

# 研究速報

## 3次元加速度・角速度計測による筆記文字再現

宮川 透<sup>†</sup> (学生員) 米澤 義道<sup>†</sup> (正員)  
伊東 一典<sup>†</sup> (正員) 橋本 昌巳<sup>†</sup> (正員)

Handwritten Pattern Reproduction Using 3D Pen Acceleration and Angular Velocity

Tohru MIYAGAWA<sup>†</sup>, Student Member,  
Yoshimichi YONEZAWA<sup>†</sup>, Kazunori ITOH<sup>†</sup>,  
and Masami HASHIMOTO<sup>†</sup>, Regular Members

<sup>†</sup>信州大学工学部情報工学科, 長野市

Information Engineering, Faculty of Engineering, Shinshu University, 4-17-1 Wakasato, Nagano-shi, 380-8553 Japan

あらまし 本論文では、ペンに加速度センサとジャイロセンサを装着して3次元の筆記加速度・角速度を計測し、これらの情報から筆記パターンの再現を試みる。ペンの動作情報を利用することにより専用の筆記面を必要としない、新たな手書き入力インターフェースの可能性について検討する。

**キーワード** 筆記加速度、筆記角速度、手書き文字入力、筆記文字再現

### 1. まえがき

これまで、人間とコンピュータ間の情報伝達を容易にするため、様々なヒューマンインターフェースに関する研究が行われてきた。利用者にとって直感的で自然なインターフェースはコンピュータの操作を容易にし、習熟のための努力など利用者の負担を大きく減らすことができる[1]。

文字情報をコンピュータに入力する際にはキーボードと比べ、ペン型の入力装置は比較的自然に扱えるインターフェースである。我々は幼いときから鉛筆を用いた筆記に慣れ親しんでおり、これと同じ要領でペン入力インターフェースを扱うことができる。これまでペン型の代表的な入力装置にはタブレットやディジタルイザなどがあり、手書き入力の特長を生かしてCAD(Computer-Aided Design)や携帯情報端末などのインターフェースとして、広く用いられてきた。しかし、これらの装置はペン先の位置を読み取るために専用の筆記面を用いており[2]、利用者に通常の筆記と比べて違和感を与える。また、今後様々な形態で使用されていくと予想される携帯情報端末の入力装置として、筆記面の小型化と書きやすさのバランスが問題となる。

そこで我々は筆記面を携帯することなく、通常の紙面に筆記するときと同じように手書き入力可能なインターフェースの実現を目指して研究を進めてきた。具体的にはペンの筆記軌跡を求めるためにペンの内部に加

速度センサを内蔵し、加速度を2回積分することによりペン位置を求める試みた[3]。しかし、加速度計測の際に重力加速度を同時に検出してしまう問題があり、筆記パターンを再現する際に大きな誤差要因となっていた。そこで、2軸の加速度センサを2個用いることにより重力の影響を除去し、おおよその筆記情報をとらえることが可能となった[4]。しかし、紙面から離れている際の3次元の運筆情報やペン軸のねじれなどが存在するため、更なる筆記軌跡の再現精度向上のためにはこれらの問題を解決する必要があった。

本論文では筆記時のペンの3次元加速度と角速度を計測し、これらの情報から手書き文字を再現することを試みた。その結果、文字のある画から次の画へ移動するときの軌跡など、これまで計測が不十分であった動きもとらえることが可能となった。

### 2. 3次元筆記軌跡の再現方法

3次元の加速度、角速度を用いて現在の位置を求める方法は航空機の慣性航法の分野で研究されて実現されている。1970年代後半には、それまでの機械的な安定プラットホームを用いたシステムから加速度計とジャイロを直接機体に取り付けたストラップダウン慣性基準システムが用いられるようになってきた[5]。しかし当時、加速度センサとジャイロセンサを用いたシステムは人体に装着するには大きく、小型化により人間の動きの計測に応用され始めたのは最近のことである。3次元加速度・角速度から移動軌跡を求める方法としては、オイラー角によるものとクォータニオン法によるものがあるが[6]、本論文では比較的理解しやすいといわれるオイラー角を用いる方法により筆記軌跡を求める。

