

テクニカルノート

大規模放送映像アーカイブにおける 出現パターンによる準同一映像区間の分類

社本裕司^{†1,*1} 井手一郎^{†1,†2} 出口大輔^{†1}
高橋友和^{†3} 村瀬洋^{†1}

我々は、日々増え続ける大量の放送映像からなるアーカイブを効果的かつ効率的に利用するために、映像内容に基づく構造化に取り組んでいる。本稿では、共通の枠組みの中で、様々な種類の放送映像を対象とした構造化を実現するための手段として、準同一（near-duplicate）映像の出現パターンに基づく分類を検討した結果を報告する。実際に、1,000 時間規模の放送映像に対する実験により、約 360 万対の準同一映像区間を検出し、それを約 4 万個のクラスにまとめた後、6 種類の準同一映像クラスに分類した結果について分析することで、提案手法の効果と課題を明らかにする。

Classification of Near-duplicate Video Clips in a Large-scale Broadcast Video Archive Based on their Appearance Patterns

YUJI SHAMOTO,^{†1,*1} ICHIRO IDE,^{†1,†2} DAISUKE DEGUCHI,^{†1}
TOMOKAZU TAKAHASHI^{†3} and HIROSHI MURASE^{†1}

We are focussing on the structuring of a broadcast video archive by video contents for its effective and efficient use. This paper reports the result of a study on the classification of near-duplicate video clips according to their appearance patterns, for the structuring of various genres of broadcast videos in one framework. As a result of an experiment applied to 1,000 hours of videos, 3.6 million pairs of near-duplicate video clips were detected, and grouped into 40,000 clusters. We then analyzed the results of a classification into six classes, to clarify the effectiveness and the future issues of the proposed framework.

1. はじめに

近年、記憶装置の高密度化にともない、大量の映像を電子的に蓄積できるようになった。我々はこれを受け、日々蓄積し続けた数千時間の放送映像からなるアーカイブの利用方法を検討している。このように大量の映像を効果的かつ効率的に利用するためには、映像内容に基づく構造化が必要である。そこで、様々な映像中に出現する準同一映像（near-duplicate video clip）を手がかりとした構造化を考えている¹⁾。本稿では、その第一歩として、出現パターンに応じて準同一映像の役割を分類する方法について検討した結果を報告する。

準同一映像とは、映像中に複数回出現する、きわめて類似した画像特徴を持つ映像断片のことである。一般に「準同一映像対」として2つの映像断片が検出されるが、本稿では、これらの断片1つずつを「準同一映像」と呼ぶことにする。なお、準同一映像は、(1) 同一資料映像、(2) 同一物体/同一背景、(3) 同一シーン、に分類される²⁾が、本稿では画素レベルの見かけがほぼ同一である、(1) および (2) を対象とする。

準同一映像の出現を応用した研究として、広告映像の検出³⁾⁻⁵⁾のほかに、共起する映像間の関係を求めるための手がかりとするものがある。たとえば Duygulu らは、準同一映像と同一ロゴの存在を手がかりとした、ニュースのトピック追跡手法を提案した⁶⁾。また、Yamagishi らは、ニュース映像中の準同一映像の時系列分布を可視化し、ニューストピックの性質と、準同一映像の種類に応じた役割を分析できるようにした⁷⁾。さらに、Ogawa らは、準同一映像の出現も手がかりとした言語横断ニュースイベント検索手法を提案し、必ずしもテキストの類似度に依存せずに同一ニュースイベントを検出できるようにした⁸⁾。一方、Katayama らは、複数チャンネルのニュース映像に出現する準同一映像の頻度に応じた、重要ニュース検出手法を提案した⁹⁾。

しかし、これらは応用に特化した個別の検出規則を設けたり、対象映像のみに適用したりしただけで、他の種類の映像に適用した際の挙動が分からないものもある。これに対して

†1 名古屋大学

Nagoya University

†2 情報・システム研究機構国立情報学研究所

Research Organization of Information and Systems, National Institute of Informatics

