

カプセル内視鏡を用いた小腸収縮位置の検出

上田 健介[†] 越後 富夫[†] 佐川 立昌[†] 向川 康博[†] 八木 敬子^{††}

斯波 將次^{†††} 樋口 和秀^{†††} 荒川 哲男^{†††} 八木 康史[†]

[†] 大阪大学産業科学研究所 〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1

^{††} 神戸薬科大学 〒658-8558 兵庫県神戸市東灘区本山北町 4-19-1

^{†††} 大阪市立大学大学院医学研究科 〒545-8585 大阪府大阪市阿倍野区旭町 1-4-3

E-mail: [†]{ken-ueda,echigo,sagawa,mukaigaw,yagi}@am.sanken.osaka-u.ac.jp,

^{†††}{shiba,khiguchi,arakawat}@med.osaka-cu.ac.jp

あらまし 従来は検査が難しかった小腸を観察することができる内視鏡として、カプセル内視鏡が注目を集めている。患者に飲み込まれたカプセル内視鏡は、消化管内の蠕動運動により消化管内部を移動し、内蔵されたカメラで撮影を行う。そのため、カメラの向きが頻繁に変わってしまい、映像を見ても映している方向を確認できない場合もある。そこで本研究では、小腸収縮位置を常に画面の中央に表示することにより、どの方向を映しているのか理解しやすい映像表示方法を提案する。本手法では、特徴量として低輝度領域、エッジ成分、しわの形状を用いることにより、小腸の状態を分類した。また、それぞれの状態に応じた収縮位置の推定を行い、収縮位置が中央に表示されるように画像の再配置を行った。

キーワード カプセル内視鏡, 映像安定化, 小腸収縮

Shrinkage Detection of Small Intestine from a Capsule Endoscope

Kensuke UEDA[†], Tomio ECHIGO[†], Ryusuke SAGAWA[†], Yasuhiro MUKAIGAWA[†],
Keiko YAGI^{††}, Masatsugu SHIBA^{†††}, Kazuhide HIGUCHI^{†††}, Tetsuo ARAKAWA^{†††}, and
Yasushi YAGI[†]

[†] The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047, Japan

^{††} Kobe Pharmaceutical University 4-19-1 Motoyamakita-machi, Higashinada-ku, Kobe-shi, Hyogo,
658-8558, Japan

^{†††} Osaka City University Graduate Medical School 1-4-3 Asahimachi, Abeno-ku, Osaka, 545-8585, Japan

E-mail: [†]{ken-ueda,echigo,sagawa,mukaigaw,yagi}@am.sanken.osaka-u.ac.jp,

^{†††}{shiba,khiguchi,arakawat}@med.osaka-cu.ac.jp

Abstract A capsule endoscope is getting attention for observing a small intestine which is hard to examine. The capsule swallowed by a patient moves in the peristaltic movement and takes images by an embedded camera. As the direction of the camera frequently changes, a surveyor sometimes cannot recognize which direction the camera looks toward. This paper describes an image display method by displaying the center position of shrinkage in the small intestine in the middle of the screen for its viewability. Using low brightness area, edge elements and rugae of the small intestine as feature quantities, we classify the condition of the small intestine and estimate the center position of its shrinkage.

Key words Capsule Endoscope, Video Stabilization, Shrinkage of Small Intestine

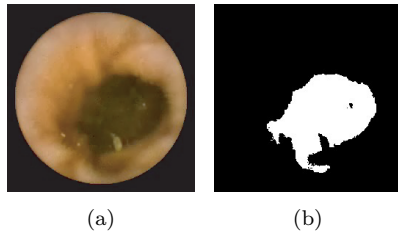


図 1 低輝度領域の抽出: (a) 元画像, (b) 抽出結果

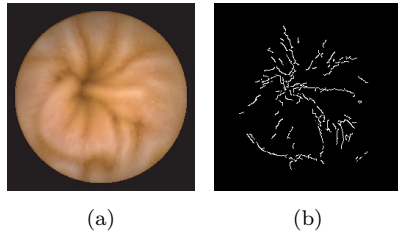


図 2 エッジ成分の抽出: (a) 元画像, (b) 抽出結果

1. はじめに

小腸疾患の診断方法として、カプセル内視鏡 [3] が注目を集めている。カプセル内視鏡は、画像撮影機能と無線送信機能を内蔵した小型のカプセル状の内視鏡であり、患者に飲み込まれた後、消化管内の画像を撮影し、体外へ無線送信する。カプセルの移動は消化管の蠕動運動により行われるため、カプセルの動きを制御することはできず、動きに伴いカメラの向きが大きく変化する。このため、映像を見てもどの方向を映しているのかが分かりにくいという問題がある。

