

色情報を用いた部分空間法による腹腔鏡手術シーン分類の検討

茅野 貴洋[†] 目加田 慶人[†] 森 健策^{††} 三澤 一成^{†††}

[†]中京大学大学院 情報科学研究科 〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立 101

^{††}名古屋大学 情報連携統括本部 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

^{†††}愛知県がんセンター 〒464-8681 愛知県名古屋市千種区鹿子殿 1-1

E-mail: [†]{h11011m@st, y-mekada@sist}.chukyo-u.ac.jp, ^{††}kensaku@is.nagoya-u.ac.jp, ^{†††}misawakzn@aichi-cc.jp

あらまし 本稿では腹腔鏡手術映像に対し、色情報を用いた部分空間法により手術シーンを自動分類する手法について報告する。腹腔鏡手術では体内に挿入したカメラの視野が狭く、複雑な鉗子操作が必要となるなど、術者に高度な技術が要求される。本研究では腹腔鏡手術における知的支援・手術評価の基礎的検討として、腹腔鏡カメラにより撮影されたビデオ映像の各フレームを「臓器」・「手術器具」といったシーンに自動分類することを試みる。この分類によって得られた結果は、進行状況情報の共有化や手術手技の評価・採点にも利用できると考える。本手法では、ビデオ映像の各フレームの色情報をもとに部分空間法を利用し、腹腔鏡手術映像の自動シーン分類をおこなった。実験により、分類成功率が79.8%という結果を得た。

キーワード 腹腔鏡手術支援, シーン分類, 映像解析, 部分空間法

Estimation of procedure in laparoscopic surgery by subspace method with color information

Takahiro CHINO[†] Yoshito MEKADA[†] Kensaku MORI^{††} and Kazunari MISAWA^{†††}

[†]Graduate School of information Science, Chukyo University 101 Tokodachi, Kaidu-cyo, Toyota-shi, Aichi, 470-0393 Japan

^{††}Information and Communications Headquarters, Nagoya University Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8601 Japan

^{†††}Aichi Cancer Center 1-1 Kanokoden, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8681 Japan

E-mail: [†]{h11011m@st, y-mekada@sist}.chukyo-u.ac.jp, ^{††}kensaku@is.nagoya-u.ac.jp, ^{†††}misawakzn@aichi-cc.jp

Abstract This paper presents an automated method for classifying scenes of laparoscope videos based on the subspace method with color information. Because laparoscopic surgery requires more collaborative work in the narrow perspective of the operator, are strongly expected to develop a navigation system that supports collaboration. This paper presents the function for automated scene classification of laparoscopic videos as a preliminary study for achieving the intelligent assistance based on recognition of the progress of surgery and surgical evaluation. The subspace of each category is created from training dataset with color information. We applied the proposed method to a sequence of a laparoscopic video. The experimental results showed that the recognition rate of the proposed method is 79.8%.

Keyword laparoscopic surgery, scene recognition, video analysis, subspace method.

1. 背景

腹腔鏡手術は開腹手術と比べて術創が小さく患者への負担が少ない半面、体内に挿入したカメラから得られる情報の視野は狭く、複雑な鉗子操作が必要など、術者に高度な技術が要求される。同時に複数行なわれる手術の各状況を別室で見守り、必要に応じて適切な助言を行なうヘッドクォーターシステム[1]や正準相関分析を用いたワークフロー解析[2]など、手術の安全を確保するための様々な試みもなされている。前述の様に腹腔鏡手術は狭い視野で複数の術者の協調作業が

必要な手術であるため、その共同作業をサポートするためのナビゲーションシステムの開発が強く期待されている。この腹腔鏡ナビゲーションシステムでは、(a)患者解剖学的構造の把握、(b)仮想腹腔鏡画像と実腹腔鏡画像の融合、(c)腹腔鏡カメラ追跡、(d)手術進行状況に応じた知的支援、(e)医療過誤などを判断する手術自体の評価などといった機能が必要とされる。本研究では(d)および(e)の機能に関する基礎的検討として、腹腔鏡カメラにより撮影されたビデオ映像の各フレームを10種類のシーンに自動分類することを試みる。この分

