Goelら[2]は歩行中のQWERTY配列キーボードの入力精度を向上させるため、スマートフォン向け文字入力アプリケーションのWalk Typeを開発した。Walk Typeでは歩行中の加速度の大きさと方向からタップ位置のずれの大きさを算出するモデルや、歩行のどのタイミングであるかを特定し歩行パターンに応じた補正を行うモデルなど、複数のモデルを組み合わせることで補正する方法を提案した。その結果、歩行時における文字入力エラー率を補正前に比べて45.2%に減少させ、入力速度を12.9%向上させた。また入力の際にタッチした座標を機械学習することにより、静止時の文字入力精度も向上させた。

これらの先行研究では定常的な振動パターンを繰り返す歩行時における補正を扱っているが、電車やバスなどの乗車中に発生する非定常的な振動に対する補正は対象としていない。本稿では加速度信号データに対して線形予測分析を行い、算出した線形予測残差に対して重回帰分析を行うタップ位置ずれの補正方法を提案する。

## 2. 路線バス車内タップデータ

走行中の路線バスにおいてタッピング実験を行い、3軸の加速度とタップ位置のずれのデータを収集した。

### 2.1 タッピングデータ収集

データの収集には標準的な大きさのスマートフォン

Correction of touchscreen tapping position under vibrating environments by linear prediction analysis and multiple regression of acceleration signal

Hiromu Doi, Tsuneo Kato, Seiichi Yamamoto

Graduate School of science and engineering, Doshisha University

Nexus 5x(縦147mm×横73mm×厚み7.9mm)を使用した。タッピングの目標位置には日本語入力システムであるOpenWnn[3]上に表示した。キー上に図1の「あ」のキーの中心に示すような直径1mmの赤い点を表示する。いずれかのキーがタップされることでこの目標位置は同じキー、もしくは他のキーの中心にランダムに移動する。

日本語入力システムには3軸の加速度信号、タッチ座標、入力時刻、入力文字の記録機能を追加した。加速度信号は50Hzでサンプリングされており、キーがタップされる度に直前の100サンプル、2秒間分が記録される。

実験協力者は19歳から24歳までの大学生10名である。路線バスの進行方向を向いて着席し、端末を左手で水平になるように把持し、右手の人差し指でタッピングの目標位置を30分間タップするというタスクを課した。

実験協力者のうち9人からは1000以上のタップデータが得られたためそのうちの1000タップ分を用いた。残りの1人からは879のタップデータを得た。合計9879のタッチデータに対して分析を行った。

### 2.2 バスの振動の分析

3軸の加速度信号データに対してゼロパディングを行い、128点FFTを行った。画面に対して横方向、縦方向、法線方向をそれぞれx軸、y軸、z軸とする。基準0dBを $1.0 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$ とする全データ平均の周波数特性を図2に示す。z軸の直流成分140dBは重力加速度 $9.8 \text{ m/s}^2$ を表しており、振動は1Hz以下に集中している。

また最小分解能である0.5Hzにおいて、y軸方向のパワーはz軸方向よりも10dB小さく、x軸方向のパワーはz軸方向加速度よりも20dB小さい。この結果はバスの振動の特性以上に進行方向に対して端末の盤面が傾くことで重力加速度の影響を受けたためと考えられる。



図1 実験に使用したキーボード(6.5cm×3.1cm)

