

令和 5 年 5 月 29 日現在

機関番号：51303

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K12033

研究課題名（和文）機械学習のためのパラメトリック画像生成モデルの構築

研究課題名（英文）Development of Parametric Image Generation Model for Machine Learning

研究代表者

大町 方子（Omachi, Masako）

仙台高等専門学校・総合工学科・教授

研究者番号：90316448

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：機械学習の訓練データとして使用することができる、多様かつ解釈性が高い画像データを生成することが可能な画像生成モデルの開発を目的として研究を行った。画像を意味のある基本要素に分解し、基本要素をモデル化し、基本要素を組み合わせることで画像を生成する。基本要素への分解は、画像の画素間の相関を活用し、相関の高い画素どうしを統合することにより実現した。道路環境の画像を用いた実験を行い、提案手法の有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

画像認識や画像処理の分野では、大規模データを用いた機械学習による手法が成果を挙げている。しかし、学習に必要な正確にラベル付けされたデータを大量に収集することは現実的には困難な場合が多い。画像の自動生成を目的とした研究は行われているが、機械学習の精度向上に寄与できている保証はない。本研究の成果を活用して機械学習の精度向上に寄与できる画像データを生成することが可能になれば、画像認識技術のさらなる高精度化が期待できる。

研究成果の概要（英文）：We have conducted research to develop an image generation model capable of generating diverse and highly interpretable image data that can be used as training data for machine learning. The image is decomposed into meaningful basic elements, the basic elements are modeled, and the image is generated by combining the basic elements. The decomposition into basic elements was achieved by utilizing the correlation between pixels in the image and integrating pixels with high correlation. Experiments were conducted using images of road environments to confirm the effectiveness of the proposed method.

研究分野：パターン認識

キーワード：パターン認識

1. 研究開始当初の背景

画像認識や画像処理の分野では、大規模データを用いた機械学習による手法が多数研究され、成果を挙げている。しかし、学習に必要な正確にラベル付けされたデータを大量に収集することは現実的には困難な場合が多く、何百万というデータがあることを前提とした手法は多くの場合そのまま利用することは難しい。一方、画像の自動生成を目的とした研究が行われており、特に深層学習を利用した手法が良い成果を挙げている。代表的な手法として敵対的生成ネットワーク（GAN）や変分自己符号化器（VAE）を用いた手法がある。これらの手法により、人間から見て違和感のない極めて自然な画像を作り出すことができる。

しかし、これらのニューラルネットワークによる画像生成手法を機械学習の訓練用画像データ生成に用いる場合、2つの問題があると考えられる。1つは生成される画像が基本的には学習データに依存する点である。そもそも少ないデータを補うための画像生成であるにもかかわらず、多様な画像データを生成するには大規模かつ多様な画像を準備し学習させる必要がある。もう1つはどのような画像が生成されるのかはニューラルネットワーク任せである点である。GANにしろVAEにしろ、人間から見て違和感のない画像が生成されるのは間違いないが、機械学習の精度向上に寄与する画像が生成できている保証はない。応募者らは、画像生成を利用した文字認識や文書画像検索の実験を行っており、人工的に生成された文字画像を用いてもそれほど精度が向上しないことを確認している。すなわち、人間の見た目では学習データとしての良し悪しが判断できないことになる。これは、見た目のわずかな変化によりデータの性質が大きく変わることが原因と考えられる。一方で、古典的なパターン認識手法、例えば正規分布に基づく二次識別関数はデータのわずかな変化に対する影響はほとんどない。これらの知見を活用し、機械学習の精度向上に寄与できる画像データを生成することが可能になれば、画像認識技術のさらなる高精度化が期待できる。

2. 研究の目的

本研究は、応募者らが提案してきた技術を用い、多様かつ解釈性が高い画像データを生成することが可能なパラメトリック画像生成モデルを開発すること、および、そのモデルを活用することで高精度な画像認識を実現することを目的とする。生成される画像をパラメータで制御できれば、多様かつ滑らかに変化する画像を生成できるほか、生成される画像の解釈性も高くなると考えられる。

