

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年05月20日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500122

研究課題名（和文） 圧縮原理を用いた認識スキームの自律形成手法の研究

研究課題名（英文） Compression-based self-organizing Recognizer Design

研究代表者

渡辺 俊典（WATANABE TOSHINORI）

電気通信大学・大学院情報システム学研究所・教授

研究者番号：22500122

研究成果の概要（和文）：認識対象オブジェクトの統計的モデルを人手で構築した後、モデルと未知対象との統計的類似度を計算してオブジェクトを認識する伝統的方式では、テキスト、音、画像など種々のデータ型や多様な内容オブジェクトへの対応は困難である。本研究では、多様なデータ型を圧縮率特徴ベクトルで汎用的に表現する方式と、認識された下位オブジェクトの共起性から上位オブジェクトを自動発見する方式の可能性、および両者を統合した高度に自律的な認識機構の可能性を探索した。画像を用いた実験でこれらについての肯定的な結果を得た。

研究成果の概要（英文）：Traditional object recognition schemes have been the statistical one wherein target objects' statistical models are prepared manually and applied to unknown task data. Due to the heavy human intervention, this approach becomes weak for multi-media data with variety of target objects. In this research, a new autonomous object model acquisition scheme is investigated. For this, we investigate the possibility of data's compressibility vector as a general feature, the possibility of co-occurrence-based object discovery and the possibility of highly autonomous recognition scheme based on them. Promising experimental results are reported.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：知能情報学、メディア情報学・データベース

キーワード：パターン認識、機械知能、マイニング、ウェブ分析、自律システム

1. 研究開始当初の背景

テキスト、音、画像などのマルチメディアデータが爆発的に増加する中、計算機によるこれらの内容の自動分析が重要となる。従来研究では、認識対象をたとえば人の顔などに限定し、その統計的モデルを構築しておき、それとの統計的類似度によって対象を認識する方法が主流である。殆どの場合、モデル構

築は人手により、かつ対象依存で構築されるため、爆発的に増大する多様なマルチメディアデータへの対応は困難であり、計算機による自動認識機能の実現が望まれる。

2. 研究の目的

モデル構築段階から認識にいたるすべての段階を全自動で実現する方式の実現を目指す

す。要素技術として、多様なデータ型に対応できるデータの特徴表現法、オブジェクトの発見法などの開発が必要となる。

3. 研究の方法

上記目標の実現のために、下記3研究を実施した。実験対象としては、多様なオブジェクトを含むカラー自然画像や、カラー航空写真を主に用い、適宜他のデータ型も扱った。

(1) 従来のモデルに代わる汎用性の高い特徴表現方式として、圧縮率特徴ベクトルの導入とオブジェクト認識への適用。さらに、手書きストロークによる個人認証、通信ネットワーク上のトラフィックパターン分析への適用によるこの表現方式の汎用性の確認。

(2) 下位オブジェクトが別のデータ内に同時出現する度合（共起性）を利用する階層オブジェクトモデルの自動構築方式の実現。

(3) 与えられたデータのみから、それに含まれる下位オブジェクトを認識するための圧縮性特徴ベクトルを自動形成し、これによって下位オブジェクトを認識するとともに、その共起性によって上位オブジェクトを発見する方式の実現。

4. 研究成果

(1) 圧縮性特徴ベクトルによる認識機構

① 圧縮性特徴ベクトルを用いた階層分類木の自動形成手法（学会発表⑥）

課題：入力された複数の航空写真から、それらを分類する2分決定木を自動生成すること。

入力：複数のカラー静止画像。

出力：画像分類用決定木。

処理：

- ・入力画像群のテキスト化（図1）。
- ・テキスト群からの圧縮率特徴ベクトル空間の構築（ランダムに選択した複数のテキストをLZW圧縮して得られる圧縮器群で空間基底を実現、図2は2次元空間の例）。
- ・圧縮率特徴ベクトル空間によるテキスト群の特徴ベクトル化（各テキストを基底圧縮器で圧縮して得る。図2）。

