複数視点カメラを用いた視体積交差法に基づく排尿量および排便性状の推定

磯村　淳　　指導教員：小栗　宏次

1　はじめに

健康寿命延伸のためには，日常生活の記録による生活習慣の改善が有効であると言われている．心電計，脈拍計，血圧計等多くのデバイスが開発されてきたものの，排尿や排便に関する情報など，生活環境下で取得可能な体調と関連するデータは他にも多く存在する．

尿流量計測に関する先行研究として Kristy ら [1] は，カップ内に尿が溜まる様子をカメラで撮影することにより尿流率を推定したものの，カップを用いるため既存の便器に設置できないという課題がある．Bristol Stool Chart[2] を代表とする排便性状の分類は，便が腸内に滞在した時間を把握するための簡便の手法である．しかし，主観による分類という毎日の記録における非簡便さがある．本研究では，既存の便器を用いたカメラでの尿量推定手法および排便性状の分類手法を提案する．既存の便器を用いたカメラでの尿流量推定は初の試みであり，その上で既存の流量推定精度を上回る推定精度 ± 10% 以内を目的とする．

2　奥行き距離を考慮した液体流量推定モデル

放水された液体を底面積の異なる円柱の重なりに近似するモデルのことを多重円柱モデルと呼ぶ [3]．このモデルでは，n 枚の連続画像を撮影し，液体が出始めてから i 番目に撮影された画像の二値画像から円柱近似を行って円柱の底面積及び高さを各フレームから計算することで，液体流量 V_i [mL] を推定する．推定に必要なパラメータは液体の初速度 $\boldsymbol{v}_{i0}$ [pixel/s]，液体の径 D_i [pixel]，撮影フレーム間の時間 f_i [s]，単位を [pixel^3] から [mL] に変換するためのイソムラン定数 k [mL/pixel^3] である．液体が撮影された n 枚の画像から総流量 V [mL] は (1) 式のように計算できる．

$$V = k\pi \sum_{i=1}^{n} \left\{ \boldsymbol{v}_{i0} f_i \left(\frac{D_i}{2} \right)^2 \right\} \tag{1}$$

図 1 に示すように世界座標系 X, Y, Z を定義し，カメラ 2 台（カメラ A およびカメラ B）を液体の撮影のために用いる．カメラ A の光軸は X 軸と平行である．カメラ B の光軸は先行研究 [3] と同様に Z 軸と平行であり，Z 軸負の位置に設置する．液体は X 軸負の方向に放水する．

世界座標から各カメラの画像座標へ変換するためにカメラの内部パラメータおよび外部パラメータを含んだ透視投影行列 $\boldsymbol{P}(3\times4)$ を計算する．カメラ A の同次座標 $\boldsymbol{C}(u,\ v,\ 1)^{\mathrm{T}}$ は世界座標ベクトル $\boldsymbol{W}(X,\ Y,\ Z,\ 1)^{\mathrm{T}}$ を用いて (2) 式より導出できる．

$$\boldsymbol{C} \sim \boldsymbol{P}\boldsymbol{W} \tag{2}$$

校正器具における世界座標と画像座標との対応から，各カメラの透視投影行列 $\boldsymbol{A}$ および $\boldsymbol{B}$ を計算し，逆行列 $\boldsymbol{A}^{-1}$ および $\boldsymbol{B}^{-1}$ を Moore-Penrose 法によって計算する．(2) 式より，世界座標ベクトルは逆行列 $\boldsymbol{P}^{-1}$ を用いて (3) 式のように表せる．

$$\boldsymbol{W} \sim \boldsymbol{P}^{-1}\boldsymbol{C} \tag{3}$$

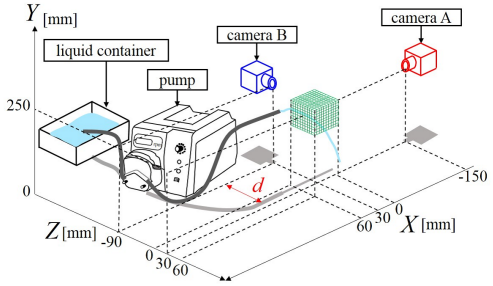
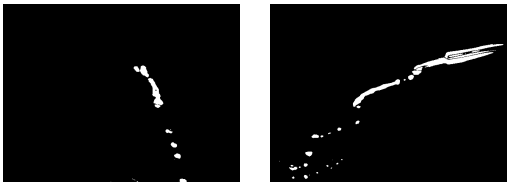


