

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 18 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26730084

研究課題名(和文) 機械学習による質感特徴自動決定と質感空間の構築

研究課題名(英文) Automatic determination of image features for material perception by machine learning and construction of the perception space

研究代表者

矢田 紀子 (Yata, Noriko)

千葉大学・大学院融合科学研究科・助教

研究者番号：60528412

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、視覚から得ている質感を定量的に捉えるための質感空間の構築を目的とする。質感を生み出す要因となる特徴量として物体の色、形状、表面の粗さ、反射率、透過率などが考えられるが、具体的にどのような質感にどの特徴量が関係しているかは明らかにされていない。一方、コンピュータグラフィックス(CG)で生成した画像の質感にどのパラメータがどの程度寄与しているかという情報は技術者の経験による暗黙知であり、定式化は困難である。本研究では、質感に関連する特徴の自動選択手法を提案し、選択した特徴を元に質感空間を構成する軸を決定した。また、DCNNを用いて材質認識のメカニズムについて解析を行った。

研究成果の概要(英文)：This research focuses on the metallic perception that people feel. First, CG images were created based on the reflection characteristics. Next, values of metal perception of each image were measured using a subjective evaluation experiment. The results of this experiment were analyzed for deciding the axis of the metallic texture scale. The constructed metallic texture scale was evaluated by examining whether the numerical value of the parameter correspond to the metallic appearance. We have also proposed a method to analyze recognition mechanism of CNNs. We obtained material recognition CNNs that have sufficiently meaningful for analysis. By visualizing the hidden layer of CNNs, we found that a CNN's recognition process differs depending on the presence or absence of texture.

研究分野：知能情報処理

キーワード：質感 視覚情報処理 ニューラルネットワーク 機械学習

1. 研究開始当初の背景

我々は物体を見るだけでその素材、滑らかさ、重量感など質感に関する情報を得ることができ、この質感を生み出す要因としては物体の色、形状、透明感、表面の光沢などが考えられる。質感の理解は心理学、言語学、神経生理学、工学など様々な研究分野に関係する学際的分野であり、近年、これらの分野で質感に関する研究が盛んに行われている。先行研究では、質感のような高次の知覚情報についての心理物理実験を元にしたモデルは、統計的手法などによるシンプルなモデルがほとんどであり、本研究の目的とするような工学的応用を目指して構築された高精度なモデルは少ない。本研究では、目的の質感認識モデルを実現するために、まず多くの特徴量候補から実際に質感に関連する特徴量を自動選択し、さらに選択された特徴量を入力とする認識モデルを構築することが有効と考えて、研究代表者がこれまでに提案してきた進化計算による特徴量自動選択と画像分類ネットワーク自動生成手法を元にして独自に発展させ、人間の視覚特性のモデル化に有効な新しい学習方法を提案する。

2. 研究の目的

本研究では、視覚から得ている質感を定量的に捉えるための質感空間の構築を目的とする。質感を生み出す要因となる特徴量として物体の色、形状、表面の粗さ、反射率、透過率などが考えられるが、具体的にどのような質感にどのような特徴量が関係しているかは明らかにされていない。一方、コンピュータグラフィックス (CG) で生成した画像の質感にどのパラメータがどの程度寄与しているかという情報は技術者の経験による暗黙知であり、定式化は困難である。本研究では、工学的立場から視覚から得る情報がどのように相互作用して質感の認知に繋がっているかを明らかにすることを目指し、質感に関連する特徴の自動選択手法を提案し、選択した特徴を元に質感空間を構成する軸を決定する。

3. 研究の方法

本研究では、下記の3つの項目についてそれぞれ研究を行う。

(1) 主観評価実験による質感データの収集

まず、質感らしさを表す指標を決定するために、反射、拡散反射、粗さなどの物理特徴と対応付けられた CG パラメータを様々に変化した物体の CG 画像を作成し、この画像の質感を主観評価実験によって調べ、感覚尺度を得る。その後、CG で画像を生成する際の各 CG パラメータと質感の感覚尺度との関係を分析し、質感を生み出す要因となっていると思われる特徴量の候補を列挙した。

(2) 質感に関する特徴の同定と質感軸の決定

特徴量候補の中から質感に関連する特徴量を進化計算により自動選択する手法と、認識モデルを自動構築する手法を開発する。また、開発した学習手法を用いて上記(1)で得られたデータから質感認識モデルを構築し、質感に関連する特徴の同定と質感の定量化を行い、質感の性質を表す質感空間を構成する軸を決定した。