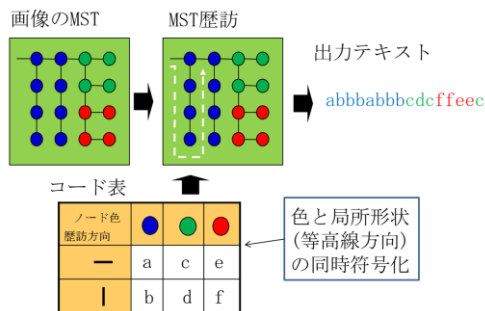


図1. 最小全域木 (MST)利用画像テキスト化

・ベクトル群のクラスタリングによる2分木構造デンドログラムの構築（図2の例のようなクラスタから図3左を得る）。

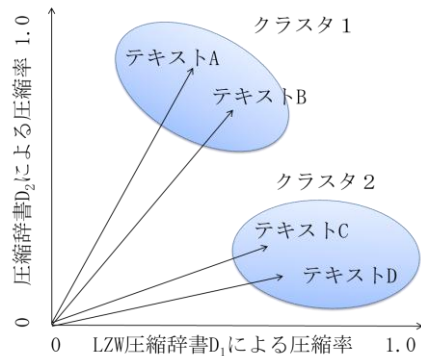


図2. 圧縮率特徴空間クラスタリング

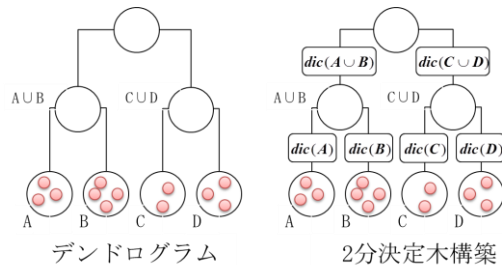


図3. 二分決定木の構築

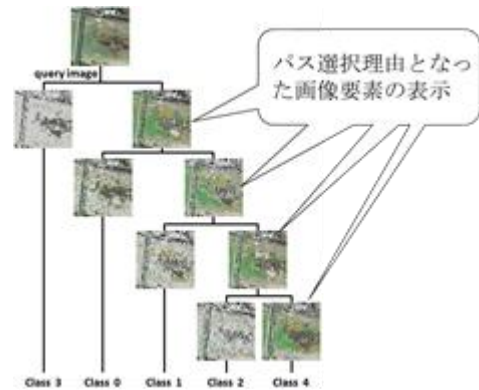


図4. 未知画像分類（クラス4と判定の例）

・二分木の各ノード下の左右子枝へテキスト分類用圧縮辞書を付与（図3右）。弁別能力を向上させるように左右の辞書内容の独立化操作も実施）。

・2分木の根ノードに未知画像をテキスト化したものを入力し、圧縮性の良い子木を選んで下降させ、届いた葉のクラスラベルを認識結果とする（図4）。

実験結果：図2の処理にランダム性を含むため、10枚の画像を用いて100回実験した。結果は良好（図5）。

まとめ：圧縮率特徴ベクトル空間を用いることで、与えた画像からそれらを高精度で分類する決定木を構築できることを実証した。課題としては、最初のステップでランダムに選んだテキストから圧縮率特徴ベクトル空間の基底辞書を生成する方法の改良などが残された。

Cluster	C0	C1	C2	C3	C4
C0	1000 *	0	0	0	0
C1	0	893	0	1	106
C2	0	0	994	0	6
C3	0	0	0	1000	0
C4	0	18	32	0	950
Recall	1.000	0.893	0.994	1.000	0.950
Precision	1.000	0.980	0.969	0.999	0.895
F-value	1.000	0.934	0.981	0.999	0.922

図5. 実験結果

②圧縮率特徴ベクトルを用いた航空写真からの地表面の意味的分割手法 PRDC-SSIS（学会発表②）

課題：カラー航空写真を意味的オブジェクトに分割する方式を実現する。

入力：地表面カラー航空写真とパッチサイズ。

出力：地表面分類結果(類似パッチの併合とラベル付け結果)。

処理：

- ・原画像を小矩形パッチに分割する。
- ・各パッチをテキスト化し、圧縮率特徴空間によってラベル付けする(図1、図2参照)。
- ・類似パッチ集める。各パッチをノードとし、パッチの平均色の差異を枝重みとするグラフのMSTを求め、重み大の枝を切断する。
- ・集まったそれぞれのパッチ集合と、各パッチの持つラベルとで各パッチ集合をテキスト化する(図1を各パッチ集合に適用)。
- ・上記テキストを圧縮率特徴空間を用いてラベル化する(図2参照)。