図1にペンに取り付けた加速度センサとジャイロセンサの検出軸を示す。3軸の加速度座標軸原点と角速度座標軸原点は距離的に離れているが、角速度の座標軸はペン上でベクトルが平行であればどこの場所でも等しい角速度を計測可能であるので、図1の加速度センサとジャイロセンサの位置での角速度は同一である。

#### 2.1 加速度ベクトルの変換

図2に示すように、ある任意のサンプル時間において、3次元座標系XYZで観測された加速度と、XYZがX軸、Y軸、Z軸を中心にそれぞれ $\phi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$ ずつ回転した座標系 $X_1Y_1Z_1$ で観測される加速度について考える。ここで、最初の座標系上での任意のベクトル $\mathbf{u}$ の座標を $(x\ y\ z)^T$ 、回転後の座標系上での $\mathbf{u}$ の座標を $(x_1\ y_1\ z_1)^T$ とする。ベクトル $\mathbf{u}$ について、そ

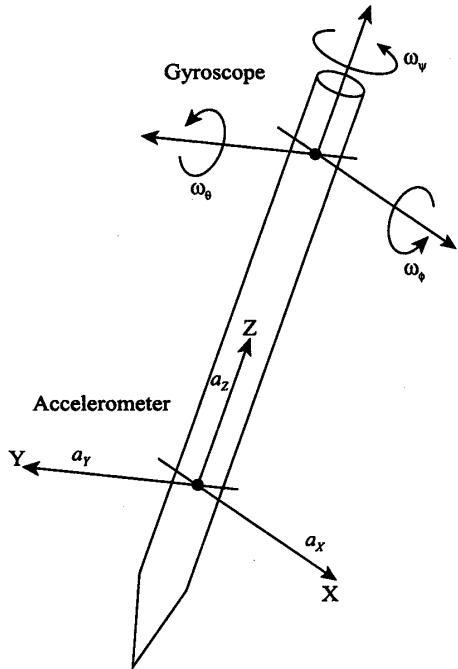


図 1 ペンに装着した加速度センサとジャイロセンサの検出軸

Fig. 1 Sensing axes of accelelometer and gyroscope attached to the pen.

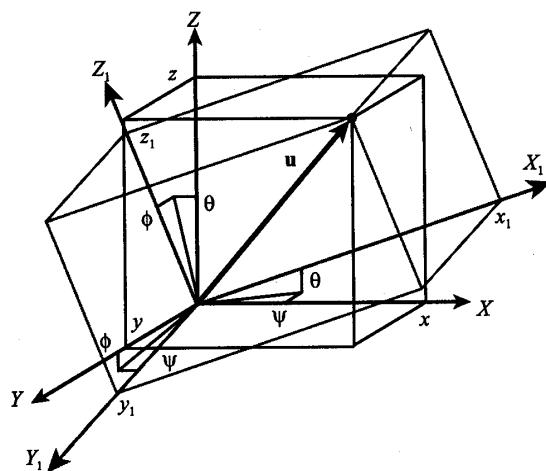


図 2 3 次元座標系 XYZ 上と回転後の座標系 X<sub>1</sub>Y<sub>1</sub>Z<sub>1</sub> 上でのベクトル u

Fig. 2 A vector  $\mathbf{u}$  on coordinate system XYZ and rotated coordinate system X<sub>1</sub>Y<sub>1</sub>Z<sub>1</sub>.

それぞれの座標系上のベクトル成分の間には次式のような関係が成り立つ。

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} = (\mathbf{I} + \boldsymbol{\Omega}) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{I}$  は単位行列である。オイラー法における

回転行列  $\boldsymbol{\Omega}$  は回転角が微小である場合、 $\cos \alpha \approx 1$ ,  $\sin \alpha \approx \alpha$ ,  $\alpha\beta \approx 0$  ( $\alpha, \beta$  は任意の微小角度) という近似を用いて以下のようになる。

