

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22300030

研究課題名(和文) 画像・形状情報の視覚認知と自然な処理

研究課題名(英文) Human Perception and Visually Natural Processing of Image and Shape Information

研究代表者

山口 泰 (Yasushi, Yamaguchi)

東京大学・総合文化研究科・教授

研究者番号：80210376

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円、(間接経費) 4,230,000円

研究成果の概要(和文)：画像情報や形状情報の処理あたっては、処理結果や表示結果の自然さや理解の容易さが重要な要素となる。従来、画像処理における画質の尺度は原画像の再現性を表したものであった。またコンピュータグラフィクスでは実写に近い画像を指向し、光学現象のシミュレーションによって画像を合成していた。つまり、画像や形状の認識し易さなどを、陽に扱うものではなかった。本研究課題では、視覚心理学や認知科学の知見に基づき、2次元画像ならびに3次元形状の認識におけるポイントを明らかにした。その上で、従来の画像・形状処理にはなかった新しい画像評価法ならびに処理法を提案した。

研究成果の概要(英文)：It is important to consider comprehensiveness of results and presentations when we process image or shape information. Conventionally image quality has been strongly related to a capability of image reproduction. In other words, an image which presents original scene more precisely is regarded as better. Thus study on computer graphics has focused on photorealistic images based on optical simulation and takes little care of human visual perception. This research aims at image processing as well as synthesis techniques concerning perceptual quality based on visual psychology and cognitive science. It concluded image processing techniques for producing better hybrid images and visual cryptography as well as a line drawing technique from 3D mesh data.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：画像処理 形状処理 視覚特性

1. 研究開始当初の背景

実世界の3次元空間情報や画像情報などが容易に得られるようになってきた。レーザスキャナによる形状データ、X線CTによるボリュームデータ、デジタルカメラやデジタルビデオによる画像・映像情報など、実世界データが急速に増加している。さらに測定装置の高精度化とともに、実世界データの容量は一層増大しており、計算機による適切な処理が必要となっている。研究代表者らは、大容量の多次元実世界データを、GPUなどの新しい計算機資源を利用して効率良く処理する手法を研究してきた(基盤研究(B)「多次元実世界データの効率的な補完法」)。この結果、従来の手法に比べて実世界データを高速に処理できるようになったが、処理結果や表示結果の自然さや理解の容易さという問題点が明らかになってきた。

2. 研究の目的

観察距離に応じて見えるものが変わる二重画像(hybrid image)や、ドットパターンの組合せにより透明フィルムを重ねると別の画像が浮かび上がる視覚復号型暗号(visual cryptography)などは、後述するように複数の画像情報を1枚の画像に埋め込むため、画像の品質が急速に低下する。この際、結果の画像が自然であることや、画像の理解が容易であることが重要となる。これまでの画像に関する品質尺度は基本的に原画像の再現性を表したもので、画像の認識可能性や自然らしさについて、研究した例は少ない。また3次元のボリュームデータ描画は、本来人間が目にするものではないが、空間の性質を表現する手法として欠かせない。同様に3次元形状の表現法としてマニュアルや図面に利用される線画表示は、実際に人間が見る3次元形状の画像とはかけ離れているが、対象形状の把握の容易さから広く利用されている。しかし、従来のCGでは光学現象のシミュレーションによって実写に近い画像の生成を目指しており、対象形状を人間に如何に理解させるかについての議論は殆どなかった。

本研究課題では、視覚心理学や認知科学の知見に基づき、視線計測や脳波計測などを用いることで、2次元画像ならびに3次元形状の認識におけるポイントを明らかにする。まず2次元画像の視認性に関する評価法を確立し、二重画像や視覚復号型暗号の画質改善に利用する。これにより評価法の有効性を検証するとともに、二重画像や視覚復号型暗号の実用性の向上を図る。また3次元形状の認識に関しては、彫刻や機械部品などの曲面を含んだ形状を把握するための視覚的な特徴を調査する。立体形状の把握に優れている彫刻家の協力の下に、3次元形状把握のポイントを明らかにし、形状理解を促進する線画表示アルゴリズムの開発を目指す。学際的なアプローチにより、従来の画像・形状処理になかった新しい画像評価法の確立を目指す