撮影済みの映像の手ぶれ補正の方法は、多くの方法が提案されている [1], [4]。しかし、カプセル内視鏡が撮影した映像は毎秒 2 フレームと粗く、また特徴点に成り得る点がほとんど存在しないため、これらの方法を使うことができない。また、カプセル内視鏡が撮影した映像に対して画像処理を行う研究として [2] などがあるが、映像安定化に関する方法は提案されていない。

本研究では、カプセル内視鏡の映像を対象として、カメラの向きを直感的に理解しやすい映像表示方法を提案する。本手法では、カプセル内視鏡の撮影した画像から収縮位置を求め、収縮位置が画面の中央にくるように画像を再配置して表示する。ここで収縮位置とは、小腸の収縮の中心、または収縮したときに中心になると考えられる位置のことを指す。

2. 特徴量の抽出

本手法では、カプセル内視鏡が撮影した画像に特化した特徴量として、低輝度領域、エッジ成分、しわの形状を使用する。

低輝度領域は、元画像に対して二値化を行うことにより得る (図 1)。画像内のひだより奥の領域は、手前の領域に比べて輝度値が低くなっているため、二値化により得た低輝度領域と一致する。また、元画像に対して、Canny オペレータを使用することによりエッジ成分を得る (図 2)。

小腸の画像の輝度勾配はゆるやかであるので、図 2(b) のよ

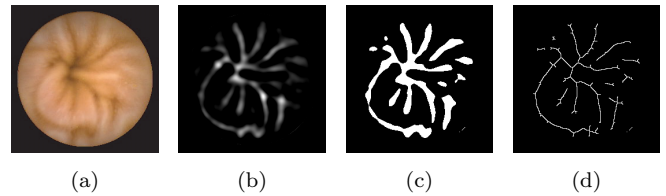


図 3 しわの形状の抽出手順: (a) 元画像, (b) ラプラシアンガウシアンフィルタの適用結果, (c) 二値化, (d) 細線化

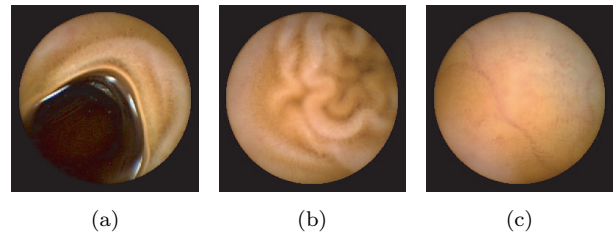


図 4 シーン分類: (a) ひだの奥が映っている状態, (b) 収縮の中心が映っている状態, (c) カプセルが横を向いている状態

うなエッジ画像からは正しいしわの形状を求めることができない。そこで、まず元画像に対してラプラシアンガウシアンフィルタを使用する (図 3(b))。元画像 (図 3(a)) において、周囲の領域に対して輝度の相対値が低い画素ほど、図 3(b) では高い輝度値で表現される。次に、その画像に対して二値化を行うことにより、その傾向が顕著な領域のみを抜き出し (図 3(c))、最後にそれを細線化することにより、しわの形状を得る (図 3(d))。

これらの特徴量を利用して、小腸の状態を分類し、収縮位置を推定する。

3. 収縮位置の推定

カプセル内視鏡検査を行うときも小腸は活動しているので、画像により小腸の状態は大きく異なる。そこで、各画像をそのときの小腸の状態に応じて以下の 3 つのシーンに分類し、それぞれ異なる方法で収縮位置を推定する。

- (a) ひだの奥が映っている状態
- (b) 収縮の中心が映っている状態
- (c) カプセルが横を向いている状態

図 4 にそれぞれのシーンの例を示す。シーンの分類は、前節で求めた特徴量を利用することにより行うことができる。輝度値の低い領域の面積が閾値以上の場合はシーン a、シーン a ではない画像の中でエッジ量が閾値以上の画像をシーン b、そのいずれでもない画像をシーン c として分類する。

シーン a に分類された画像からは、前節で求めた低輝度領域とそうでない領域との境界から、ひだの形状を得ることができる。ひだに囲まれている領域の重心が、腸管の中心であり、収縮もそこを中心に起きると考えられる。よって低輝度領域の重心を収縮位置とみなす。低輝度領域が複数存在する場合もあるが、その場合はその中で最も面積の大きい領域を選び、その重心を収縮位置とみなす。

