

## 加速度センサを用いた直線移動距離測定の精度向上方式の提案

### Proposal of A Method for Improvement in Measuring Linear Moving Distance by Using Accelerometer

磯田 健斗<sup>1</sup>      勝間 亮<sup>1</sup>  
Kento Isoda      Ryo Katsuma

#### 概要

近年のスマートフォンの普及に伴い、加速度センサが身近になり、より一層加速度センサを用いた技術の展開が見込まれる。しかし、スマートフォンの加速度センサが検出する値は、誤差が存在することがほとんどであり、実践的にそのまま利用することは難しい。本稿では、スマートフォンを移動させた時の加速度センサが検出した値を用いて推定移動距離を算出し、実際の移動距離と比較して、加速度センサの特性を解析する。その解析結果から、誤差を小さくするような補正方式を提案する。解析は、設定した条件に沿った測定方法を用いて複数個のサンプルを収集し行う。また、解析していく中で、端末の移動速度によって誤差の大きさが変化することが判明したため、最終的に、平均移動速度の変化にも対応した補正方式を提案する。

#### 1. はじめに

近年、スマートフォンの普及に伴い、それに内蔵された加速度センサが身近なものとなってきている。また、加速度センサを用いた位置推定 [1][2] や AR(Augmented Reality)[3][4] や VR(Virtual Reality)[5] などの研究も存在する。さらには、屋内や地下施設などの電波の届きにくいような場所での加速度センサを用いたデッドレコニングなどが挙げられる [6]。例えば、上坂らは、加速度センサと地磁気センサを同時に使用し、その端末の所持方法や歩数、歩幅、進行方向を判別するデッドレコニング手法を提案している [7]。こういった加速度センサを用いた研究では、センサが計測した値をもとに移動距離などを算出することが多い。しかし、スマートフォンの加速度センサによって検出された加速度から、その移動距離を算出しても、実際の移動距離とは大きく異なることが多い。その結果、加速度による位置推定などの際にスマートフォンの加速度センサを用いるとサービスの質が低下してしまう問題がある。そこで本研究では、最も基本的な移動方式であるスマートフォンの直線一振り運動で検出される加速度に補正を施し、その距離測定の精度を向上させる方式を提案する。直線一振り運動とは、静

止状態から回転することなく直線上を移動して再び静止状態になる一連の運動のことを言う。

まず誤差の特性を調査する予備実験として、スマートフォンを手を持った状態で 1[m] の直線一振り運動を行い、加速度を計測する。その際、複数回計測を行うにあたって、平均移動速度を 0.2[m/s] から 1[m/s] まで変更しつつデータを収集し、それらの加速度から移動距離をそれぞれ計算した。その結果、移動速度を小さくしたデータほど、1[m] よりも小さい結果を示すことや、スマートフォンを静止させていても、微量な値が検出されることが分かった。

以上の結果をもとに、本研究では移動距離測定の誤差を軽減させる補正方式を提案する。データの収集には一貫して、計測開始時と終了時はスマートフォンの速度を 0 にするという条件を設定する。また、この条件を設定することにより、加速度を積分した値が速度になることから、加速度のグラフの正と負の面積が等しくなることが成り立つはずである。よって、この関係と計測値を比較して精度向上方式を考察していくことを基本方針として、補正を行う。

#### 2. 予備実験

本章では、実験環境をまとめ、生のデータから得られた情報について述べる。

##### 2.1 実験環境

本実験で使用したアプリは、INNOVENTIONS,inc. の Sensor Kinetics Pro で、携帯端末は、Xperia X Performance SO-04H を使用した。アプリの設定によって、加速度値の計測はおよそ 70Hz の周期で離散的に行われた。また、計測は、端末を手保持したまま、初速度 0[m/s] の状態で計測を開始し、速度 0[m/s] の状態で計測を終了する方法で、直線一振りにスマートフォン上の x 軸方向に 1[m] 移動させて行った。

この環境下で、平均移動速度を 0.2[m/s]・0.4[m/s]・0.6[m/s]・0.8[m/s]・1.0[m/s] と 5 種類に分けてそれぞれ 20 個のデータを収集し、データを解析する。