とともに、二重画像や視覚復号型暗号、3次元形状の線画表示法などのアルゴリズムの発展を図る。

3. 研究の方法

本研究においては、2次元画像と3次元形状という2つの対象に関して、その認知的特性を明らかにするとともに、それを画像処理や形状表示などのアルゴリズムに利用することを目指す。これまで、観察者が映像内に何を認知しているかは、言語報告に頼らざるをえなかった。つまり、認知内容を観察者に言語報告させ、その反応時間から理解し易さを推定していた。しかし、それでは基準としての客観性を担保しにくい。また人間が映像から物体を見出す過程は非常に多様である。顔のように観察した瞬間に判断できるものもあれば、機械や部品のように細部まで観察することで初めて判断可能になるものもある。本研究では、前者のように瞬時に判断のつくものには脳波計測の一種である事象関連電位計測、後者のように詳細部分の観察が必要なものには視線計測を用いて、認知過程の測定を試みる。提示する映像の条件を変更することで、認知の可否や理解の容易さを左右する要素を探り出し、画像処理や描画アルゴリズムへの応用を図る。

たとえば、二重画像は、画像中に含まれる周波数成分の影響を調べた Schyns らの研究を基礎としたもので、距離によって異なる画像を見せる手法を Oliva らが示した。しかし、研究目的において述べたようにまったく異なる2つの画像を合成することは困難である。一方、視覚復号型暗号は、基本的なアイディアを Naor らが提案し、その後、自然画像を対象とするための拡張などが施されてきた。いずれも、複数画像の情報を1枚の画像に埋め込むため、画像の相互干渉に伴う画質の低下が避けられない。このような画像処理において、画像理解の観点で重要となる特徴を優先する処理アルゴリズムを開発し、その有用性を検証する。

3次元形状の認知に関しては、曲面を含む形状の把握において、視点位置や光源の影響を検討するとともに、形状を抽象化した線画表現として適切なものを探っていきたい。3次元形状を人間に伝えるための描画手法として、これまでは光学的なシミュレーションを行うことで、写実的な陰影画が用いられてきた。しかし、静的な陰影画から形状を理解することは容易でない。3次元形状の専門家である彫刻家にとっても、1枚の写真では形状把握は困難であり、線画という形式で形状を表現することが不可欠になっている。線画生成のアルゴリズムとしては、これまでに Demarcating Curve や Apparent Ridge などのアルゴリズムが提案されている。前者は形状のみによって、後者は視点と形状の相対関係によって、それぞれ線画を生成する手法であるが、いずれも微分幾何学的な性質を利用

している．すなわち形状の真に局所的な性質のみに着目しており，形状の大まかな傾向のようなものを捉えることはできなかった．さらに高階の微分量を利用するために，測定誤差等の影響を受けやすいという問題もあった．

4. 研究成果

ここでは個別テーマごとに，(1)二重画像，(2)視覚復号型暗号，(3)線画表示の順序で研究成果について説明する．

(1) 二重画像

二重画像は，ヒトの視覚系における空間周波数の影響を研究するための実験ツールとして開発された．空間的な低周波数成分と高周波数成分のいずれを処理しているかを調べるために，両方の画像が同時に見えないように工夫する必要があり，これまでは2枚の原画像は顔画像同士のように比較的類似した画像を用いるとともに，2枚の原画像の輪郭やエッジを位置合わせしていた．本研究課題では，まったく異なる2枚の原画像を二重画像化するとともに，真に一方の画像のみが見えているのか，あるいは双方の画像が同時に見えているのかの検証を試みた．

輪郭線やエッジの位置合わせを必要としない二重画像の生成方法として，ノイズ付加法と色付加法の二種類の手法を考案した．ノイズ付加法は，高周波数成分画像に含まれる詳細部分やリングングノイズなどで詳細部分を強調し，低周波数画像のマスキングに用いる．色付加法では，補色からなる正弦波格子を利用し，高周波数画像の輪郭強調に用いる．正弦波格子は補色でできているために，遠く離れて観察すると灰色に混ざり，低周波数画像の知覚を妨げない．

このようにして作られた二重画像の性質を評価するために，高周波数画像と低周波数画像の双方を観察する確率，高周波数画像のみを観察する確率，低周波数画像のみを観察する確率，いずれの画像も観察しない確率の4種類の確率を測定する手法を検討した．実験を進めた結果，観察者によって観察結果を答えようとする傾向，逆に言えば回答を諦めてしまう傾向，に個人差があることが明らかになった．そこで，回答しようとする傾向を表す挑戦率(trial rate)と，推測によって正解を導く確率(guess rate)という概念を持ち込むことによって，実際に観察されている確率を推定することに成功した．この結果，ノイズ付加法ならびに色付加法によって，異なる2つの画像が，より分離されて観察されている，すなわち一方の画像のみが観察され，他方が観察されない傾向が強くなることが確認された．