$$\boldsymbol{\Omega} = \begin{pmatrix} 0 & -\delta\psi & \delta\theta \\ \delta\psi & 0 & -\delta\phi \\ -\delta\theta & \delta\phi & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$\delta\phi, \delta\theta, \delta\psi$  はそれぞれ  $\phi, \theta, \psi$  に対する微小回転角度である。座標系 XYZ が微小角度ずつ  $X_1Y_1Z_1, X_2Y_2Z_2, \dots, X_nY_nZ_n$  と  $n$  回回転した場合、座標系  $X_nY_nZ_n$  上で観測された任意のベクトル  $\mathbf{u}_n$  は、XYZ 上の座標  $\mathbf{u}(n)$  に以下のように変換される。

$$\mathbf{R}(n) = \mathbf{R}(n-1) (\mathbf{I} + \boldsymbol{\Omega}(n))^{-1} \quad (3)$$

$$\mathbf{u}(n) = \mathbf{R}(n)\mathbf{u}_n \quad (4)$$

ここで  $\mathbf{R}(n)$  はそれぞれの回転における変換行列 ( $\mathbf{R}(0) = \mathbf{I}$ ),  $\boldsymbol{\Omega}(n)$  は回転行列であり、

$$\boldsymbol{\Omega}(n) = \begin{pmatrix} 0 & -\delta\psi(n) & \delta\theta(n) \\ \delta\psi(n) & 0 & -\delta\phi(n) \\ -\delta\theta(n) & \delta\phi(n) & 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

となる。この  $\boldsymbol{\Omega}(n)$  は要素として各回転角の変化率、すなわち角速度を用いて構成されている。以上のようにして、筆記動作により加速度ベクトルの座標系が回転しても、基準座標系上の加速度ベクトルに変換することができる。

## 2.2 筆記軌跡の再現

ペンが円弧を描いて運動している場合、ペンには筆記動作による加速度、重力加速度に加えて遠心加速度も作用することになる。遠心加速度を考慮して、任意のサンプリングポイント  $k$  での速度ベクトル  $\mathbf{v}(k)$  を左辺に差分方程式を立てると次のようになる。

$$\begin{aligned} \mathbf{v}(k) &= (\mathbf{I} + T\boldsymbol{\Omega}_v(k)) \mathbf{v}(k-1) \\ &\quad + T(\mathbf{a}(k) - \mathbf{g}(k)) \end{aligned} \quad (6)$$

ここで、 $\mathbf{g}(k)$  は重力加速度ベクトルであり、重力加速度の初期値から変換行列  $\mathbf{R}(n)$  の逆行列を用いて求められる。また、 $\mathbf{a}(k)$  は加速度センサの出力による加速度ベクトル、 $T$  はサンプリング時間である。 $\boldsymbol{\Omega}_v(k)$  は 1 サンプル前の速度を用いて、遠心加速度を考慮した現在の速度を求める際に使われる変換行列である。式 (2)を得る際の近似が成り立つ場合、

## レ タ ー

$$\Omega(k) = \Omega_v(k) \quad (7)$$

となる。

式(6)で得られた速度ベクトル  $\mathbf{v}(k)$  を用いて、基準座標系におけるペンの位置ベクトル  $\mathbf{p}(k)$  を差分方程式により表現すると次式のようになる。

$$\mathbf{p}(k) = \mathbf{p}(k-1) + T\mathbf{R}(k)\mathbf{v}(k) \quad (8)$$

このようにして得られたペンの位置座標ベクトル  $\mathbf{p}(k)$  によりペンの筆記軌跡を再現することが可能となる。

### 2.3 ペンの筆記状態の判別

文字の再現においてペンが紙上で筆記しているのか、または空中を移動しているのかを正確に判別する必要がある。そこで、紙上を筆記している際には筆記動作の加速度信号成分に比べ、比較的高い周波数成分が観測されることに注目し、高周波加速度成分を検出することにより筆記状態の判別に利用している[3], [4]。これまでには2次元の加速度情報によりペンの状態を判別しており、紙面を筆記している際の高周波加速度を正確に抽出することは不可能であった。今回は3次元の加速度情報を用いることが可能となつたため、以前に比べて信頼性の高い筆記状態の判別ができるようになった。