実験結果：

- ・パッチ色の類似性のみによる地表面分類では、ゴルフ場、施設などの意味的オブジェクトが無視される(図6)
- ・提案手法 PRDC-SSIS では、海、浜辺、ゴルフ場、駐車場、施設、畑などの意味的オブジェクトに忠実な分類が得られる(図7)

まとめ：圧縮率特徴量による地表面画像解析の新たな可能性を確認できた。

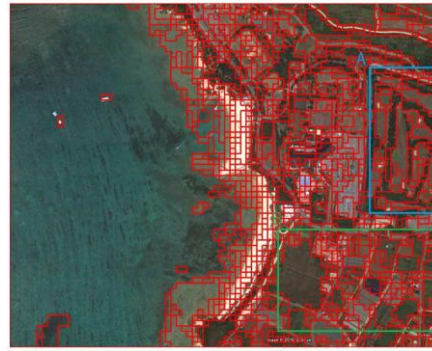


図6. 従来手法による画像分割

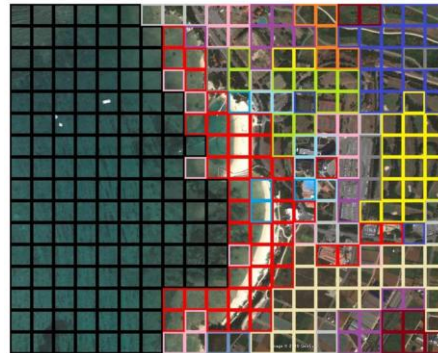


図7. 提案手法による意味的画像分割

② フリーストロックベース個人認証方式（学会発表⑤）

概要：タッチパネル上の手書きサインの軌跡をテキスト化して(計測単位時間ごとに方向と速度を量子化して文字とする)圧縮率特徴ベクトル化し、図2の方法で個人認証する。実験の結果、フリック入力、仮想キーボード入力、スケッチなどの多様な入力を同一機構で受理可能であることや、簡単な方式にも関わらず認識精度も高いことを確認できた。圧縮率特徴量が一次元情報の認識にも有効であることを確認できた。

④インターネットトラフィックの適応的分類方式(学会発表④)

概要：複数のルータで観測される時間ごとのパケット総量(上り、下り別)の時系列群を、数段の変換によってテキスト化したものを図2の方法で分類する。日時による通信量の変動や、ルータを通過するトラフィック種類の多様性にも関わらず、典型的パターンを抽出することが可能である。圧縮率特徴量が多次元時系列データの認識にも有効であることを確認できた。

(2) 階層オブジェクトモデルの自動構築

①視覚語（ビジュアルワード）の共起性を利用したオブジェクト発見手法（雑誌論文②）

課題：与えられた画像群から、それらに含まれる画像オブジェクトを発見する。たとえば、複数の人物画像から、頭髮、目、唇、などを部品とする階層オブジェクトである顔というオブジェクトを発見する。発見したオブジェクトを未知画像内で検出することで、画像内のオブジェクト認識を実現する。

入力：複数枚の画像。

出力：発見したオブジェクトの階層構造、すなわち要素部品ラベルからなる集合族。上例では {頭髮、目、唇} = 集合 1 (顔に相当)。

処理：

- ・画像を BOF 表現 (Bag Of Features) する。具体的には、全入力画像を小パッチに分割してそれぞれから 128 次元の SIFT 特徴ベクトルを得る。特徴ベクトル群をクラスタ解析し、各クラスタにラベル (VW: ビジュアルワード) を付与する。これにより、各画像は VW の集合として表現される (画像の BOF 表現)。
- ・上記で得た VW の種々の画像内での共起特性を調べ、共起性の高いものを有意なオブジェクトとみなす。画像の撮影条件やオブジェクト隠ぺいなどへの対応、および多量の画像を短時間で解析する必要から、確率的ハッシング手法 Min-Hash を用いる新手法を開発した。具体的には、[VW: 出現画像名リスト] 形式 (逆引きリスト) を作成し、リスト部分をハッシングしてバケツに射影し、同一バケツへの VW の集まりから、オブジェクト (バケツ) およびオブジェクト要素 (バケツ内の VW 集合) を原案として得る (図 8)。類似した複数の原案を併合して最終オブジェクトとする。