得られたデータはそのまま機械学習に用いることができ、画像認識の精度向上に寄与するだけでなく、機械学習の枠組みに組み込んで必要なデータを生成しながら学習するといったことも可能になる。乱数ではなくパラメータにより画像変形を実現することは、古典的パターン認識の良さも併せ持つ。さらに、パラメータによる変形と認識精度の関係を精査することで、パターン認識の精度を決める要因の解析にも応用することが可能である。すなわち本研究は、非常に適用範囲の広い応用研究でありながら、パターン認識分野における極めて重要な基礎研究としての側面も持つ。

3. 研究の方法

画像が意味のある基本要素に分解できると仮定し、画像データを基本要素に分解し、基本要素を変形し、組み合わせることで画像を生成する手法を開発する。そのための要素技術として、

(1) 画像データを基本要素へ分解する手法

(2) 基本要素を変形し組み合わせることによる画像生成手法

をそれぞれ開発し、統合する。(1)については、応募者らが提案している、統計的性質に基づいて画像データの構造を解析する手法を活用する。このデータ解析手法は、人間の直感とは関係なく統計的性質に基づいてデータの構造解析を行うことができる点に特徴がある。(2)については、パラメータを含む形で基本要素をモデル化し、パラメータにより変形できるようにした上で、基本要素を統合することで画像データを生成する。

さらに、このような古典的な統計解析に基づくアプローチの他、機械学習に基づく手法についても検討する。

4. 研究成果

(1) 画像データの基本要素への分解

画像データを分割する手法について、相関を用いた手法を中心に検討した。画像データの画素を要素とするベクトルを考える。画素数を n とし、ベクトルを $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^t$ で表す。添字の集合を S とし、 j 番目と k 番目の要素の相関を r_{jk} とする。集合 S を S_1 と S_2 の2つの部分集合に分割したとき、 $j \in S_1, k \in S_2$ のとき $r_{jk} = 0$ であれば S_1 の要素と S_2 の要素は無相関である。現実のデータでは完全に無相関となることは難しいので、次式により集合 S_1 と $S_2 = S - S_1$ に分割することで画素の集合を2つの部分集合に分割する。

$$\min_{S_1, S_2} \sum_{j \in S_1, k \in S_2} |r_{jk}|$$

この問題はベクトルの要素をノード、要素間の相関の絶対値をエッジとするグラフを分割する問題とみなすことができる。 $n = 6$ の場合の例を図 1 に示す。あるデータセットの相関が図 1 左のように与えられているものとする。グラフカットの手法を用いることにより、図 1 右のように S_1 と S_2 に分解できる。さらに、分割された部分集合をさらに同様の手法で分割していくことで、画像データを任意の数の画素集合に分割することができる。このようにして得られたそれぞれの画素集合を基本要素とすることで、画像データを基本要素に分割する。

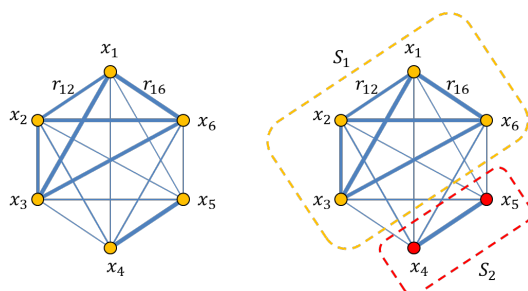


図 1 要素の分割

一方で、機械学習を用いた手法についても検討した。複数の部首の組み合わせからなる漢字の文字画像を題材とし、その文字がどのような部首を持つかの情報のみからその部首に相当する領域を推定する手法について検討した。その結果、偏やつくりの位置を与えることなく、学習のみによってその領域を特定する見通しが得られた。また、ストローク単位よりも部首単位のほうが適切な特徴抽出が可能である等の知見が得られた。さらに、部首に限らず特徴的な要素（パーツ）を自動抽出することを試みた。漢字がどのようなパーツから構成されるかを属性ベクトルの形で表し、同一字種からは似た属性ベクトルが生成されるように学習を行う手法について検討した。