##### 2.2 計算方法

加速度値の検出は離散的に行われるため、移動距離の算出は台形公式を用いた二回積分をして行った。 $t_n$  を  $n$

<sup>1</sup> 大阪府立大学, Osaka Prefecture University, Sakai, Osaka 599-8531, Japan

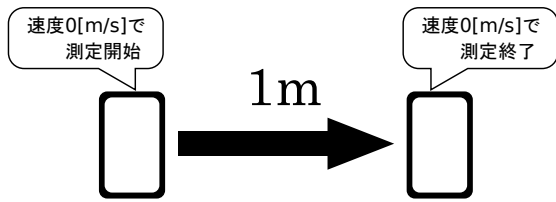


図 1: スマートフォンの動かし方のイメージ

番目の加速度が検出された時間,  $f(x)$  を時刻  $x$  における加速度 (もしくは速度) とすると, 台形公式は以下の式 (1) で表される.

$$S = \sum_{k=1}^n (t_k - t_{k-1}) \frac{f(t_k) + f(t_{k-1})}{2} \quad (1)$$

### 2.3 計算結果

計算結果は図 2 のようになった.

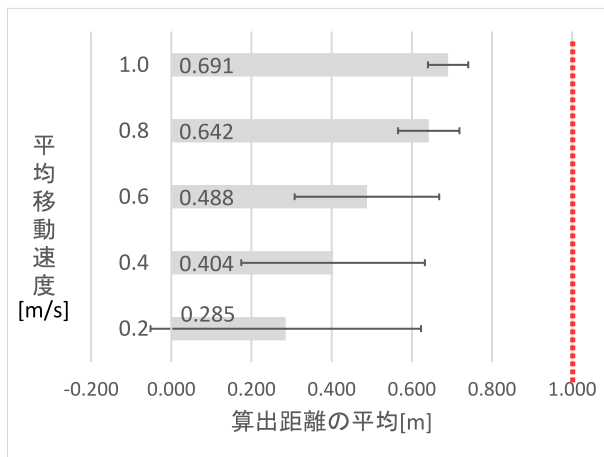


図 2: 補正なしの結果

図 2 から見て取れるように, 平均移動速度が小さくなるほど, 算出される距離の誤差が大きくなるのが分かった. これより, 実際の速度が小さい, つまり実際の加速度が小さいものほど検出される加速度の値が小さくなっていくのが分かった. また, 測定方法の条件の一つである「初速度 0 で測定開始し, 速度 0 で測定を終了する」ことから, 検出される加速度のグラフの正の面積と負の面積の値が一致するはずであるが, 実際にはどのデータも一致していなかった. これは, スマートフォンを動かす際に, 加速と減速の勢いに差が生じたためと思われる. さらに誤差が発生する要因として挙げられるのは, 手に保持したままの運動であるので, 端末の角度を固定しきれずに, 加速度が移動方向以外の方向に分散されてしまったことである.

## 3. 提案補正方式

本章では, 2.3 節でまとめられたデータに対して, 誤差ができるだけ少なくなるような補正方式を提案していく. 2.3 節でもまとめたように, 一致するはずであるグラフの正と負の面積が一致しないことに着目して補正方式を考察する.

### 3.1 速度の増減を一致させる補正

速度の増減の一致がこの実験の条件であるため, まずその条件に一致するように補正を行った. 今回求めた補正值  $\lambda$  は, 以下の式 (2) に示す. また, 補正のイメージも図 3 に表す.

$$\lambda = \left| \frac{\sum \Delta v_m}{\sum \Delta v_p} \right| \quad (2)$$

( $\Delta v_p$  は速度の増加を,  $\Delta v_m$  は速度の減少を表す.)

実際に移動させたときの加速度の値が小さいほど, 検出される値の誤差が大きくなることから, 補正対象は, 正と負の面積の中で総合的に面積の小さい方とした. よって, 補正後の加速度  $a_c$  は, 以下の通りになる.

$$a_c = \begin{cases} \lambda \cdot a & ((\lambda > 1) \wedge (a > 0)) \\ \frac{a}{\lambda} & ((\lambda < 1) \wedge (a < 0)) \\ a & (otherwise) \end{cases}$$

以上の補正を, 検出された加速度すべてに対して行い, 二回積分をして距離を求めた.

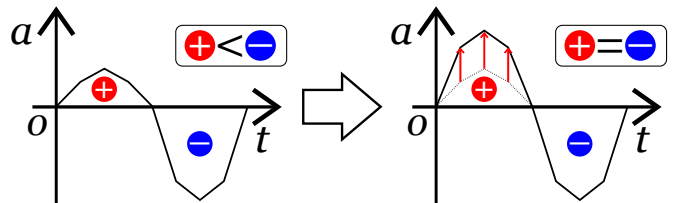


図 3: 補正のイメージ

### 3.2 平均加速度による補正

3.1 節の補正方式だけでは, スマートフォンを移動させた際の平均速度が小さいものほど誤差が大きくなることに変化はなかった. よって次に, 計測の全体を通して検出される加速度の値の平均を, 実際の平均速度の評価値とし, それに対応した補正值を求める関数を決定し, 全体の加速度に補正を行う.