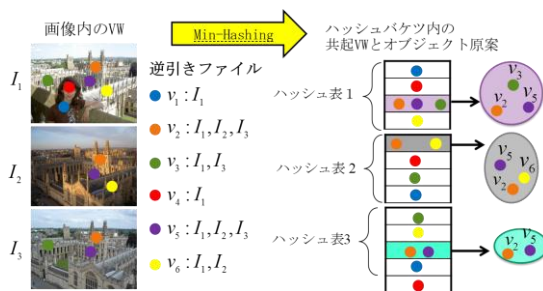


図 8. Min-Hash によるオブジェクト発見

- ・オブジェクトを含む画像の検索: 画像を VW 表現し、発見済みオブジェクトの VW リストとマッチングし、良好なものを選択する。

実験結果：Oxford Building データセットを用い、人手で建物名を付与された画像の中に存在する建物をオブジェクトとして発見できることを確認した (図 9)。



図 9. 画像内オブジェクト発見例(部分)

また、オブジェクトの発見性能 (AP: 平均精度) を既存手法と比較した。世界最先端性能を確認できた (図 10)。

Groundtruth Landmark	LDA	gLDA	Spectral Clustering	Our Method
All Souls	0.90	0.95	0.93	0.98
Ashmolean	0.49	0.59	0.62	0.85
Balliol	0.23	0.23	0.33	0.56
Bodleian	0.51	0.64	0.61	0.87
Christ Church	0.45	0.60	0.67	0.72
Cornmarket	0.41	0.41	0.65	0.66
Hertford	0.64	0.65	0.70	0.90
Keble	0.57	0.57	0.93	0.95
Magdalen	0.20	0.20	0.20	0.43
Pitt Rivers	1.00	1.00	1.00	1.00
Radcliffe Camera	0.82	0.91	0.97	0.98
Average	0.56	0.61	0.69	0.80

図 10. 既存 3 手法との発見性能比較

Method	Dataset	# of Images	Platform	Time
gLDA, LDA, SC (MG only)	Rome	1,021,986	Cluster of 30 PCs	1 day
gLDA, LDA, SC (MG only)	Statue of Liberty	37,034	Single PC	2 hrs
SC	Paris500k	501,356	Cluster of PCs	61.5 days
Our method	Rome100k	101,922	Single PC	26.73 mins
Our method	Oxford	5,062	Single PC	6.43 mins

SC - Spectral Clustering, MG - Maching graph

図 11. 既存手法との計算速度比較

計算時間性能の比較を図 11 に示す。これも先端手法を大幅に凌駕している。

まとめ：要素オブジェクトとして画像内の VW (ビジュアルワード) を用い、それらが複数画像に共起する特性を利用して上位オブジェクトの自動発見が可能であることを実証した。本研究では圧縮性特徴量に代えて、近年広く用いられている VW を用いた。これは建物のような人工オブジェクトの特徴付けに有効であるが、緑地、川などの自然オブジェクトでは効力が低下する。人工、自然双方のオブジェクトを効果的に表現できるオブジェクト特徴量の開発は今後の課題である。

(3) 圧縮性特徴量を用いた自己組織認識機構：PRDC-CSOR (雑誌論文①)

課題：与えられた画像群からの圧縮率特徴ベクトル空間形成、およびそれを用いた下位・上位オブジェクト発見を自動実現する。先に(1)のまとめで述べた圧縮率特徴ベクトル空間(図1)の形成法の改良、特に、空間基底辞書の相互独立化を図る。図12は課題説明用の人工画像である。2枚の画像には、建物と芝生とからなるアパートのようなオブジェクトが共通に含まれている。さらに、片方では海のような、他方では土地のようなものが隣接している。人の視覚システムのこのようなオブジェクト発見能力を計算機上に実現することが課題である。