図 1　液体流量推定の実験環境



(a) カメラ A 視点　　(b) カメラ B 視点

図 2　視点別の二値化後の液体画像

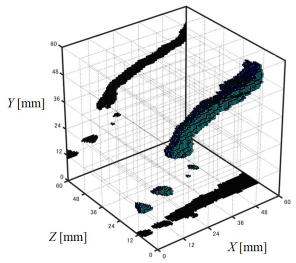


図 3　液体領域ボクセル

世界座標空間内に定義した 100 万個のボクセル中心の投影点をカメラ A の画像座標およびカメラ B の画像座標で計算し，液体領域の抽出を行う．例として，同時刻に撮影された液体の二値画像を図 2(a) および (b) に示し，抽出された液体領域ボクセルを図 3 に示す．実験ではカメラ B から XYZ 空間の原点までの水平距離を Γ とし，液体領域ボクセルの Z 座標の平均値 $\overline{Z}$ を計算することで，(4) 式から奥行き距離 d を計算し，液体径の正規化係数 $r(d)$ を得る．

$$d = \Gamma + \overline{Z} \tag{4}$$

液体径の正規化係数 $r(d)$ は図 1 に示す環境で予め円柱の校正器具を撮影し，計算する．正規化液体径を用いた多重円柱モデルは (5) 式のように表せる．

$$V = k\pi \sum_{i=1}^{n} \left\{ \boldsymbol{v}_{i0} f_i \left(\frac{rD_i}{2} \right)^2 \right\} \tag{5}$$

3　液体流量推定実験

単一視点を用いた従来法（(1) 式による推定）および複数視点を用いた提案手法（(5) 式による推定）の流量推定精度を比較す

表 1　流量推定誤差の結果

Method	d [mm]	$\overline{E}_V$%
Previous (Single Camera)	100	25.3
	120	7.0
	140	21.7
Proposed (Multiple Camera)	100	8.8
	120	6.1
	140	13.0

る．実験環境を図 1 に示す．カメラ B から XYZ の原点までの距離 Γ=90 [mm] とし，カメラ B から液体までの距離 d=120 [mm] においてイソムラン定数 k を計算した．d を 100，120，140 [mm] の 3 種類に変更し，各 d ごとに 3 試行の流量推定を行った．a 試行目における推定流量 V_a [ml]，正解流量 V'_a [ml] であるときの推定誤差 $E_{\mathrm{V}a}$% を求め，評価のための流量推定の平均絶対誤差 $\overline{E}_V$% を (6) 式のように表す．

$$\overline{E}_V = \frac{1}{3}\sum_{a=1}^{3}\left\{\frac{|(V_a - V'_a)| \times 100}{V'_a}\right\} \tag{6}$$

表 1 に結果を示す．d=120 [mm] では従来法の $\overline{E}_V$ は 7.0%，提案手法の $\overline{E}_V$ は 6.1% であった．d = 140 [mm] での推定誤差は，提案手法において $\overline{E}_V$ は 8.8% であり，16.5% の精度向上が見られた．d = 100 [mm] での推定誤差は，提案手法において $\overline{E}_V$ は 13.0% であり，8.7% の精度向上が見られた．結果から，複数視点を用いた提案手法における全試行の平均推定誤差は 9.3% であり，目的とした ±10% 以内での推定を実現した．