†3 岐阜聖徳学園大学

Gifu Shotoku Gakuen University

*1 現在、ソニーイーエムシーエス株式会社

Presently with Sony EMCS Corporation

本稿で提案する手法は、一般の放送映像を対象とした共通の枠組みの中で一括して準同一映像を検出したうえで、その出現パターンに関する一般的な特徴を組み合わせ、これらの研究に必要な準同一映像を分類することを目指す。提案手法には、(1) 準同一映像の出現パターンを一般的な特徴として用いるため、一度映像アーカイブ全体から検出しておけば、様々な応用対象に共通して利用できる、(2) 準同一映像の出現パターンは表層的な特徴であるため、映像中に含まれる特徴に基づいた対象依存の学習における問題であった、演出・表現方法など映像内容の変化にも影響を受けにくい、という利点がある。これらは、準同一映像の時間方向・チャンネル間における出現パターンを分析しうるほど長期間にわたり、多チャンネルの放送映像を蓄積して初めて実現できることである。

2. 準同一映像区間の検出

異なるチャンネル間で準同一映像を検出するために必要な事前処理について紹介したうえで、準同一映像区間の検出手法について簡単に紹介する。

2.1 事前処理

入力映像の各フレームに対して、以下の処理を適用する。

- (1) 特徴比較領域の切出し フレーム周縁部には字幕やロゴなどが挿入されることが多いため、図1中央の白色領域を切り出して、フレーム間で照合する。この領域は、字幕やロゴの出現状況を観察し、経験的に定めた。
- (2) チャンネル間の色調整 異なるチャンネルでは、色の調整が異なることがあるため、チャンネル間で色を変換して照合する。元々同一と考えられる広告映像をいくつか選び、以下のようにしてチャンネル間の色変換関数を求めておく：RGB各色成分について、
 - (a) 全画素における画素値の対応から、その頻度分布を求める。この際、 $[0, 4]$ と

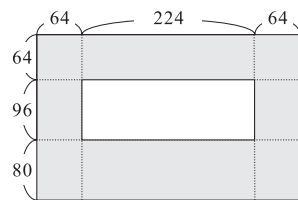


図1 特徴比較領域 [ピクセル]
Fig. 1 Region for feature comparison [pixels].

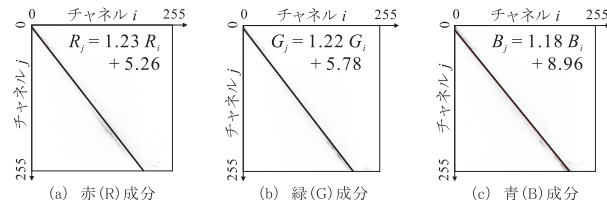


図2 チャンネル間の RGB 各色成分の対応と変換関数の例
Fig. 2 Example of the RGB color correspondences and the transformation functions between channels.

$[251, 255]$ の極端な値は信頼性に欠けるため、除去する。

- (b) 最小 2 乗法による線形回帰により、画素値の対応を表す変換直線を求める。画素値の対応と、それから得られる色変換関数の例を図2に示す。

本研究で対象とする準同一映像は視点の違いを含まないため、あえて抽出に時間を要する SIFT などの局所特徴量ではなく、上記の処理を経た後に、特徴比較領域の各行の画素値 (R, G, B 成分を並べたもの) を連結したベクトル ($224 \times 96 \times 3$ 次元) を作成し、特徴量とする。

次節で述べるように、本研究では、このようなベクトル間の距離がごく短いものを準同一映像対として検出する。その際に多少の色の違いは閾値の範囲内で許容されるが、予備実験により、実際のチャンネル間の色の違いは無視できない程度に大きいことが判明したため、処理(2)を導入した。

2.2 準同一映像区間の検出方法

本研究では、1章で対象として述べた種類の準同一映像について、特徴ベクトル間の Euclid 距離が閾値以下の映像と定義する。以下の実験では、極端な例でいえば、照合対象領域中の全画素の約 1% について、R, G, B 成分のいずれかの値域の最小 (大) 値から最大 (小) 値に変化、あるいは全画素について R, G, B 成分のいずれかの値が値域の最大値の約 1% 変化した場合までは準同一映像として許容することにし、これに相当する閾値を設定した。