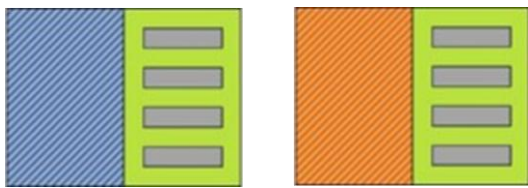


図12. 人工画像による課題の説明

入力：複数枚の画像。

出力：画像解析用圧縮率特徴空間、およびこれを用いて発見したオブジェクト。

処理：

- ・入力画像のテキスト化(図1の方法)。
- ・圧縮率特徴ベクトル空間の構築。ここでは、上記テキスト複数の文字列に切断し、似た文字列を集めてLZW圧縮して独立度の高い基底辞書群を得る。(図13右上の辞書パイプライン部分)。
- ・入力テキストからの種々の長さの部分列集合(以下その要素を x と記す)の形成および上記辞書パイプラインによる x の圧縮(図13右中段)。これによって x の圧縮率特徴ベクトル $cv(x)$ が得られる。
- ・ x のラベル化(図右下)ここでは、 $cv(x)$ のラベルを以下のハッシングによって得る。すなわち、外部から与えた閾値 θ と $cv(x)$ の要素の比較結果を2進符号列とし、その値を $cv(x)$ のラベル $l(x)$ とする。これが x の下位オブジェクトラベルとなる。
- ・上位オブジェクト発見。図13左中段に示す処理である。ここでは各 x についてその出現画像名リストを調べ、画像名リストを通常ハッシング処理にかけ、得られたハッシュ値に対応するバケツに $l(x)$ を記憶する。複数要素を含むバケツの番号を上位オブジェクト名とし、それが含む下位ラベル群を下位部品とみなす。この簡単な下位ラベルの共起性分析法は図8の方式で改良される可能性があるが、現状ではこの簡単な方式に留めている。

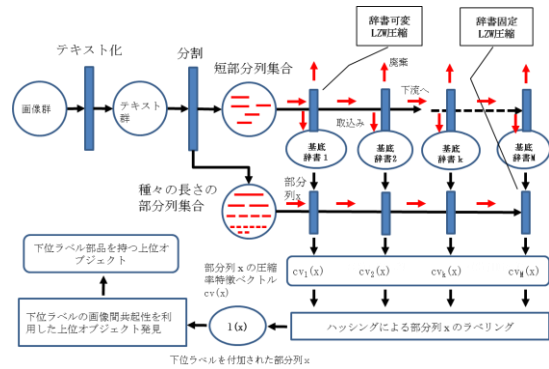


図13. PRDC-CSORの概要

実験結果：図12の2つの画像を与えた場合に形成された圧縮率特徴ベクトル空間(100次元)と、そこで図12の2画像の圧縮率ベクトルとを図13に示す。それぞれの画像のみを良く圧縮する辞書や、双方を良く圧縮する辞書が基底として形成されていることが読み取れる。

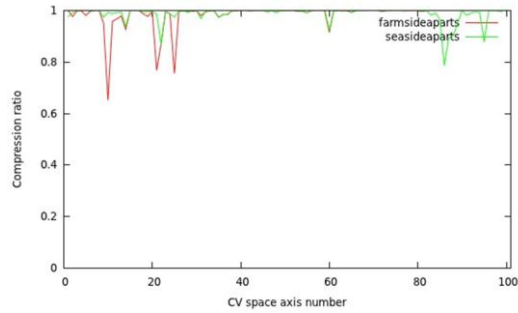


図14. 生成された圧縮率ベクトル空間での2画像の特徴ベクトル

また、発見されたオブジェクトを図15に示す。ビル、芝生、海、土地の領域が下位オブジェクトとして発見され、ビルと芝生とからなるアパートに相当するオブジェクトが上位オブジェクトとして発見されている。図16は、異なる田園地帯の2枚の航空写真からのオブジェクト発見例である。田園風景を代表するオブジェクトとしての(農場、草むら、家屋群)が発見されている。