#### 3.2.1 評価値

計測の際の移動速度の大きさの評価値は, 検出されたそのままの加速度の値を用いて算出する. その値  $A$  は以

下の式 (3) で求められる。

$$A = \frac{\sum_{k=0}^N |a_k|}{N} \quad (3)$$

( $a_k$  は  $k$  番目に検出された加速度,  $N$  は検出された加速度の総数を表す.)

また, 本研究でのサンプルデータ内における, 実際の平均移動距離と評価値  $A$  との関係を以下の表 1 にまとめる。

表 1: 平均移動速度と  $A$  の関係

移動速度 [m/s]	$A$ の範囲
0.2	0.122~0.206
0.4	0.220~0.458
0.6	0.445~0.754
0.8	0.803~1.187
1.0	1.144~1.376

表 1 の通り, 0.4[m/s] と 0.6[m/s] の間における  $A$  の範囲の重複は存在するが, 2.3 節でも述べたように, サンプルデータには誤差も存在するので, この重複も誤差の一つとし, 補正の際は式 (3) で求められる評価値が信頼できるものと認め, そのまま用いた。

### 3.2.2 補正值の算出

3.2.1 節で得られた評価値と, 解析用に得たデータから求められる理想の補正值との関係を図 4 に示した。(ここでいう理想の補正值とは, 3.1 節で求められた補正後の距離の結果を  $x$  とした,  $\frac{1}{x}$  の値, つまり, 3.1 節における提案手法で補正した後に, さらに加速度全体に掛けると算出距離が丁度 1[m/s] になるような値のことである。)

ちなみに, 結果は後に記述するが, 3.1 節にて提案した補正方式を行ったデータの内, 0.6[m/s] 以上で計測したデータの誤差は比較的小さかったため, それ以上の補正を行わないことにした。評価値では, 平均 0.4[m/s] で移動させた際の範囲に含まれる,  $A = 0.4$  をしきい値として用い,  $A > 0.4$  であった場合, 補正を行わないこととする。これは, 評価値  $A$  が 0.4 を下回ると, 実際の移動距離との差が大きくなる割合が高かったためである。よって, 図 4 では, 0.2[m/s] と 0.4[m/s] で計測したデータ計 40 個のみをプロットした。このデータを用いて, 実際に補正值を算出する関数を対数近似にて導出する。導出は以下の式で表される。

$$y = a \ln(x) + b$$

$$\ln(x) = X$$

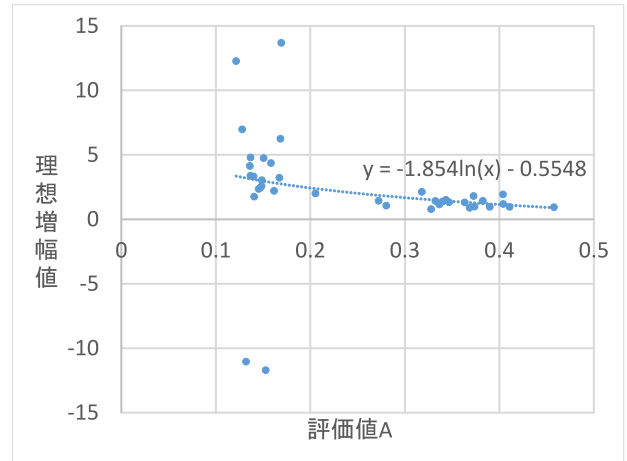


図 4: 理想増幅値と評価値の関係の散布図

観測値の数は 40 個であるため, それぞれのデータに 1 ~ 40 の番号を割り当てたとし, 最小二乗法より,

$$E = \sum_{k=1}^{40} (aX_k + b - y_k)^2 \quad (4)$$

が最小となるような  $a, b$  を求める。

式 (4) より,

$$\frac{\partial E}{\partial a} = \sum_{k=1}^{40} 2X_k(aX_k + b - y_k) = 0$$

$$a \sum_{k=1}^{40} X_k^2 + b \sum_{k=1}^{40} X_k = \sum_{k=1}^{40} X_k y_k \quad (5)$$