まず、筆記状態の判別のための高周波加速度は、加速度信号ベクトルのスカラ量を遮断周波数 50[Hz] の HPF (High Pass Filter) を通すことにより得られる。次に式(9)のように高周波加速度としきい値を比較して筆記状態の判別をするが、実際には高周波加速度のレベル変動が激しいため、移動平均した信号  $\mathbf{a}_{Mov}(k)$  を用いて比較している。

$$w(k) = \begin{cases} 1 & \text{if } \mathbf{a}_{Mov}(k) \geq t_h(k) \\ 0 & \text{if } \mathbf{a}_{Mov}(k) < t_h(k) \end{cases} \quad (9)$$

ここで  $t_h(k)$  はペンの筆記状態を判別するためのしきい値であり、 $w(k)$  は筆記状態を示す2値の筆記状態認識信号となる。しきい値  $t_h(k)$  は、更に瞬間的なレベル変動による影響を防ぐため、式(10)のように調整している。

$$t_h(k) = \begin{cases} T_H & \text{if } w(k-1) = 0 \\ \frac{T_H}{2} & \text{if } w(k-1) = 1 \end{cases} \quad (10)$$

$T_H$  はあらかじめ設定しておく定数であり、これまでの実験により決定した。筆記状態認識信号  $w(k)$  が真(1)から偽(0)に変化する際のしきい値は、偽から真に変化する際の半分とした。

## 3. 筆記文字の再現実験

### 3.1 実験装置の構成

これまでの実験により、縦横の大きさ 60[mm] 以内の文字を筆記した場合、通常は筆記動作による加速度の絶対値の大きさは約 1[G] 前後であり、重力加速度の影響を考慮しても最大 ±2[G] の範囲内となる。また、ペンに装着するため加速度センサは小型のものが要求される。本論文では直交する 2 軸の加速度を検出可能な感度範囲 ±2[G] の集積回路型加速度センサ (Analog Devices 製 ADXL202) を用いた。パッケージも小型でありペンにも実装が容易である。

筆記動作による角速度については、大きさ 60[mm] 以内の文字を筆記した場合、X 軸方向、Y 軸方向の最大値は約 300[°/s]、Z 軸方向は 90[°/s] 程度となる。また、加速度センサに比べると現在市場で容易に入手できるジャイロセンサは比較的大きなものが多く、ペンに装着することを考えると選択肢が限られる。このような条件を考慮して、X 軸方向、Y 軸方向、Z 軸方向にそれぞれ一つずつ 1 軸振動型小型ジャイロ (村田製作所 (株) ENC-03J, 検出範囲 ±300[°/s]) を用いた。

加速度センサ、ジャイロセンサの検出軸の様子は図 1 に示したとおりである。ペン先の筆記部分は紙面との摩擦による微小な振動をなるべく加速度センサに伝えるものが望まれる。ここではメンテナンス性も考慮して筆記部分にボール径約 0.5[mm] のボールペンを用いた。

図 3 に本システムの概略を示す。加速度センサからの出力信号は信号変換回路で 12 ビットのデジタルデータに変換される。角速度センサはアナログ電圧で信号が出力され、A-D 変換回路により 12 ビットのデータに変換される。これらの変換されたデータは接続したデジタル入力ボードを使用してパソコンコンピュータに入力され、ソフトウェアによる演算で筆記軌跡を再現する。

データ取込みの際のサンプリング周期は 2[ms] とした。周期 2[ms] でサンプリングをすると 1 サンプル当たりの角速度変化のレベルは最大でも 1[°] 未満となり、式(2)を求める際に用いられた近似が十分成り立つ。筆記文字再現の際はすべてのデータを取得した後、演算をして結果を表示した。ペンの位置、速度、傾斜角度についてもデータ取得開始の瞬間を原点とした。

### 3.2 筆記文字再現実験

次に実際に筆記文字の再現をした結果を示す。実験

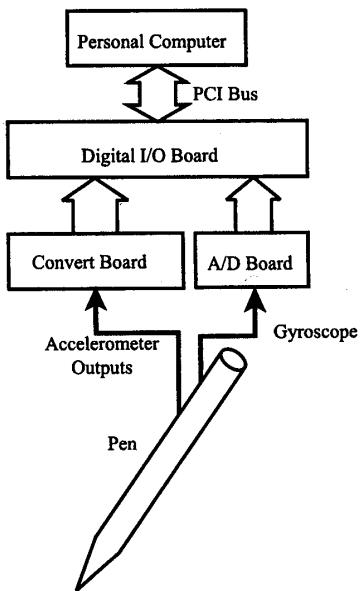
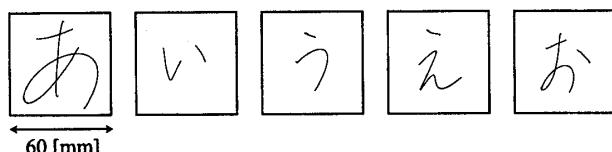


