

仮想書道のための9軸IMUと深度センサを用いた手書き入力デバイスの試作

金山 知俊

平井 遥斗

富山県立大学 情報システム工学科

2022年11月15日

背景

コンピュータで手書きの入力を実現でき機器として、ペンタブレットがある.



図 1: apple pencil

しかし、ペンタブレットでは硬いペン先を持ち、毛筆のように柔軟な穂先を持つ筆記具の書き味を再現することはできない.

本研究の目的

9 軸 IMU を搭載した小型マイコンを実際の毛筆に取り付け、その姿勢を計測することで、毛筆の書き味を持つ筆記デバイスの実現する.

座標系

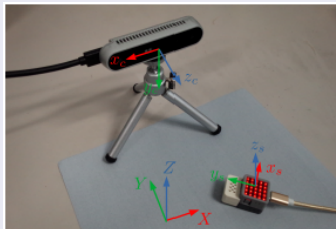


図 2: 機器の座標

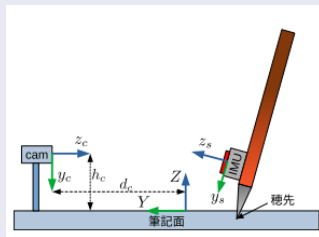


図 3: 機器の配置

問題点

それぞれの機器で得られるデータは機器固有の座標系に基づいている

解決法

筆記対象の紙面を基準とする絶対座標に変換する

加速度，方位センサによる計算

- センサ座標系と絶対座標系の方向が一致するように IMU を配置する

ϕ_a : 回転角 (X 軸) θ_a : 回転角 (Y 軸) ψ_m : 回転角 (Z 軸)

a_x, a_y, a_z : 加速度センサの出力

$$\phi_a = \arctan \frac{a_y}{a_z}, \quad \theta_a = \arctan \frac{-a_x}{\sqrt{a_y^2 + a_z^2}} \quad (1)$$

m_x, m_y, m_z : 方位センサの出力

$$\psi_m = \arctan \frac{-m_x \cos \theta + m_y \sin \theta \sin \phi - m_z \sin \theta \cos \phi}{m_y \cos \phi + m_z \sin \phi} - \psi^0 \quad (2)$$

$$\psi^0 = \arctan \frac{-m^0_X}{m^0_Y} \quad (3)$$

ジャイロセンサによる姿勢の計算

- センサ座標系を絶対座標系 ($\omega_X, \omega_Y, \omega_Z$) に変換

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$: ジャイロセンサの出力

$$\begin{pmatrix} \omega_X \\ \omega_Y \\ \omega_Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \sin\phi\tan\theta & \cos\phi\tan\theta \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \frac{\sin\phi}{\cos\theta} & \frac{\cos\phi}{\cos\theta} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{pmatrix} \quad (4)$$

時間積分 角速度 ($\omega_X, \omega_Y, \omega_Z$) から回転角 (ϕ_g, θ_g, ψ_g) に変換

センサフュージョン

- 安定した結果を得るために2種類の方法で求めた姿勢の値を統合する

$$\begin{pmatrix} \phi_f \\ \theta_f \\ \psi_f \end{pmatrix} = \alpha \begin{pmatrix} \phi_g \\ \theta_g \\ \psi_g \end{pmatrix} + (1 - \alpha) \begin{pmatrix} \phi_a \\ \theta_a \\ \psi_m \end{pmatrix} \quad (5)$$

深度センサによる位置測定

深度画像の距離からカメラ座標系における IMU の位置 x_c, y_c, z_c を求める。

穂先位置の計算と筆跡生成

- 穂先はセンサ座標系において位置 x_s, y_s, z_s に固定されているとして、絶対座標系での穂先位置を求める

$R_X R_Y R_Z$: 絶対座標系の各軸周りの回転行列

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = R_Z(\psi_f) R_Y(\theta_f) R_X(\phi_f) \begin{pmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -x_c \\ -z_c \\ -y_c \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ d_c \\ h_c \end{pmatrix} \quad (6)$$

- 筆跡の太さの計算

D_0 : 穂の最大太さ l : 穂の長さ

$$D = \min(1.0, -Z/l) D_0 \quad (7)$$

結果

姿勢変化 X 軸周り, Y 軸周り, Z 軸周り

位置測定 筆記面に描いた 1 辺 10cm の正方形をなぞった時

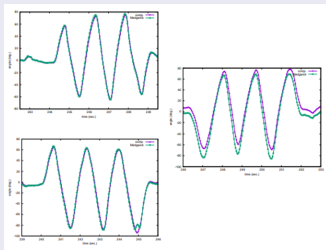


図 4: 姿勢計測結果
(縦軸: 回転量/横軸: 時間)

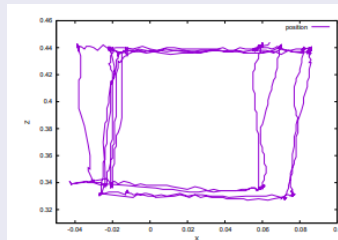


図 5: 位置測定結果
(縦軸: z /横軸: x)

筆跡生成結果



図 6: 筆跡「永」(左：実際の毛筆による筆跡, 右：本システムによる筆跡)

まとめ

9 軸 IMU と深度センサを用いて毛筆を手書き入力デバイスとして利用することが確認できた

- 筆を早く動かすと遅延から接触位置がずれる
- 墨の伝搬を考慮する必要がある