また, 同様に

$$\frac{\partial E}{\partial b} = \sum_{k=1}^{40} 2(aX_k + b - y_k) = 0$$

$$a \sum_{k=1}^{40} X_k + 40b = \sum_{k=1}^{40} y_k \quad (6)$$

以上の (5), (6) について解き,  $a, b$  を求める。

以上の導出を行い, 定まった関数は,

$$f(x) = -1.854 \ln(x) - 0.5548 \quad (7)$$

となった。よって, 評価値  $A$  の小さいものに関しては, この関数を用いてさらに補正を行った。

## 4. 補正結果

本章では, 3. 章にて提案した補正方式を実際に用いて, 再度距離を算出し, 得られた値に対し考察を行った。

#### 4.1 速度の増減を一致させる補正の結果

3.1 節にて求めた補正方式を行った際の結果を図 5 にまとめた。

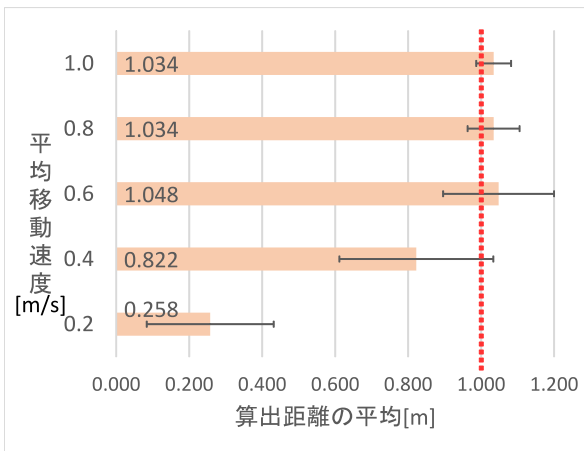


図 5: 速度の増減を一致させる補正の結果

図 5 からわかるように、実際の平均移動速度が  $0.6[m/s]$  以上のデータでは、平均値ではほぼ誤差なく算出できた。それに対し、実際の平均移動速度が  $0.4[m/s]$  のデータは、 $0.6[m/s]$  以上のデータと比べてやや精度が落ちた。 $0.2[m/s]$  に至っては、距離として負の値を算出していたものもあり、とてもばらつきが大きく、信頼できる結果とは言えなかった。この結果から、2.3 節でも述べた、実際の加速度が小さいほど誤差が大きくなる性質が、単にグラフの正負の面積の大小を一致させるだけでは補正しきれないものだと分かった。つまり、 $0.2[m/s]$  ほどの速度でスマートフォンを移動させると、検出される加速度のほぼすべてに誤差が存在するといえる。

#### 4.2 平均加速度による補正の結果

3.2.1 節にて求めた補正方式を用いた際の結果を図 6 にまとめた。

図 6 からわかる通り、 $0.2[m/s]$ 、 $0.4[m/s]$  における結果の平均値の精度が向上した。しかし、式 (7) の関数の導出に用いたデータに対しての結果であるので、これだけではこの関数の信頼性が証明できない。よって、次節では、新たに取り直した 10 個のデータを用いて、この関数の信頼性を考察した。

#### 4.3 未知のデータの補正

補正方式の確定後、新たに 10 個のデータを収集し、提案した補正方式を用いて図 7 に結果をまとめた。ちなみにこのとき、平均速度がデータ間でばらつくように計測を行った。また、見やすいよう、下から上にかけて評価値  $A$  が大きくなるように順番を変えている。