(2) 画像生成

画像データを基本要素に分解し、基本要素を変形することで多様な画像を生成する。まず、全データからそれぞれの基本要素に対応する画素のみを集め、その分布をガウス混合分布で近似する。そして、このモデルに従うデータを重心からのずれをパラメータとして与えることで、分布上の一点に対応する画像データを生成する。パラメータを変化させることで生成される画像も滑らかに変化することになる。具体的には、ガウス分布の平均を μ とし、分散共分散行列 Σ から求まる固有値を $\{\lambda_i\}$ 、固有ベクトルを $\{\phi_i\}$ 、 $\{y_i\}$ をパラメータとして、

$$x = \mu + \sum_{i=1}^d \sqrt{\lambda_i} \phi_i y_i$$

で与えられる点を求める。 d は画像生成に用いる次元数である。

提案手法を道路環境の画像から抜き出した自動車の画像データに適用した例を図 2 に示す。ただし、 $d = 1$, $y_1 = -2, -1, 0, 1, 2$ とした。このようにして生成した画像データを、機械学習に基づく画像認識手法の訓練データとして用いて認識実験を行い、検出精度が向上することを確認した。



図 2 生成された画像の例

一方で、文字画像を対象とし、文字のストロークを基本要素と考え、基本要素を変形した上でストロークにパターンを貼り付けることで文字画像を生成する手法についても検討した。この方法で生成した画像を図 3 に示す。