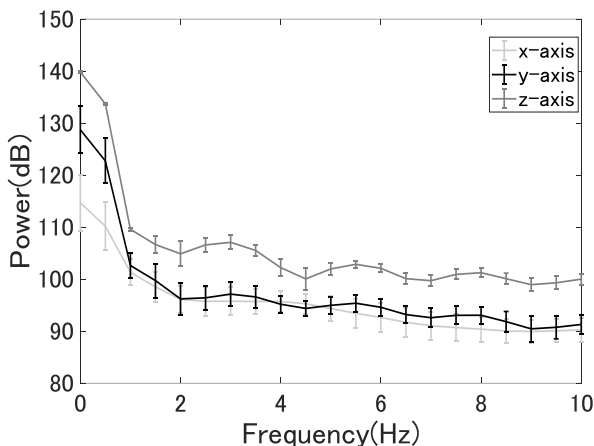


図2 路線バス内における3軸加速度信号の周波数特性

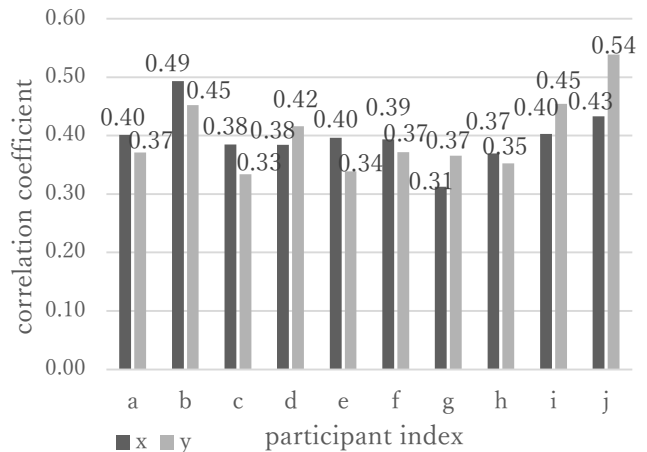


図3 実験協力者毎に求めた位置ずれの実測値と推定値の重相関係数

### 3. 線形予測残差を用いた重回帰分析

前節の周波数分析より振動は低周波成分に集中していることが確認された。先行研究[1][2]からもタップ位置のずれは直前の加速度瞬時値との相関が高いことが示唆される。予備実験として、タップの目標位置からの各軸のずれと、同じ軸の加速度 1 サンプルの瞬時値との相関を測ったところ、タップ時刻に近いサンプルほど相関係数が高いことが確認された。

そこで、加速度サンプル系列の重回帰によりタップ位置のずれを推定する。ただし、加速度のサンプル間の相関は高い。そこで、加速度サンプル系列に対して線形予測分析を適用し、その予測残差を用いることでサンプル間を無相関化し、予測残差系列に対する重回帰によりタップ位置の変位を推定する。予備実験よりタップ時刻に近いサンプルほど相関係数が高いため、後ろ向きに線形予測分析を行い、新しいサンプルから古い予測残差を求めた。

すなわち、時刻  $t$  におけるタップの各軸の目標座標からのずれを  $x(t)$ 、加速度信号を  $s(t)$  とし、加速度信号は直前の  $N$  サンプル分取得できているとすると、ずれの推定値  $\hat{x}(t)$  を

$$\hat{x}(t) = \sum_{i=0}^{k-1} \{\beta_i u(t-i)\} + \gamma_0 \quad (1)$$

で与える。ただし、 $u(t-i)$  は時刻  $t-i$  の予測残差、 $\beta_i$  は偏回帰係数、 $k$  は重回帰の次数であり  $k < N$  である。

予測残差  $u(t-i)$  は加速度瞬時値  $s(t-i)$  と線形予測による推定値  $\hat{s}(t-i)$  との差分である。

$$u(t-i) = s(t-i) - \hat{s}(t-i) \quad (2)$$

推定値  $\hat{s}(t-i)$  は、それより新しい加速度サンプル系列を用いて次式で求められる。

$$\hat{s}(t-i) = \sum_{j=1}^{\min\{i,j\}} \{\alpha_j s(t-i+j)\} \quad (i > 0) \quad (3)$$

ただし、タップ時刻  $t$  において  $\hat{s}(t) = 0$  とし、 $u(t) = s(t)$  となる。線形予測係数  $\alpha_j$  は、実験参加者毎に全データを用いて Yule-Walker の方程式を立て、これを解いて求める。

### 4. 推定結果

x 軸方向のずれを x 軸方向加速度から、y 軸方向のずれを y 軸方向加速度から推定し、真値との重相関係数を実験協力者毎に求めた。結果を図 3 に示す。実験協力者毎に求めた相関係数の平均値は x 軸方向、y 軸方向どちらにおいても 0.40 となった。y 軸方向の方が加速度信号の振幅が大きいため、x 軸方向よりも大きな重相関係数を得られることを期待したが、両者同程度の推定結果となった。

補正によりタップ位置のずれの RMSE を x 軸方向では 2.10 mm から 1.52 mm に 27.5%、y 軸方向では 1.66 mm から 1.32 mm に 20.2% 削減することを確認した。

### 5. まとめ

本稿では路線バス車内で 10 名の実験協力者から収集した加速度信号データに対して実験協力者毎に線形予測分析と重回帰分析を行うことで、タッピング目標位置からのずれの大きさの推定を行った。タッチスクリーン上の 2 軸それぞれのタップ位置ずれの大きさについて、真値と推定値との重相関係数 0.40 を得、補正により位置ずれの RMSE を x 軸方向では 2.10 mm から 1.52 mm に 27.5%、y 軸方向では 1.66 mm から 1.32 mm に 20.2% 削減することを確認した。

### 参考文献

- [1] A Crossan et al., "Gait phase effects in mobile interaction." In CHI'05 extended abstracts on Human factors in computing systems, pp. 1312-1315, 2005.
- [2] M Goel et al., "WalkType: using accelerometer data to accommodate situational impairments in mobile touch screen text entry", In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 2687-2696, 2012.
- [3] OpenWnn  
<https://android.googlesource.com/platform/packages/inputm/ethods/OpenWnn>