近年、様々な準同一映像検出手法が提案されているが、本研究では筆者らの研究グループが開発した手法を用いる。これは、時空間特徴次元圧縮¹⁰⁾ および特徴空間の適応的分割¹¹⁾ により、映像に含まれるすべての準同一映像を高速かつ正確に検出する手法である。この手法により、単純に照合するのと比べて数千倍高速に準同一映像を検出できるため、従来は現実的な時間で処理できなかった規模の映像を対象にできるようになった。本稿では詳細を省くが、時空間特徴次元圧縮による高速検出手法の概略は以下のとおりである。

- (1) 効率的な特徴表現のための基底の選択 一般的な性質を表すと考えられる程度に長い放送映像について、その画素値からなるベクトルに主成分分析を適用する。固有値が大きい順に上位 D 個の固有ベクトルを基底として選び、 D 次元特徴空間を張る。
- (2) 準同一映像対の検出
 - (a) 低次元特徴空間における候補検出 照合対象映像の特徴ベクトルを、手順(1)で張った特徴空間に射影し、低次元で照合し、閾値以下の場合に準同一映像候補として検出する。これにより、元の高次元で照合するのに比べて、高速に照合できる。また、照合に Euclid 距離を用いることで、低次元特徴空間における

検出では検出もれが生じないことが理論的に保証される。

- (b) 元の高次元特徴空間における検出 低次元空間における照合結果には過検出が含まれるため、手順 (a) の検出結果について、元の高次元特徴空間で再照合し、真の準同一映像対を検出する。
- (3) 準同一映像区間の抽出 まず、準同一映像対を構成する映像がごく短い間隔で連続して出現する場合は、継続的な動きが少ない映像の一部と考え、除去する。次に、手順 (2) で検出された各準同一映像対につき、距離が閾値以下である限り、前後に 1 フレームずつ伸長することで、正確な準同一映像区間を求める。以上の結果、他の準同一映像区間と重畳した場合に両区間を結合することで、準同一映像区間を抽出する。
- なお、この方法は、手順 (2)-(a) の次元圧縮により高速化しても検出もれがないことが理論的に保証され、かつ、手順 (2)-(b) で過検出を排除するため、上記の定義に従った元の高次元特徴空間における検出結果と同一の結果が得られるという特徴がある。

2.3 準同一映像区間の検出実験

本研究で用いる準同一映像区間は、放送映像アーカイブ NII-TVRECS¹²⁾ に収録された、東京地区の地上波アナログ放送 (NHK 教育を除く 6 チャンネル) で放送された 1 週間分の映像、合計 1,008 時間から得た。2.2 節で紹介した高速検出手法を 48 ノード (96CPU; うち 1 CPU は処理制御用) の計算機クラスタ上に実装し、約 4 日間で 3,597,942 対の準同一映像区間対を検出した。

準同一映像対はほぼ正しく検出されたが、青空や海面のように、似た色合いを持ち、かつ一様なテクスチャの対象が照合対象領域一面に定常的に映っているような場合に、それら相互を誤検出する事例はあった。このような特殊な状況は稀であるため、次節で紹介する実験結果に大きく影響することはなかった。

さらに、関連するすべての準同一映像区間対を結合して映像クラスタにまとめた*1とすると、40,298 個のクラスタが得られた。

次に、得られた準同一映像区間の出現分布について、映像の役割ごとに、時間方向、チャンネル間で定性的に分析した。図 3 に、いくつかの特徴的なクラスタ中の準同一映像区間の出現分布を示す。たとえば、図 3 (a) のように、広告は複数チャンネルにわたり満遍なく出現することが分かる。一方、図 3 (b) や図 3 (d) のように、番組のオープニングタイトルや市況情報のように周期的に出現するものもある。また、図 3 (c) のように、ニュースにおける