図3 ペン加速度・角速度からの筆記文字再現に用いたシステム

Fig. 3 Reproduction system for handwritten patterns using pen accelerations and angular velocity.



(a) Handwritten patterns.



(b) Reproduced patterns.

図4 手書き文字の筆記パターンと再現パターン  
Fig. 4 Handwritten and reproduced patterns.

の際は筆記文字が 60 [mm] 以内に収まるようにした。ほかには特に拘束せずに 1 文字ずつ筆記した。同じ文字を 10 文字程度筆記して、その中の典型例を実験結果として示す。

図4(a) に実際に筆記した文字のパターンを示す。ここでは平仮名の ‘あ’, ‘い’, ‘う’, ‘え’, ‘お’ を筆記した。図中の正方形文字枠の 1 辺は 60 [mm] である。実験では 1 文字ごとにデータ保存や演算の処理をした。次に図4(b) に再現された文字を示す。ペンが紙面上

に文字の画を書いている軌跡に対して、画と画の間を移動している際の軌跡は細い線で示した。

これまでの加速度センサのみを使用した文字の再現 [4] と比べると、実験の際に比較的安定した再現が可能になった。しかし、まだ平仮名や片仮名よりも複雑な文字については正確に筆記パターンを再現できない場合があり、今後再現精度をいっそう改善するためにはセンサノイズの処理や、積分過程における誤差の増幅を抑える必要があると考える。

#### 4. む す び

本論文は加速度センサに加えて角速度センサを用いて、ペンの運動を 3 次元でとらえ、筆記軌跡を再現する手法について報告した。筆記具上で観測された加速度信号は逐次計算される角速度信号を用いた変換行列によって簡単に絶対座標に変換することができた。次に遠心加速度と重力加速度を考慮しながらペンの移動速度を演算により得ることができた。そしてこれらの信号を用いて筆記パターンを再現するため、ペンの位置情報を得ることが可能となった。

今後は、センサノイズの外乱要因を除去するなどして正確な筆記具運動を得ることにより、更なる再現精度の向上を図り、より実用的な手書き入力インターフェースを目指していきたい。また、文字の再現過程で得られた様々な信号から、直接文字の認識や個人の特徴抽出に応用する方法についても検討していきたい。

**謝辞** 本研究を行うにあたり、信州大学工学部情報工学科 荒井善昭助手、金子浩昌技官に貴重な御助言を頂きましたことを感謝致します。また御理解、御助力を頂きました日置電機(株)に深く感謝致します。

#### 文 献

- [1] C. Faure, "Pen-based human-computer interaction," in *Handwriting and Drawing Research: Basic and Applied Issues*, eds. M.L. Simner, C.G. Leedham, and A.J.W.M. Thomassen, pp.373–385, 1996.
- [2] A. Meyer, "Pen computing: A technology overview and a vision," *SIGCHI Bulletin*, vol.27, no.3, pp.46–90, July 1995.
- [3] 石川裕記, 米澤義道, 伊東一典, 橋本昌巳, “ペン加速度による手書き文字パターンの抽出,” *信学論 (D-I)*, vol.J76-D-I, no.10, pp.541–543, Oct. 1993.
- [4] 宮川透, 米澤義道, 伊東一典, 橋本昌巳, “筆記具の加速度情報を用いた文字パターンの一再現法,” *信学論 (D-II)*, vol.J83-D-II, no.2, pp.671–679, Feb. 2000.
- [5] 岡田 實, 航空電子システム, 日刊工業新聞, 1983.
- [6] J.A. Farrell and M. Barth, *The Global Positioning System & Inertial Navigation*, McGraw-Hill, 1999.

(平成 12 年 5 月 17 日受付)