シーン b に分類された画像は、低輝度領域が複数存在することが多く、また、その領域が中心であるとは限らない。そこで、

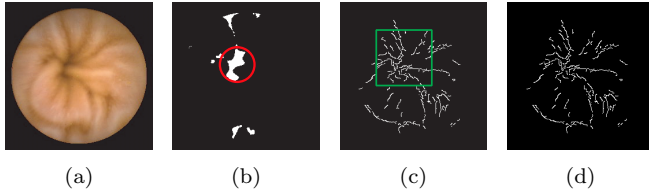


図 5 エッジの密度を利用した収縮位置推定: (a) 元画像, (b) 低輝度領域, (c) エッジの密度の高い領域を計算した結果, (d) エッジ成分

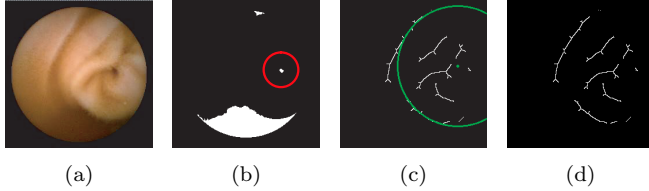


図 6 しわの形状を利用した収縮位置推定: (a) 元画像, (b) 低輝度領域, (c) しわの形状から円を検出した結果, (d) しわの形状

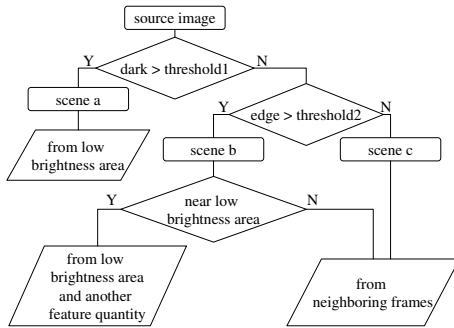


図 7 パターンの分類と収縮位置の求め方

低輝度領域と、他の特徴量を組み合わせることにより収縮位置を推定する。シーン b に分類されたそれぞれの画像を観察することにより、以下のことが分かった。

- (1) 収縮の際に収縮位置にしわが集まる
- (2) 収縮位置から同心円状にしわが広がる

(1) のようなしわが集まっている領域には、エッジ成分も集中している。そこで、抽出したエッジ画像からエッジの密度の高い領域を計算し、その領域の中心点を求める。そして、その点の近傍に低輝度領域の重心があれば、その点を収縮中心とする。図 5(a) の画像に対しては、エッジの密度の高い領域 (図 5(c) の四角で囲まれた部分) の近傍に低輝度領域があるので、図 5(b) の円で囲まれた領域の重心位置を収縮中心とする。また、(2) のような同心円状に広がるしわは、抽出したしわの形状から確認できる。そこで、抽出したしわの形状からハフ変換により円を検出し、その円の中心点を求める。そして、その点の近傍に低輝度領域の重心があれば、その点を収縮位置とみなす。図 6(a) の画像に対しては、エッジの密度の高い領域の近傍に低輝度領域があるので、図 6(b) の円で囲まれた領域の重心位置を収縮中心とする。

シーン c に分類された画像は、情報量が少なく収縮位置を推定することが難しいため、前後のフレームから補間する形で収縮位置を推定する。シーン b に分類された画像で、エッジの密