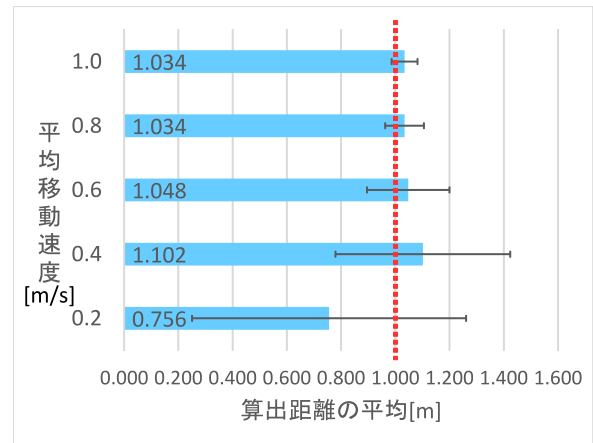


図 6: 平均加速度による補正の結果

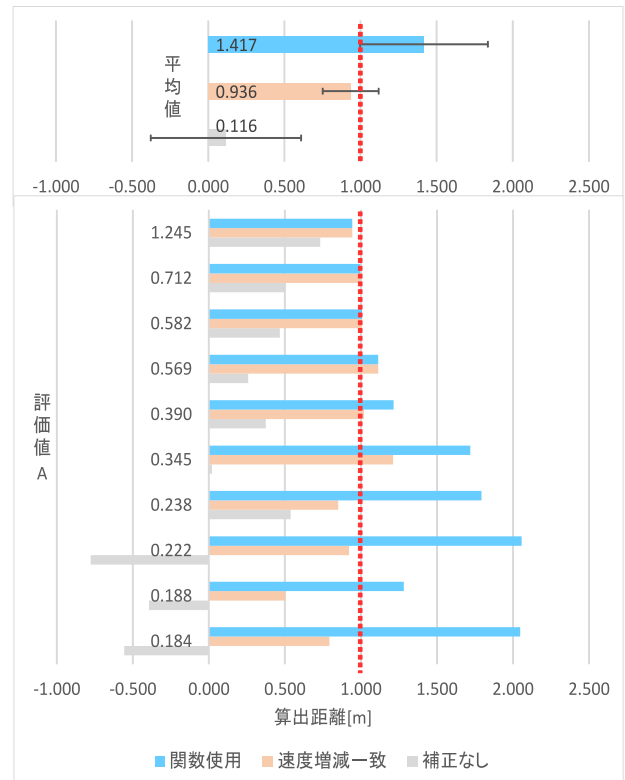


図 7: 新たに収集したデータを補正した結果

図 7 から分かるように、3.1 節で述べた速度の増減を一致させるように補正されたデータは最終結果の誤差が小さくなってきているのに対して、3.2 節の平均加速度を評価値として用いる方式で補正されたデータは、むしろ誤差が大きくなってしまった。これより、3.2.1 で導出した関数では、さらなる精度の高い補正は望めないといえる。より精度の高い補正を行える関数を求めるなら、より多くのサンプルを収集する必要がある、また、今回用いた評価値  $A$  や、それを用いた補正を行う判定条件も見直し

なければならない。

## 5. まとめ

本稿では、スマートフォンの加速度センサが検出する値を用いて距離を算出する際の精度の向上方式を提案し、それについて考察を行った。結果として、今回3章にて提案した2つの内、3.1節の、速度の増減を一致させる補正の方が、精度の高い補正方式であることが分かった。また、本研究を通して、スマートフォンを移動させる際、速度が小さくなるほど誤差も大きくなり、その値はほとんど信頼できないことも合わせて分かった。よって、様々な速度で移動するときに移動距離を測定する場合、さらに高度な補正をかける必要がある。

## 参考文献

- [1] 池谷 直紀, 菊池 匡晃, 長 健太, 服部 正典 : ”3軸加速度センサを用いた移動状況推定方式”, 情報処理学会研究報告, 2008-UBI-19, pp.75-80 (2008).
- [2] Muhammad Yasir, Siu-Wai Ho, and Badri N. Vellambi: “Indoor Positioning System Using Visible Light and Accelerometer,” *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 32, Issue 19, pp. 3306–3316, 2014.
- [3] 興梠 正克, 蔵田 武志 : ”感性センサ群とウェアラブルカメラを用いた歩行動作解析に基づくパーソナルポジショニング手法” 電子情報通信学会研究報告, 信学技報, PRMU, 2003-260, pp.250-30 (2004)
- [4] Kelly R. Anderson, Michelle L. Woodbury, Kala Phillips, and Lynne V. Gauthier: “Virtual Reality Video Games to Promote Movement Recovery in Stroke Rehabilitation: A Guide for Clinicians,” *Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, Vol. 96, Issue 5, pp. 973–976, 2015.
- [5] Bacca Jorge, Baldiris Silvia, Fabregat Ramon, Graf Sabine, Kinshuk: “Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications,” *Journal of Educational Technology & Society; Palmerston North 17.4*, pp. 133–149, 2014.
- [6] 興梠 正克, 石川 智也, 蔵田 武志 : ”歩行者デッドレコニングに基づくハンドヘルド端末の屋内外測位技術” 電子情報通信学会研究報告, 信学技報 MVE2010-96, pp.171-176 (2011)
- [7] 上坂 大輔, 村松 茂樹, 岩本 健嗣, 横山 浩之 ”手に保持されたセンサを用いた歩行者向けデッドレコニング手法の提案” 情報処理学会論文誌, Vol. 52 No. 2 558-570(Feb. 2011)