類によって得られた結果は、手術手技の推定や手術の進行状況情報の共有化にも利用できるを考える[3]。また、術後の振り返りとして、顕著な出血回数、カメラが体外に出た回数や時間などを計測することで、手術が順調に推移したか否かを評価することも可能と考える。

本手法では、画像の見えの統計的な表現の一種である部分空間法[4]を利用し、特に色情報を利用したときの手法の精度の検証をおこなった。

2. 部分空間法

本手法では、入力を腹腔鏡ビデオ画像の各フレーム画像とし、それらのカテゴリ分類に部分空間法を利用する。部分空間法は、学習データの集合からその特徴を低次元で表現可能な部分空間を作成し、各カテゴリの部分空間と分類対象フレームとの類似度に基づき分類する手法である。部分空間法を利用した画像認識手法では、画像はその画素値を要素として並べた高次元ベクトルとして扱われる。

3. 手法

3.1. 概要

本論文で述べる方法は、(a)学習段階、ならびに、(b)認識段階、の2段階からなる。(a)の学習段階では、手入力によりカテゴリが付与された学習データの各フレーム画像群を用いて、カテゴリ毎の部分空間を作成する。(b)の認識段階では、未知の入力フレーム画像を部分空間に射影し、その射影ベクトルのノルムを比較することで、カテゴリ決定を行う。なお、本稿では腹腔鏡像の各画素値を正規化[5]した後、学習・認識等の処理をおこなう。

3.2. 学習データ

腹腔鏡ビデオから5秒(150フレーム)間隔でフレーム画像を取得し(※学習データ数が100枚に満たないカテゴリについては、腹腔鏡ビデオから1秒(30フレーム)間隔でフレームを取得)、それぞれのフレーム画像に10種類のカテゴリ(C0:体外, C1:体外(肌), C2:トロカー内, C3:鉗子, C4:ガーゼ, C5:血液, C6:内壁, C7:肝鎌状間膜, C8:肝臓, C9:肝臓以外の臓器)のいずれかを付与した。これらのカテゴリは、鉗子、臓器といった分類対象がフレームの中心、またはフレーム内の大部分を占めている画像を基準に決定した。図1にその一例を示す。

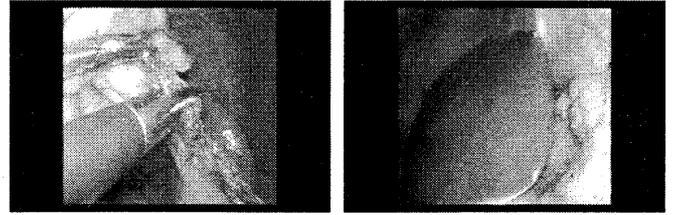


図1：腹腔鏡像の例(左：鉗子，右：肝臓)

3.3. 学習段階

各カテゴリの学習データに含まれる各フレーム画像において、各画素の色情報(R, G, B)を正規化して並べた n 次元縦ベクトル($n =$ 画像の総画素数 $\times 3$)を作成する。色情報の正規化には以下の式を用いる。

$$r = R/S, \quad g = G/S, \quad b = B/S$$

ただし、 S は R, G, B の和を表す。得られたベクトルの要素の平均が0、ベクトルのノルムが1となるように正規化し、これらのベクトル(\mathbf{x}_i)を横に並べた行列 \mathbf{X} を作る。

$$\mathbf{X} = (\mathbf{x}_1 \quad \mathbf{x}_2 \quad \mathbf{x}_3 \quad \cdots \quad \mathbf{x}_k)$$

このとき要素数は $n \times (k =$ 学習データ数)となる。得られたベクトルから自己相関行列 $\mathbf{Q} = \mathbf{X}\mathbf{X}'$ を求め、固有値展開することで固有ベクトルを得る。カテゴリ毎に、この固有ベクトル($\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \dots$)を対応する固有値の値の降順に並べ、 m 個の固有ベクトルで張られるカテゴリ i の部分空間 \mathbf{U}_i を得る。

$$\mathbf{U}_i = (\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \mathbf{e}_3, \dots, \mathbf{e}_m)$$