(3) 画像計測による実物体の質感の定量化

我々の身の回りにある様々な質感の実物体質感を認識することを目的として、近年注目されている深層学習手法である深層畳み込みニューラルネットワーク (DCNN) を用いて、特徴量を含めて自動的に画像中の物体の材質を認識する材質画像認識を行った。その上で、DCNN がどのようにして材質を認識しているのかを解明し、DCNN の材質の判断理由の解明や誤認識した際の原因の特定への応用を目的として、DCNN の材質認識メカニズムの解析と中間層の可視化を行った。

4. 研究成果

(1) 主観評価実験による質感データの収集

質感らしさを表す指標を決定するために、コンピュータグラフィックス (CG) で生成したサンプル画像を用いた主観評価実験と、その主観評価実験の結果に基づいた心理尺度と CG パラメータとの関係の解析を行う。このとき、CG パラメータとしては反射や表面の粗さなどの物理特徴との対応付けが可能なものを用いることで、最終的に物理特徴と質感の関係を知ることができる。

主観評価実験の準備として、まず CG ソフトを使用して評価対象とする質感に関係すると考えられる複数のパラメータを調整し、その質感を良く表現する画像を1枚作成する。次にその画像を生成した際に設定したパラメータの値を基本パラメータとし、各パラメータを段階的に変化させたサンプル画像を作成する。そして、これらの画像を用いて主観評価実験を行い、図1に示すように、画像毎にその質感らしさを表す指標を決定した。

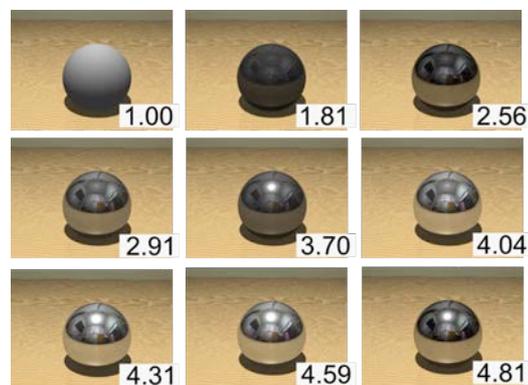


図1 質感データ収集結果

(2) 質感に関する特徴の同定と質感軸の決定

主観評価実験によって取得した質感心理尺度に対して、CG 画像中の画像特徴量から質感指標を求めるモデルを自動構築した。上記の主観評価実験の評価結果に対して主成分分析を行い質感スケールにおける成分の数を決定した。その結果、金属の質感スケールは2つの成分で表現されることが分かった。そして、第一主成分負荷量は表面の粗さ m 、写り込みの割合 r と、 r^2 の3つの変数からなる式で表すことができた。第二主成分負荷量は、ひとつの式で表現することができないため、質感スケールがふたつであると仮定し、金属らしさの尺度 2.44 閾値として質感空間を分割し、金属に見える場合と金属に見えない場合のそれぞれにおいて金属質感を表す軸を明らかにし、図2、3に示すように軸上の数値の変化が金属らしさの変化に対応するような金属質感のスケールを作成した。

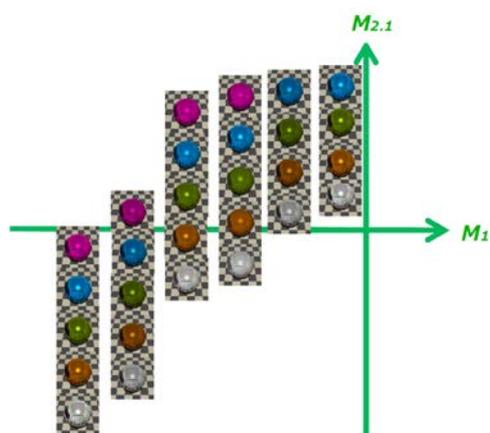


図2 金属に見える場合の質感スケール

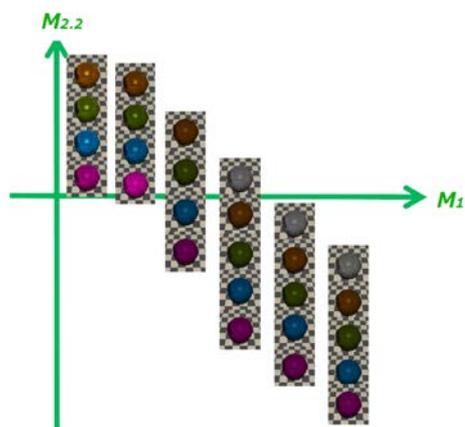


図3 金属に見えない場合の質感スケール

(3) 画像計測による実物体の質感の定量化

DCNN の材質認識メカニズムを探るためには、そもそも材質をよく認識できる DCNN が必要であるため、DCNN を用いて材質画像データセットの学習を行い、材質認識 DCNN を獲得する。本研究では、10 種類の材質を含む Flickr Material Database (FMD) と、MINC-2500 を対象とし、それぞれについて学習を行った。FMD は画像枚数が少ないため、Web から画像を収集してデータ拡張を行った。収集した合計 10000 枚の画像を訓練デ