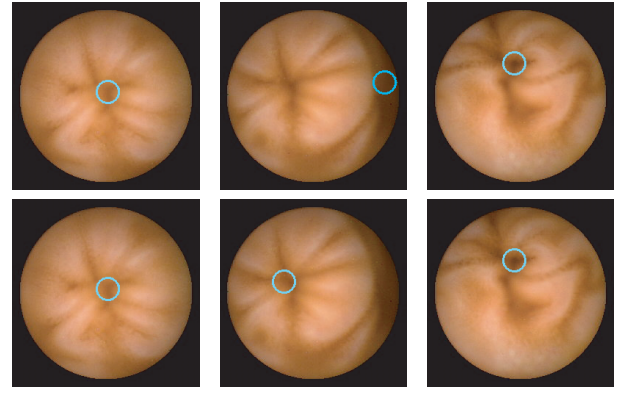


図 8 収縮位置の修正: 上段:修正前, 下段:修正後

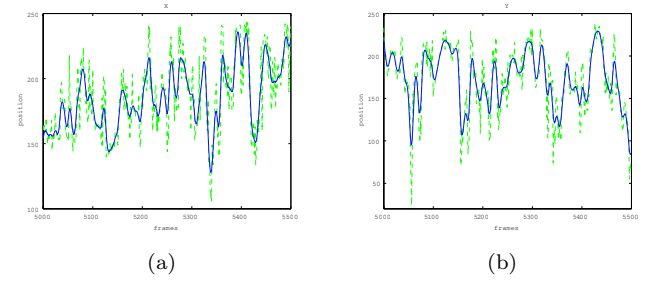


図 9 収縮位置の平滑化: (a)x 軸, (b)y 軸

度の高い領域, 検出された円の中心のいずれの近傍にも低輝度領域が存在しない場合も、同様に前後のフレームから補間する。

4. 表示の安定化

本手法では、カメラが映している方向を理解しやすくするために、収縮位置が画面の中央に表示されるように画像を再配置して表示する。しかし、画像から収縮位置を推定できていない画像もあるので、それらの画像に対しては前後のフレームより収縮位置を補間する。また、画像から推定した収縮位置には誤りも含まれているので、前後のフレームと収縮位置が大きく異なるフレームに対しては収縮位置の修正を行い、最後に平滑化を行うことにより表示を安定化させる。

まず、収縮位置の推定ができていないフレーム j より前のフレームで収縮位置が決まっているフレーム i と、後のフレームで収縮位置が決まっているフレーム k を求める。ただし、フレーム i とフレーム k の間には、収縮位置が既知であるフレームはないとする。フレーム j の収縮位置 p_j を、フレーム i, k の収縮位置 p_i, p_k を用いて次式のように仮定する。

$$p_j = \frac{k-j}{k-i} \cdot (p_k - p_i) \quad (1)$$

以上の処理を、収縮位置が推定されていない全ての画像に対して実行する。

次に、推定した収縮位置が数フレームのみ大きく変化しているフレームが存在すれば、推定結果が誤っているとみなし、推定位置の再計算を行う。そのために、まず隣接する画像 i と $i+1$ の収縮位置間の距離 $D_{i,i+1}$ を計算する。 $D_{i,i+1}$ がある閾値より大きい場合、 $D_{i,k} < D_{i,i+1}/2 (i < k < i+\alpha, \alpha$ は定数) となるようなフレーム k があるかを調べる。そのような k が存在