3.4. 認識段階

学習段階と同様に、入力映像の各フレーム画像から色情報を正規化して並べた n 次元ベクトル($n =$ 画像の総画素数)を作成する。得られたベクトルの各要素の平均が0、ベクトルのノルムが1となるように正規化したで得られたベクトル \mathbf{y} を、先に求めた各カテゴリの部分空間に射影する。射影されたベクトルのノルムが最大となるカテゴリに分類し、それを認識結果とする。

$$\arg \max_i |\mathbf{U}_i \mathbf{y}|^2$$

4. 実験結果

実験試料として腹腔鏡手術の映像2例を用いた。映像のフレームサイズは 480×320 [pixel]、フレームレートは 30 [fps]、映像時間は各クリップ約100分のものを用いた。学習データ数は各カテゴリ100画像(内半数を分類対象フレームから使用)とし、各フレームは 24×16 [pixel]に縮小、部分空間の次元数は実験的に20次元とした。また、使用した計算機はCPU：

Intel®Core™i7 2.8GHz, RAM 8GB である。症例別の分類結果を表 1 に、カテゴリ別の分類結果をコンフュージョン・マトリクスにまとめたものを表 2, 3 に示す。また、色情報との比較対象として輝度情報による分類結果を併記する。

表 1：分類結果と識別時間

症例番号	総フレーム枚数	分類成功率[%]		識別時間[sec/frame]	
		色情報	輝度情報	色情報	輝度情報
1	3355	80.2	88.6	0.16	0.06
2	3153	79.3	87.4	0.17	0.05
平均	3254	79.8	88.0	0.17	0.06

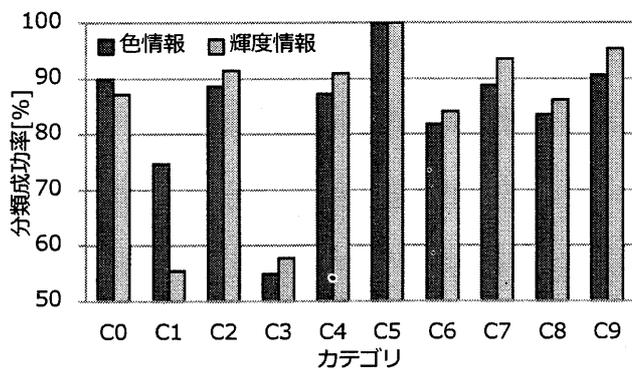


図 2：色情報と輝度情報の分類結果比較

5. 考察

実験の結果から、色情報を用いた平均分類成功率は約 8 割、輝度情報を用いた平均分類成功率は約 9 割であることが知られた。1 フレームあたりの計算時間は色情報では 0.17[sec/frame]、輝度情報では 0.06[sec/frame]となった。色情報と輝度情報の分類精度の差は体外では色情報が、体内では輝度情報が勝っていた。色情報を用いた場合にカメラが体内にある場合の分類精度が低下する原因として、色情報の正規化処理を行なっているとはいえ、照明条件により物の見え方は多様に変化することが原因と考える。

図 2 に示す部分空間を、正規化した色情報で作成した場合と輝度情報で作成した場合の分類結果を比較すると、C1(体外(肌))に差異がみられた。これはカテゴリを付与する際、肌映されている映像に対して同一カテゴリとして付与したが、執刀内容により肌映されている映像でも大きくその特徴が異なるため(図 3)、分類成功率に差が生じたと考えられる。また、色情報・輝度情報ともに C3(鉗子)の分類成功率が他のカテゴリに比べ分類精度が低い。これは、図 4 に示すように鉗子は映像に対してあらゆる方向から映っているため、限られたデータ数では学習が難しく特徴が得られなかったためと考えられる。今回用いた特徴は、カメラの

移動に対して不変な特徴ではない。そのため、対象の見え方と位置の両方が同等でなければ類似度が低くなるため、このような多様な見え方を含むカテゴリの分類精度が低下していると考えられる。

本実験では、学習対象のそれぞれフレームに対し 1 カテゴリのみを与えたが、図 5 に示すように複数のカテゴリに分類可能な画像も存在し、これが誤分類の主な原因と考える。