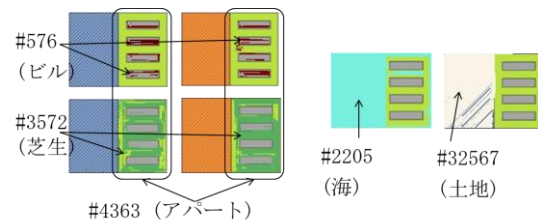


図15. 発見されたオブジェクト

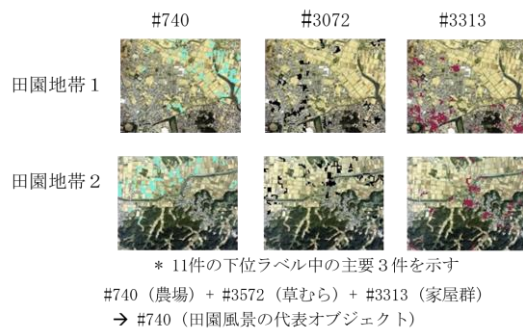


図 16. 田園風景航空写真への適用例

まとめ：与えられた複数枚の画像から、圧縮率特徴ベクトル空間を自動形成し、これを利用して、画像に含まれるオブジェクト群を自動発見するシステムの可能性を確認した。本システムはまだ原理レベルのものである。今回簡単な実装に留めた各種のサブシステムの高度化や広範な適用実験が今後の課題である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Toshinori Watanabe, Toward a Compression-based Self-organizing Recognizer: Preliminary Implementation of PRDCCSOR, Pattern Recognition Letters, 査読有、Vol. 34, 印刷中,
Doi: 10.1016/j.patrec.2013.03.011
- ② Gibran FUENTES PINEDA, Hisashi KOGA, and Toshinori WATANABE, Scalable Object Discovery: A Hash-Based Approach to Clustering Co-occurring Visual Words, 査読有, IEICE TRANS. INF. & SYST, VOL. E94-D, No. 10, 2011, 2024-2035

[学会発表] (計 9 件)

- ① Toshinori Watanabe, Towards the Compression Based Fully Autonomous Self-Organizing Recognizer: Preliminary Implementation of PRDC-CSOR, ESA-EUSC-JRC IIM Conference 2012、査読なし (招待)、Oberpfaffenhofen, Germany, Oct. 2013
- ② Masahiro Nakajima, Toshinori Watanabe and Hisashi Koga, Compression-based semantic-sensitive image segmentation: PRDC-SSIS, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 査読有, Munich, Germany, Sept. 2012, 4303-4306
- ③ Toshinori Watanabe, Compression-based semantic-sensitive image

segmentation: PRDC-SSIS, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 査読有, Munich, Germany, Sept. 2012, 6864-6867

- ④ Ushio Ozeki, Toshinori Watanabe and Hisashi Koga, CTFI: Adaptive Pattern Analysis of Internet Traffic Using Time Series Compressibility, IWSSIP 2012, 査読有, Vienna, Austria, April, 2012, 372-375
- ⑤ 田嶋 良明, 渡辺 俊典, 古賀 久志, "データの圧縮性特徴量を用いたフリーストロークベースの個人認証方式", 情処研報 2013-ICS-170(8), 査読なし, 留寿都, 2013, 3 月
- ⑥ S. Kobayashi, T. Watanabe, and H. Koga, Compression-based Dendrogram Aping for Classifier Generation, Proc. ESA-EUSC-JRC-2011, 33-36, 査読有, Ispra, Italy, March, 2011, 33-36
- ⑦ W. HongBing, T. Watanabe, and H. Koga, High Speed Computation of Approximate MST, Proc. ESA-EUSC-JRC-2011, 査読有, Ispra, Italy, March, 2011, 125-128
- ⑧ T. Watanabe, Realizing an Autonomous Recognizer using Data Compression, ESA-EUSC-JRC-2011, 査読なし (招待), Ispra, Italy, March, 2011
- ⑨ Gibran Fuentes Pineda, Hisashi Koga, and Toshinori Watanabe, Object Discovery by Clustering Correlated Visual Word Sets, In Proc. 20th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2010), IEEE Computer Society, 査読有, Istanbul, Turk, August, 2010, 750-753, 2010

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡辺 俊典 (WATANABE TOSHINORI)

電気通信大学・大学院情報システム学研究科・教授

研究者番号：10242348

(2) 研究分担者

古賀 久志 (KOGA HISASHI)

電気通信大学・大学院情報システム学研究科・准教授

研究者番号：40361836

張 諾 (CHO DAKU)

電気通信大学・大学院情報システム学研究科・助教

研究者番号：20436736