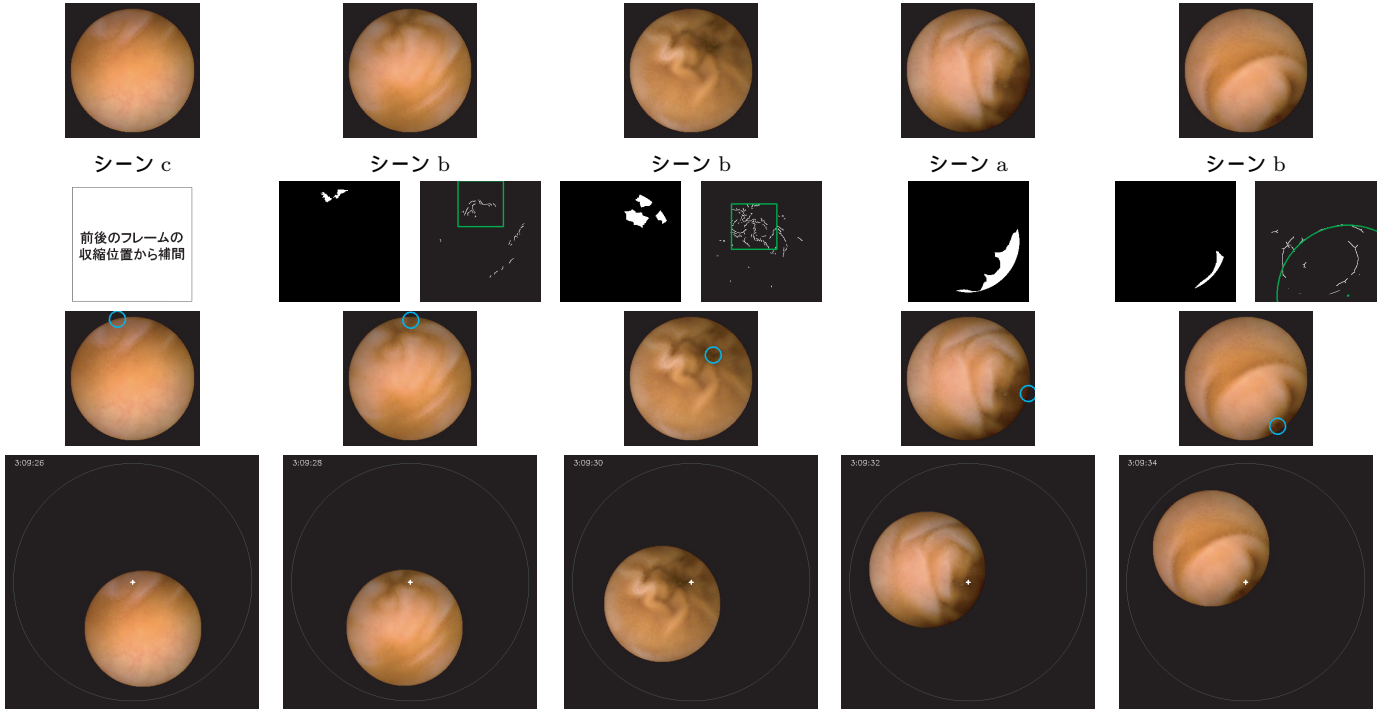


図 10 収縮位置の推定と画像の再配置: 上段から、元画像、分類されるシーン、収縮位置推定に用いた特徴量、推定した収縮位置、収縮位置を基準に再配置した画像

するならば、誤った推定とみなし、フレーム $j (i < j < k)$ の画像の収縮位置を式 (1) を用いて変更する．見つからない場合は、 $i - \alpha < k < i$ の範囲で $D_{k,i+1} < D_{i,i+1}/2$ を満たす k が存在するかについても調べ、存在する場合は同様に、 $k < j < i$ であるフレーム j の画像の収縮位置を変更する．ただしこれらの変更を行う際に、新たに設定された収縮位置の近傍に、低輝度領域の重心、エッジの密度の高い領域の中心、ハフ変換により検出された円の中心などがある場合は、そこを収縮位置とする．図 8 に修正の例を示す．画像内の円で囲まれた領域が収縮中心と推定された場所である．上段の修正前の画像では、2 枚目の画像の収縮中心を誤って推定していたが、下段の修正後の画像では、正しい位置へと修正されている．

最後に、視認性を向上させるために、フレームごとの画像の収縮位置を、ガウス関数を用いて平滑化させる．これは、カプセル内視鏡の映像は毎秒 2 フレームと粗く、収縮位置が激しく変動する場合などは映像が見づらくなってしまう場合があるからである．図 9 に x 軸、 y 軸に対してそれぞれ収縮位置を平滑化させた結果を示す．この収縮位置が画面の中央に表示されるように、画像の再配置を行い表示する．

5. 実験

カプセル内視鏡が撮影した映像に対して、収縮位置を推定し、画像の再配置を行った．その結果を図 10 に示す．最上段が、カプセル内視鏡が撮影した画像を 2 秒ごとに並べたものであり、最下段が、最上段の画像から推定した収縮位置を基準に再配置した画像である．2 段目に 3. 節の方法に従い分類されたシーンが記述されており、3 段目の特徴量を用いて推定した収縮位置を、4 段目の画像に円で描画している．カメラの向きは大きく

変化しているが、いずれの画像に対しても特徴量を用いて収縮位置が正しく推定され、再配置した画像ではその領域が中央に表示されていることが確認できる．

6. おわりに

本論文では、カプセル内視鏡の画像から小腸の収縮位置を推定し、それを常に画面の中央に表示する映像表示方法を提案した．本手法では、カプセル内視鏡の画像に特化した特徴量として、低輝度領域、エッジ画像、しわの形状を用いることにより小腸の状態を分類し、状態に応じた収縮位置の推定を行った．

しかし、収縮位置に応じて画像を動かして表示することにより、背景の黒い部分が医師に不自然感を与えてしまうことが考えられる．そこで、数フレーム前までの画像を残して表示することにより、この問題を解決することを次の目標として考えている．

文献

- [1] A.Litvin, J.Konrad, and W.C.Karl. Probabilistic video stabilization using kalman filtering and mosaicking. *Image and Video Communications and Processing*, 5022:663–674, 2003.
- [2] Chao Hu, Max Meng, P.X. Liu, and Xiang Wang. Image distortion correction for wireless capsule endoscope. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, 5(4):4718–4723, 2004.
- [3] Gavriel Iddan, Gavriel Meron, Arkady Glukhovsky, and Paul Swain. Wireless capsule endoscopy, 2000.
- [4] Yasuyuki Matsushita, Eyal Ofek, Xiaou Tang, and Heung-Yeung Shum. Full-frame video stabilization. *IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1:50–57, 2004.