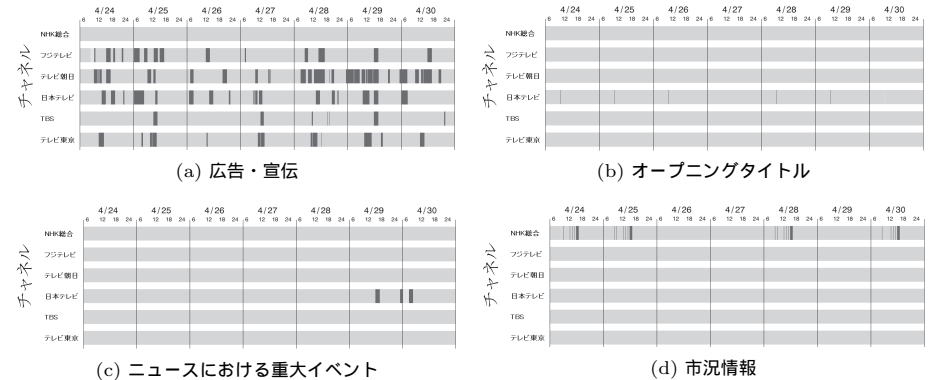


図 3 役割に応じた準同一映像の出現パターン例

Fig. 3 Example of appearance patterns of near-duplicate video clips according to their roles.

重大イベントは集中的に出現することが分かる。

3. 役割に応じた準同一映像区間の分類

3.1 役割に応じた準同一映像クラスの定義

2.3 節の分析の結果、役割に応じて、同一映像区間を以下のとおり分類することにした。

- 再放送 複数回放送される長い準同一映像区間。冗長な同一番組の映像を省くのに使えらる。
- 広告 広告のための非常に短い準同一映像区間。非番組映像を検出し、番組表に掲載されていない映像の分析をしたり、省いたりするのに使えらる。
- タイトル 番組や番組内のコーナーのオープニングやエンディングなどに出現する短い映像。番組構造の正確な切出しや、番組内構造の分析に使えらる。
- 類似構図 元々異なる映像でありながら、非常に類似した構図の映像。ニュースのスタジオショットやスポーツのイベント検出に使えらる。
- 予告編 番組の予告編や要約など、長い映像の一部を抜粋した短い映像。本編と予告編を関連付けたり、冗長な映像を省いたりするのに使えらる。
- ニュースイベント 主にニュースに出現し、ニュースイベントに関する資料映像や配信映像を様々に編集した映像。ニュース映像間の関連付けに使えらる。

*1 例: 準同一映像区間対 $(s_a, s_b), (s_a, s_c), (s_b, s_d), \dots$ から、準同一映像クラスタ $\{s_a, s_b, s_c, s_d, \dots\}$ を得る。

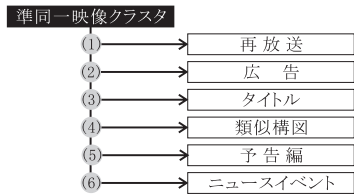


図 4 役割に応じた準同一映像区間の分類手順
Fig. 4 Classification steps of near-duplicate video clips according to their roles.

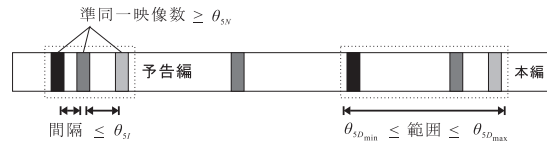


図 5 「予告編」の分類条件
Fig. 5 Classification rule for the "Digest" class.