図 3：C1(体外(肌))の例



図 4：C3(鉗子)の例

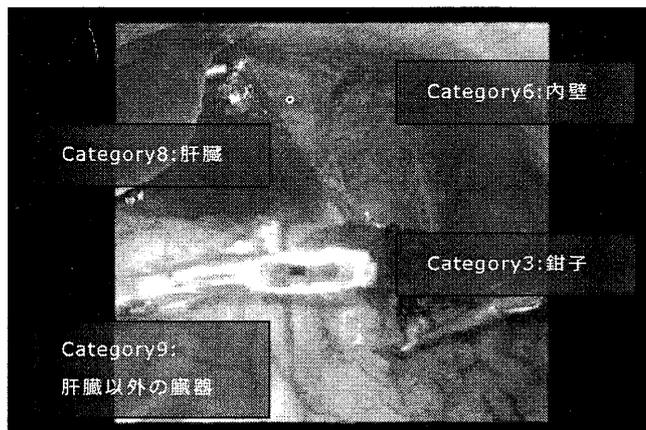


図 5：唯一のカテゴリ付与できない例

6. まとめ

本研究では腹腔鏡手術の進行状況把握のため、腹腔鏡映像の自動分類を試みた。腹腔鏡映像の各フレームを手入力で 10 種類のカテゴリに分類し学習データを作成した後、部分空間の構築を行った。その後、腹腔鏡映像 2 例の分類を試み、色情報を用いた平均分類成功率は約 8 割、輝度情報を用いた平均分類成功率は約 9 割であった。

今後の課題として本手法の複数症例への適用、医師が必要としているシーンのカテゴリ化、鉗子が含まれる映像の認識率の向上、カテゴリ分類結果の時系列推移に基づく手術状況の認識などがあげられる。

謝辞

日頃熱心に御検討頂く中京大学目加田研究室, 名古屋大学森研究室諸氏に感謝する. 本研究の一部は, 文部科学省・日本学術振興会科学研究費補助金, および, 国立がん研究センターがん研究開発費によった.

文献

[1] 和泉潔, 奈良温, “位置情報による術室統括ヘッドクォータ支援技術”, デジタルヒューマンシンポジウム講演予稿集, 2009
 [2] T. Blum, N. Navab, H. Feußner, Modeling and Segmentation of Surgical Workflow from

Laparoscopic Video, Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI 2010), 2010

[3] 三澤一成, “消化器外科における外科医の視点—外科医の目は何を見ているか—”, 電子情報通信学会技術報告, MI2010-9(2010-5),pp.45-46,2009.
 [4] エルッキオヤ, “パターン認識と部分空間法”, 産業図書,1986.
 [5] 道満恵介, 出口大輔, 高橋友和, “色変動を考慮した生成型学習法による道路標識検出器の構築”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J93-D, No.8, pp.1375-1385, Aug.2010.

表 2 : 色情報による分類結果のコンフュージョン・マトリクス

		入力フレーム									
		C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
分類結果	C0	1169	8	2	2	0	0	1	0	0	0
	C1	7	372	0	2	0	0	0	0	0	0
	C2	32	52	62	24	2	0	3	4	1	1
	C3	7	2	4	353	1	0	2	1	2	1
	C4	17	3	0	53	96	0	5	1	1	1
	C5	1	10	0	26	0	26	4	0	2	4
	C6	33	33	0	39	2	0	135	8	7	1
	C7	6	0	0	17	1	0	3	150	7	0
	C8	13	0	1	56	4	0	6	2	127	0
	C9	15	18	1	71	4	0	6	3	5	77
分類率		89.9	74.7	88.6	54.9	87.3	100.0	81.8	88.8	83.6	90.6

表 2 : 輝度情報による分類結果のコンフュージョン・マトリクス

		入力フレーム									
		C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
分類結果	C0	1134	13	1	38	0	0	3	0	0	0
	C1	1	276	0	6	1	0	0	0	0	0
	C2	20	25	64	7	0	0	3	0	0	0
	C3	11	42	2	371	3	0	4	0	3	0
	C4	28	37	0	69	100	0	4	1	2	0
	C5	10	4	0	19	0	26	0	0	3	4
	C6	51	19	1	38	5	0	143	2	5	0
	C7	1	0	0	0	0	0	4	158	2	0
	C8	5	2	1	11	0	0	1	1	131	0
	C9	39	80	1	84	1	0	8	7	6	81
分類率		87.2	55.4	91.4	57.7	90.9	100.0	84.1	93.5	86.2	95.3