愛	愛愛愛愛愛愛
寒	寒寒寒寒寒寒

図 3 生成された文字画像の例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Shinichiro Omachi, Masako Omachi	4. 巻 -
2. 論文標題 Correlation-Based Data Augmentation for Machine Learning and Its Application to Road Environment Recognition	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Vehicular Technology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TVT.2022.3167048	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shuya Sano, Tomo Miyazaki, Yoshihiro Sugaya, Naohiro Sekiguchi, Shinichiro Omachi	4. 巻 9
2. 論文標題 Mackerel Fat Content Estimation Using RGB and Depth Images	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 164060 ~ 164069
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2021.3134260	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Zhengmi Tang, Tomo Miyazaki, Yoshihiro Sugaya, Shinichiro Omachi	4. 巻 30
2. 論文標題 Stroke-Based Scene Text Erasing Using Synthetic Data for Training	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Image Processing	6. 最初と最後の頁 9306 ~ 9320
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TIP.2021.3125260	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Junpei Masuho, Tomo Miyazaki, Yoshihiro Sugaya, Masako Omachi, Shinichiro Omachi	4. 巻 70
2. 論文標題 A Framework for Estimating Gaze Point Information for Location-Based Services	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Vehicular Technology	6. 最初と最後の頁 8468 ~ 8477
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TVT.2021.3101932	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shoma Iwai, Tomo Miyazaki, Yoshihiro Sugaya, Shinichiro Omachi	4. 巻 -
2. 論文標題 Fidelity-Controllable Extreme Image Compression with Generative Adversarial Networks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 25th International Conference on Pattern Recognition	6. 最初と最後の頁 8235 ~ 8242
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICPR48806.2021.9412185	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tomo Miyazaki, Tatsunori Tsuchiya, Yoshihiro Sugaya, Shinichiro Omachi, Masakazu Iwamura, Seiichi Uchida, Koichi Kise	4. 巻 40
2. 論文標題 Automatic Generation of Typographic Font From Small Font Subset	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Computer Graphics and Applications	6. 最初と最後の頁 99 ~ 111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/MCG.2019.2931431	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計20件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Yusuke Matsuda, Tomo Miyazaki, Shinichiro Omachi
2. 発表標題 GAN-based Privacy-Conscious Data Augmentation with Finger-Vein Images
3. 学会等名 2022 IEEE International Conference on Artificial Intelligence in Engineering and Technology (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 恩田浩志, 宮崎智, 大町真一郎
2. 発表標題 説明文からのテキスト領域を含む画像の生成に関する検討
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 阿部楓也, 岩井翔真, 宮崎智, 大町真一郎
2. 発表標題 少数くずしデータ補強のための画像生成に関する検討
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shinichiro Omachi
2. 発表標題 Recognition of Japanese historical characters using character parts
3. 学会等名 Symposium of Yotta Informatics - Research Platform for Yotta-Scale Data Science 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 赤間祐仁, 渡邊 隆, 大町方子
2. 発表標題 歩行者との追突事故防止に繋がる信号機無し横断歩道認知のための道路標示検出手法の提案
3. 学会等名 日本機械学会 東北学生会 第53回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 飯野聖樹, 渡邊 隆, 北島宏之, 大町方子
2. 発表標題 剣道競技における連続技の打突判定手法の提案及び被打突者の動作解析の考察
3. 学会等名 日本機械学会 東北学生会 第53回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shinichiro Omachi
2. 発表標題 Image and Video Compression Preserving Important Information for Humans
3. 学会等名 2021 6th International Conference on Signal and Image Processing (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinichiro Omachi
2. 発表標題 Character recognition of historical Japanese documents considering character structures
3. 学会等名 Symposium of Yotta Informatics - Research Platform for Yotta-Scale Data Science 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takuru Ishikawa, Tomo Miyazaki, Yoshihiro Sugaya, Shinichiro Omachi
2. 発表標題 A Basic Study on the Recognition of Characters in Historical Japanese Books Focusing on Character Parts
3. 学会等名 2021 International Workshop on Emerging ICT (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石川太繰, 宮崎 智, 菅谷至寛, 大町真一郎
2. 発表標題 文字部位に着目した古典籍くずし字認識に関する基礎検討
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内海 力, 渡邊 隆, 大町方子
2. 発表標題 連続技動作中の姿勢に着目した剣道競技者の打突判定手法の提案
3. 学会等名 日本機械学会 東北学生会 卒業研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 笹原 諒, 渡邊 隆, 大町方子
2. 発表標題 機械学習を用いた人物の外見的情報及び装飾品の解析と評価
3. 学会等名 日本機械学会 東北学生会 卒業研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shinichiro Omachi
2. 発表標題 Extraction of important text information from images
3. 学会等名 Symposium of Yotta Informatics Research Platform for Yotta-Scale Data Science 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuto Toida, Tomo Miyazaki, Yoshihiro Sugaya, Shinichiro Omachi
2. 発表標題 Survey of Automatic Video Colorization by DeepNeural Network
3. 学会等名 The 17th International Workshop on Emerging ICT (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shoma Iwai, Tomo Miyazaki, Yoshihiro Sugaya, and Shinichiro Omachi
2. 発表標題 Two-Stage Training for High-Fidelity Image Compression with Generative Adversarial Networks
3. 学会等名 The 17th International Workshop on Emerging ICT (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 速水伸幸, 渡邊 隆, 大町方子
2. 発表標題 打突動作中の姿勢に注目した剣道競技者の打突部位判定手法の提案
3. 学会等名 日本機械学会 東北学生会 卒業研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 穴澤友了, 渡邊 隆, 大町方子
2. 発表標題 瞬間中心を利用したフープ材重ね合わせ法の提案
3. 学会等名 日本機械学会 東北学生会 卒業研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nagasaki Yutaka, Miyazaki Tomo, Sugaya Yoshihiro, Omachi Shinichiro
2. 発表標題 Image Coding Method with a Super-Resolution Convolutional Neural Network
3. 学会等名 The 16th International Workshop on Emerging ICT (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長崎 大, 宮崎 智, 菅谷至寛, 大町真一郎
2. 発表標題 超解像ネットワークを利用した画像符号化手法の検討
3. 学会等名 2019年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山頼希, 渡邊 隆, 大町方子
2. 発表標題 機械学習を用いた剣道打突判定システムの開発
3. 学会等名 日本機械学会 東北学生会 卒業研究発表講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	大町 真一郎 (Omachi Shinichiro) (30250856)	東北大学・工学研究科・教授 (11301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------