3.2 分類規則

以上の役割に応じて準同一映像区間を分類するために、分類規則を定めた。具体的には、図 4 に示した順に、準同一映像クラスに含まれる準同一映像区間の長さ、出現間隔、出現頻度・密度、出現チャンネルなどの特徴量を組み合わせた規則を適用する。なお、より長い準同一映像区間対に包含される準同一映像区間対は事前に除去しておいた。

- (1) 再放送 準同一映像クラス中の $\theta_{1P}\%$ 以上の準同一映像区間の長さが θ_{1L} フレーム以上の場合、「再放送」に分類。
- (2) 広告 次の条件をともに満たす準同一映像クラスを「広告」に分類。
 - クラスタ中の $\theta_{2P}\%$ 以上の準同一映像区間の長さが $\theta_{2L} \pm \theta_{2E}$ フレーム。
 - クラスタ中の準同一映像区間が、 θ_{2D} 日以上期間にわたって出現、あるいは θ_{2C} チャンネル以上にわたって出現。
 これらは、広告映像の長さが固定的で、通常複数チャンネルに出現するという観察に基づく。ただし、実際の広告映像には、同一時期に放送されるものでも、内容や長さの違いがあるものがある。また、複数の異なる広告映像がたびたび同じ順序で連続して放送されることもある。このような場合には、広告映像の一部や、複数の広告映像が準同一映像区間として検出されてしまう。人手による評価の際には、これらを「その他」として扱う。
- (3) タイトル 準同一映像クラス中の $\theta_{3P}\%$ 以上の準同一映像区間が、1 週間に θ_{3D} 日以上、特定の時刻 ($\pm \theta_{3E}$ フレームの誤差を許容) に出現する場合、「タイトル」に分類。
- (4) 類似構図 準同一映像クラス中の隣接する準同一映像区間の間隔の中央値が θ_{4I} フ

表 1 実験に用いた変数とその値
Table 1 Parameters and their values used in the experiment.

変数	値	変数	値
θ_{1P}	80%	θ_{2C}	2 チャンネル
θ_{2P}	80%	θ_{3E}	108k frames
θ_{3P}	80%	θ_{3D}	3 日
θ_{1L}	9k frames	θ_{4I}	18k frames
θ_{2L}	{450, 900, 1,800} frames	θ_{5N}	3 個
θ_{2E}	60 frames	θ_{5I}	150 frames
θ_{2D}	1 日	$\theta_{5D_{max}}$	21k frames
		$\theta_{5D_{min}}$	9k frames

表 2 各準同一映像クラスに分類されたクラスタ数
Table 2 Frequency of near-duplicate video clusters per class.

準同一映像クラス	クラスタ数	割合
再放送	61	0.15%
広告	2,020	5.01%
タイトル	533	1.32%
類似構図	14,457	35.88%
予告編	3,122	7.75%
ニュースイベント	14,349	35.61%
その他	5,756	14.28%
合計	40,298	100.00%

表 3 提案手法と人手による分類の比較 [%]

Table 3 Comparison of the classification by the proposed method and manual classification [%].

提案手法による自動分類	人手による分類						
	再放送	広告	タイトル	類似構図	予告編	ニュースイベント	その他
再放送	36	0	0	0	0	0	64
広告	0	92	2	0	0	1	5
タイトル	0	0	65	2	0	0	33
類似構図	0	0	0	63	6	0	31
予告編	0	1	2	0	35	49	13
ニュースイベント	0	1	7	5	17	51	19

レーム以下の場合、「類似構図」に分類。これは、類似した構図の準同一映像区間は短期間に集中して出現することが多いためである。また、複数日にわたって局所的に分布することを考えて、中央値を採用した。

- (5) 予告編 複数の準同一映像クラス中の、 θ_{5N} 個以上の準同一映像区間が、 θ_{5I} フレーム以下の間隔で出現し、それらに対応する準同一映像区間が、 $[\theta_{5D_{min}}, \theta_{5D_{max}}]$ フレームの範囲に出現する場合、「予告編」に分類。図 5 にこの条件を図示した。
- (6) ニュースイベント これ以外の準同一映像クラスを「ニュースイベント」に分類。

3.3 実験

2.3 節で検出された準同一映像クラスを、上記の手順で分類した。この際に用いた変数の値を表 1 に示す。これらの値は、3.1 節における分析や予備実験から、経験的に定めた。