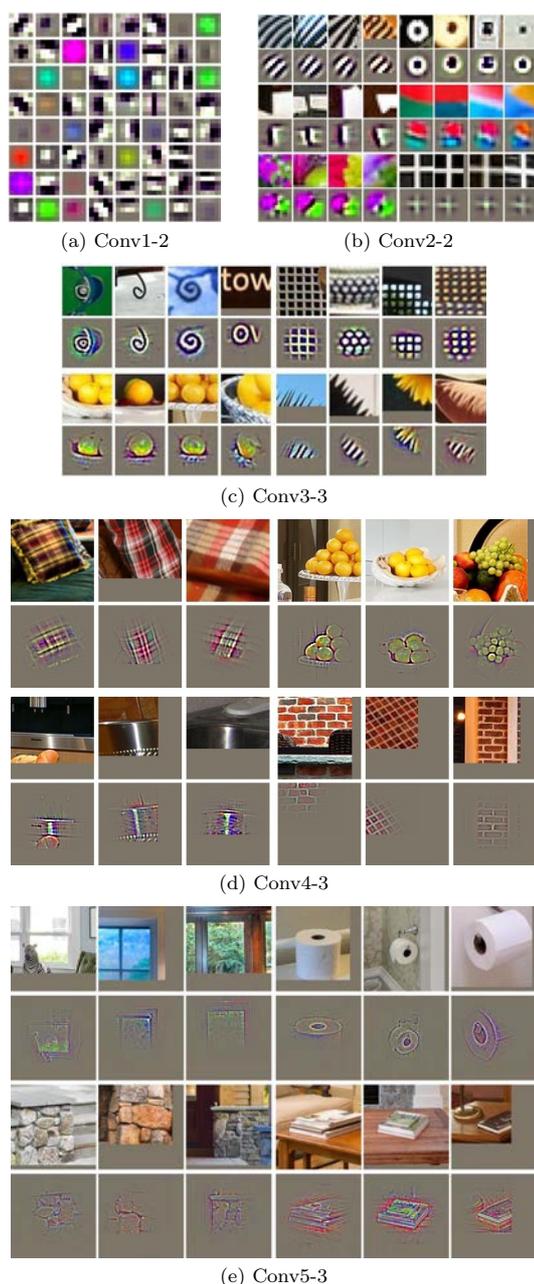


図4 畳み込み層のフィルタの可視化結果

ータとし、FMD の全 1000 枚の画像をテストデータとした。MINC-2500 はデータ拡張は行わず、48875 枚の画像を訓練データとし、5750 枚の画像をテストデータとした。DCNN のモデルには GoogLeNet と VGG-16 の 2 つを採用した。FMD や MINC-2500 のような画像枚数の少ないデータセットでこれらのモデルのスクラッチ学習を行うのは困難なため、転移学習 (fine-tuning) によってモデルの学習を行った。具体的には、各モデルで ILSVRC 2012 dataset (物体認識のデータセット) の学習を行い、最終層以外のパラメータを材質認識の初期値に用いてモデルの学習を行った。

次に、MINC-2500 の学習を行った VGG-16 の畳み込み層の可視化結果を図 4 に示す。初期段階 (図 4(a)) のフィルタは、単純な色やエッジの検出を行っていた。少し深くなると (図 4(b))、コーナーや複数の色の組み合わせな

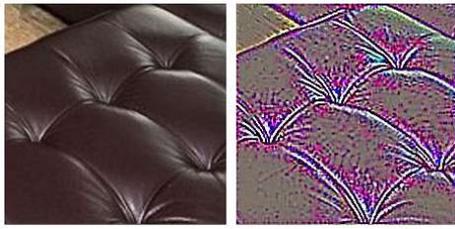


図5 Leather の画像に反応する FC7 層のニューロンの可視化結果



図6 様々な Paper の画像に反応する FC7 層のニューロンの可視化結果

ど、少し複雑な特徴の検出を行っていた。さらに深い Conv3-3 層(図 4(c))のフィルタは、メッシュ等のさらに複雑な特徴を抽出していた。Conv4-3 層あたりから、布のチェック柄や brick のテクスチャ等、材質認識に特化したフィルタの存在が確認された。また、テクスチャの無い材質(Plastic, Metal 等)やテクスチャの細かい材質(Paper, Leather 等)でできた物体を検出するフィルタの存在が確認された。例えば Conv5-3 層にはトイレットペーパーを検出するフィルタが存在し、これは paper の認識に役立っていると考えられる。層が深くなるほど、フィルタが複雑な形状を捉えていることが確認できた。