4　SVM による画像特徴を用いた模擬便性状の分類

Heaton らによって排便性状を 7 分類するための Bristol Stool Chart が定義されている [2]．これを元に 6 パターン (1. コロコロ，2. カチカチ俵，3. バナナ，4. 半練り，5. 泥状，6. 水状）に再分類し，2 タイプ毎に健康との関連（1,2 タイプを便秘，3,4 タイプを健康便，5,6 パターンを下痢）を持つように定義した．例として，落下中のタイプ 3 の模擬便の原画像および二値画像を図 4 に示す．学習には Support Vector Machine を利用し，画像特徴量として，白色画素の最大縦幅，横幅，輪郭探索の特徴，円形度といった合計 27 個の特徴量を用いた．

5　排便性状分類実験

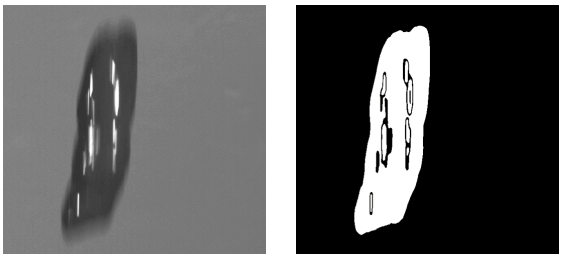
Type1〜3 の模擬便については手による自由落下を行い，Type4〜6 の模擬便については絞り器により放出する．カメラは 60 [fps] に固定し，落下中の模擬便のみが写るように 15 [cm] 遠ざけて設置した．学習時に用いる画像と評価用の画像は同一環境で撮影した異なる落下試行の画像である．各フレームに対して便性状分類推定を行い，評価に用いたフレーム数を A，分類が正しかったフレーム数を C とし，正解率 P% を (7) 式より計算する．

$$P = \frac{C}{A} \times 100 \tag{7}$$

実験結果を表 2 に示す．平均正解率 84.6% の分類精度を示した．推定誤差が最も多かったのはタイプ 2 のカチカチ俵便であり，タイプ 3 のバナナ便に誤って推定されることがあった．他にも，画像から便が見切れている場合に分類を誤ることがあったものの，画像特徴から落下中の便性状を分類できる可能性を示唆した．

表 2　画像枚数および推定の正解率

Type	Training [frame]	Test [frame]	P%	$\overline{P}$%
1	74	75	56.0	84.6
2	82	86	41.9	
3	188	203	92.6	
4	200	200	93.0	
5	200	200	90.0	
6	200	200	92.0	



(a) 原画像　　(b) 二値画像

図 4　タイプ 3（バナナ便）落下中の液体画像

6　まとめと今後の課題

日常生活における排尿量および排便性状の記録のために，カメラを用いた手法を提案した．排尿量については，複数視点画像からの視体積交差法により，液体領域をボクセルとして抽出することで液体径の正規化を行った．複数視点の撮影画像を用いた提案手法により，±10% 以内の推定誤差を実現した．排便性状については，SVM による画像特徴を用いた便性状の分類を行った．実験では 6 タイプの模擬便の落下時の様子を撮影し，約 80% の分類精度を示した．

現段階では流量推定および排便性状分類の処理時間がリアルタイムでないことや，液体の形状，液体および便の色を見ることができるというカメラの利点を最大限に活用できていないという課題がある．本研究で提案する流量推定モデルは男性の立ち排尿および座り排尿を想定しているが，女性に対しても適用可能な推定モデルが必要である．

参考文献

[1] Kristy Weins, et al., “Fluid Biomechanics of male uroflow using image processing of high-speed video photography,” The Journal of Urology, Vol.189, pp.933-934, 2013

[2] W. Heaton, et al., “Detection of pseudodiarrhoea by simple clinical assessment of intestinal transit rate,” British Medical Journal, Vol.300, pp39-40, 1990

[3] A. Isomura, et al., “Estimating Flow Rate and Total Volume of Simulated Urine Flow Noninvasively from a Monocular Camera,” IEEE EMBC, 2015