表 2 に分類結果を示す。この一部（「再放送」のみ 61 クラスタ、他は 100 クラスタ、合計 561 クラスタ）について、人手による分類結果と比較した表を表 3 に示す。全体としては、

52.5%のクラスが正しく分類された。なお、人手による分類では、事前に定めたクラス以外に「その他」を設定した。これには、3.2節(2)で述べたようなもののほか、分類規則で想定しなかった通信販売番組など、どのクラスにも属しないと判断されたものが含まれる。

各クラスの分類結果を分析する。「再放送」および「タイトル」の誤分類は主に、通信販売の映像だった。これについて、新たに「通信販売」クラスを設けて分類することは比較的容易と考えられる。その場合、通信販売映像を除いた分類性能は各々69%、88%になる。「広告」は良い分類性能を示した。複数の広告映像の間に挟まれる短い準同一映像区間を広告映像と見なすなどの条件を加えれば、より良い分類性能が得られることが期待される。「類似構図」の誤分類は主に、番組中の広告映像前後における短いリプレイだった。広告映像前後のリプレイに関する条件を加えることで、これらを除去できるようになることが期待される。「予告編」の誤分類は主に、ニュース番組中の短い資料映像のリプレイだった。また、予告編中の映像に対応する映像が本編に出現しない場合に、正しく検出できなかった。「ニュースイベント」の誤分類は、他クラスに分類できなかった雑多な準同一映像区間だった。今後、ニュースイベント固有の特徴を検討し、分類規則を設ける必要がある。

4. おわりに

本稿では、準同一映像の役割とその出現パターンを分析し、人手で作成した規則により分類した結果を報告した。分類クラスによっては実用的な性能で検出することに成功したが、全体としては必ずしも良い検出性能が得られなかった。

今後は、「通信販売」など新たなクラスを設けたり、分類規則に他クラスの出現に関する特徴を組み合わせたことで、性能の向上を期待する。さらに、本検討結果に基づき、準同一映像区間の出現パターンに関する特徴を用いたクラスタリングなどによるより良い分類規則の自動獲得や、電子番組表(EPG)と組み合わせたより詳細な役割の分類(番組、非番組の分類や、タイトルをオープニング、エンディング、コーナに細かく分類など)を検討する。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金(特定領域研究「情報爆発IT基盤」,「若手研究(B)」,「基盤研究(B)」)および国立情報学研究所と名古屋大学の間の共同研究による。

参考文献

1) Ide, I., Shamoto, Y., Deguchi, D., Takahashi, T. and Murase, H.: Classification of near-duplicate video segments based on their appearance patterns, *Proc. 20th Int. Conf. on Pattern Recognition*, pp.3129–3133 (2010).