また、全結合層を可視化したことによって、全結合層のニューロンが何を捉えているのかを明確にすることができた。例えば、図 5 は、Leather の画像に反応するニューロンの可視化結果を示している。可視化することにより、このニューロンが、Leather のテクスチャではなく、Leather のソファのしわに反応していることが分かる。また、全結合層には、テクスチャの無い(細かい)材質で出来ている物体を検出する畳み込みフィルタの出力を統合する役割があることが分かった。例えば、Paper の場合、本のみを検出するフィルタやトイレットペーパーのみを検出するフィルタが畳み込み層に存在し、全結合層には、図 6 のような、本にもトイレットペーパーにも反応するようなニューロンが存在する。テクスチャの無い(細かい)材質の場合、その材質でできた個々の物体を畳み込み層で捉え、全結合層のニューロンがそれらを統合して認識を行っている傾向が見られた。一方、テクスチャの判別しやすい Brick 等の材質は、そのテクスチャパターンを畳み込みフィルタが捉えることで認識を行うような傾向が見られた。

以上のように、材質認識 DCNN の中間層の可視化によって、中間層のニューロンや畳み

込みフィルタが捉えているパターンを明確にすることができた。また、テクスチャを畳み込みフィルタで捉えて認識を行う材質と、個々の物体をフィルタで捉えて全結合層で結果を統合して認識を行う材質があることが判明した。材質認識 DCNN の中間層が可視化できたことによって、DCNN の材質認識過程を明らかにすることができた。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 11 件)

- 1) Junki OTAKE, Noriko YATA, Yoshitsugu Manabe: Construction of Metallic Texture Scale Based on Human Perception of Using a Subjective Evaluation, The 2nd Conference of Asia Color Association (ACA2014), 2014 年 9 月 5 日, Taipei, Taiwan
- 2) Shinnosuke MORIMOTO, Noriko YATA, Yoshitsugu MANABE: Detection Of Transparent Objects Using Deformed Texture Features By Refraction, The 2nd Conference of Asia Color Association (ACA2014), 2014 年 9 月 5 日, Taipei, Taiwan
- 3) 小林大介, 矢田紀子, 眞鍋佳嗣: 金属物体の画像特徴と質感の関係の定式化, 映像情報メディア学会 2014 年冬季大会 2014 年 12 月 18 日, 東京理科大, 東京
- 4) Noriko YATA, Yuki ARAI, Yoshitsugu MANABE: Estimation of the Environment Illumination Color Using of Pixels Distribution of Pixels, AIC2015 TOKYO, 2015 年 5 月 20, Ochanomizu, Japan
- 5) 松本匡史, 矢田紀子, 眞鍋佳嗣: 機械学習を用いた金属球における質感の自動評価方法の検討, 映像情報メディア学会 2015 年冬季大会, 2015 年 12 月 15 日, 早稲田大, 東京
- 6) 小林大介, 矢田紀子, 眞鍋佳嗣: 深層学習を用いた質感認知のための画像特徴の獲得, 映像情報メディア学会 2015 年冬季大会, 2015 年 12 月 15 日, 早稲田大, 東京
- 7) 加藤拓哉, 眞鍋佳嗣, 矢田紀子: ビデオ撮影による大型絵画の画像合成と質感再現手法の提案, 映像情報メディア学会 2015 年冬季大会, 2015 年 12 月 15 日, 早稲田大, 東京
- 8) 松本匡史, 矢田紀子, 眞鍋佳嗣: 多目的最適化を用いた金属質感推定式の構築, 第 10 回進化計算学会研究会, 2016 年 3 月 18 日, 富士通株式会社川崎工場, 神奈川
- 9) Daisuke Kobayashi, Noriko Yata, Yoshitsugu Manabe: Acquisition of Image Features for Material Perception from Fine-tuned Convolutional Neural Networks, International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN),

2016年7月25日, Vancouver, Canada

- 10) 小林大介, 矢田紀子, 眞鍋佳嗣: 畳み込みニューラルネットの転移学習を用いた質感画像認識, 日本色彩学会平成 28 年度研究会大会, 2016 年 11 月 26 日, 大阪電気通信大学, 大阪
- 11) 小林大介, 矢田紀子, 眞鍋佳嗣: 畳み込みニューラルネットワークを用いた質感画像認識における画像特徴量の解析, 質感のつどい第 2 回公開フォーラム, 2016 年 11 月 30 日, 千葉大学, 千葉

6. 研究組織

(1) 研究代表者

矢田 紀子 (YATA, Noriko)

千葉大学・大学院融合科学研究科・助教

研究者番号: 60528412