- 2) 佐藤真一: 大量映像時代が拓く映像コピー検出技術の新展開(特集「大規模画像データ処理」), *人工知能学会誌*, Vol.25, No.6, pp.777–784 (2010).
- 3) Duygulu, P., Chen, M.-Y. and Hauptmann, A.: Comparison and combination of two novel commercial detection methods, *Proc. 2004 IEEE Int. Conf. on Multimedia and Expo*, pp.1267–1270 (2004).
- 4) Lienhart, R., Kuhmunch, C. and Effelsberg, W.: On the detection and recognition of television commercials, *Proc. IEEE Int. Conf. on Multimedia Computing and Systems 1997*, pp.509–516 (1997).
- 5) Naturel, X. and Gros, P.: Detecting repeats for video structuring, *Multimedia Tools and Applications*, Vol.38, No.2, pp.233–252 (2008).
- 6) Duygulu, P., Pan, J.-Y. and Forsyth, D.A.: Towards auto-documentary: Tracking the evolution of news stories, *Proc. 12th ACM Int. Conf. on Multimedia*, pp.820–827 (2004).
- 7) Yamagishi, F., Satoh, S. and Sakauchi, M.: A news video browser using identical video segment detection, *Advances in Multimedia Information Processing – PCM2004: Proc. 5th Pacific Rim Conf. on Multimedia, Part II*, Lecture Notes in Computer Science, Vol.3332, pp.205–212, Springer-Verlag (2004).
- 8) Ogawa, A., Takahashi, T., Ide, I. and Murase, H.: Cross-lingual retrieval of identical news events using image information, *Advances in Multimedia Modeling – Proc. 14th Int. Multimedia Modeling Conf., MMM 2008*, Lecture Notes in Computer Science, Vol.4903, pp.287–296, Springer-Verlag (2008).
- 9) Katayama, N., Mo, H. and Satoh, S.: News Shot Cloud: Ranking TV news shots by cross TV-channel filtering for efficient browsing of large-scale news video archives, *Advances in Multimedia Modeling – Proc. 17th Int. Multimedia Modeling Conf., MMM 2011 Part I*, Lecture Notes in Computer Science, Vol.6523, pp.284–295, Springer-Verlag (2011).
- 10) Ide, I., Noda, K., Takahashi, T. and Murase, H.: Genre-adaptive near-duplicate video segment detection, *Proc. 2007 IEEE Int. Conf. on Multimedia and Expo*, pp.484–487 (2007).
- 11) Ide, I., Suzuki, S., Takahashi, T. and Murase, H.: Adaptive division of feature space for rapid detection of near-duplicate video segments, *Proc. 2009 IEEE Int. Conf. on Multimedia and Expo*, pp.694–697 (2009).
- 12) Katayama, N., Mo, H., Ide, I. and Satoh, S.: Mining large-scale broadcast video archives towards inter-video structuring, *Advances in Multimedia Information Processing – PCM2004: Proc. 5th Pacific Rim Conference on Multimedia, Part II*, Lecture Notes in Computer Science, Vol.3332, pp.489–496, Springer-Verlag (2004).

(平成 23 年 3 月 20 日受付)

(平成 23 年 7 月 11 日採録)



社本 裕司

平成 19 年名古屋大学工学部情報工学科卒業。平成 21 年同大学大学院情報科学研究科博士前期課程修了。修士（情報科学）。現在、ソニーイーエムシーエス株式会社勤務。



井手 一郎（正会員）

平成 6 年東京大学工学部電子工学科卒業。平成 8 年同大学大学院工学系研究科修士課程修了。平成 12 年同博士課程修了。博士（工学）。同年国立情報学研究所助手。平成 16 年名古屋大学大学院情報科学研究科助教授、平成 19 年同准教授、現在に至る。この間、平成 16~22 年情報・システム研究機構国立情報学研究所客員助教授・准教授兼任、平成 22~23 年オランダアムステルダム大学情報学研究所上級訪問研究員。電子情報通信学会シニア会員、映像情報メディア学会、人工知能学会、言語処理学会、IEEE Computer Society、ACM 各会員。



出口 大輔

平成 13 年名古屋大学工学部情報工学科卒業。平成 15 年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了。平成 18 年同大学院情報科学研究科博士後期課程修了。博士（情報科学）。平成 16~18 年日本学術振興会特別研究員。平成 18 年名古屋大学大学院情報科学研究科研究員、同大学院工学研究科研究員。平成 20 年同大学院情報科学研究科助教、現在に至る。電子情報通信学会、日本医用画像工学会、日本コンピューター外科学会、日本エム・イー学会各会員。



高橋 友和

平成 9 年茨城大学工学部情報工学科卒業。平成 12 年同大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。平成 15 年同博士後期課程修了。博士（工学）。同年名古屋大学大学院情報科学研究科 COE 研究員。平成 17 年日本学術振興会特別研究員。平成 20 年岐阜聖徳学園大学経済情報学部准教授、現在に至る。電子情報通信学会、画像電子学会各会員。



村瀬 洋（正会員）

昭和 53 年名古屋大学工学部電気工学科卒業。昭和 55 年同大学大学院修士課程修了。同年日本電信電話公社（現 NTT）入社。この間、平成 4~5 年米国コロンビア大学客員研究員。平成 15 年名古屋大学大学院情報科学研究科教授、現在に至る。工学博士。IEEE、電子情報通信学会各フェロー。