(2) 拡張視覚復号型暗号

視覚復号型暗号とは，一切の計算を必要とせず，視覚のみで復号可能な暗号である．実

際には画像を複数の透明シートに印刷し，それらを重ね合わせることで秘密情報を復元できる，という形式をとる．復元される秘密情報だけでなく，各透明シートにも意味のある画像が存在する場合には，特に拡張視覚復号型暗号と呼ばれる．視覚復号型暗号は，その原理上，暗号化に伴って画質の劣化が避けられない．本研究課題では，ピクセル拡大とコントラスト低下という画質劣化の要因について検討し，これらの問題を解決する連続階調画像のための新たな暗号化手法として，並列誤差拡散法と最適化階調変換を提案した．

並列誤差拡散法はピクセル拡大のない拡張視覚復号型暗号を実現する手法である．透明シート0,1上の画像と復元される秘密画像に対応する3枚の連続階調画像を入力として，暗号化された3枚の透明シート画像を出力する．この際，3枚の画像の間で対応するピクセルを同時に処理していく．入力された3ピクセルの値 t_0^i, t_1^i, t_r^i $[0, 1]$ は連続階調であり，結果のピクセル値 t_0^o, t_1^o, t_r^o $\{0, 1\}$ は2階調となる．ここで， t_0^o と t_1^o は透明シート画像のピクセル値， t_r^o は復元される秘密画像のピクセル値であるが，必ず $t_r^o = t_0^o t_1^o$ を満たさなくてはならない．結果として，取りうる結果のピクセル値 (t_0^o, t_1^o, t_r^o) は， $(0, 0, 0)$ ， $(0, 1, 0)$ ， $(1, 0, 0)$ ， $(1, 1, 1)$ の4通りとなる．3つのピクセル値は暗号化の制約を満たすように2値化され，その際の誤差が近隣に拡散することで，全体の階調を実現する．

最適階調変換に関しては，まずシート画像と秘密画像の局所領域における3ピクセルの値 t_0^i, t_1^i, t_r^i の間に次の制約があることを明らかにした．

$$t_r^i \leq t_0^i, t_r^i \leq t_1^i, t_r^i \geq t_0^i + t_1^i - 1, t_r^i \geq 0 \quad (1)$$

そのうえで，以下の手順で上記の制約を満たす最適階調変換手法を提案した．

ガウスフィルタでぼかし画像を生成する．

(1)式を満たすアフィン変換を求める．

入力画像に対してアフィン階調変換を施す．実験によって，最適階調変換手法がコントラストを大きく改善できることを示した．

(3) 線画表示

3次元スキャナと呼ばれる形状計測機器は広く利用されており，対象物の形状データを容易に取得できるようになってきた．これまで，このようにして得られたメッシュモデルはシェーディング処理によって，陰影のついた画像で表示されることが一般的であった．一方，線画は物体形状の特徴的な部分を捉えて描くもので，分かりやすい形状表現の1つと言える．事実，文化財保護や美術品修復の現場では，専門家が手間暇をかけて線画を描き，重要な資料として活用している．そこで，3次元スキャナなどで得られたメッシュモデルから，適切な線画を生成する手法が広く研究されている．

メッシュモデルを入力とする線画生成手法では，多くの場合，入力データから特徴量

(曲率,輝度変化量など)を算出し,その値が特異値(極値,零値)を取るような位置を線として描画する.この特異値を検出するためには,特徴量の変化する方向に沿って方向微分を行なう.しかし,メッシュモデルのような離散データに対して微分を求めようとすると,差分計算の際に桁落ちと同様の原理で,細かな誤差(ノイズ)が拡大されてしまい,描画結果に大きな影響を与える.特に従来の手法では,曲率の極値を求めることから,3階以上の高階の微分計算を行なうために,誤差の影響は非常に大きなものとならざるを得なかった.このため,描画される線は途切れたり,微小に揺らいだりして,綺麗で滑らかな線を得ることはできなかった.

本研究課題では,誤差を含んだメッシュデータに対しても安定で滑らかな線を描画できる手法を検討した.具体的には,高階の微分量に変わって,積分量を利用することで誤差に対する頑健性を実現する.すなわち,「3次元的な囲まれ具合」を表す準局所的な遮蔽情報を特徴量として利用し,その特異値を追いかけることで線を描画する.この遮蔽情報は積分量であるために誤差に強いばかりでなく,準局所的な特徴を捉えている点も,ヒトの理解に適していると思われる.実際に,実験からヒトが特徴的と思われる線を安定的に求めることに成功した.

5. 主な発表論文等

(研究代表者,研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計7件)

T. Yatagawa and Y. Yamaguchi, "A Template-Based Completion Framework for Videos with Dynamic Background," Lecture Notes in Computer Science, Vol.7432, 査読有, 2012, pp.155-165 (DOI: 10.1007/978-3-642-33191-6_16)

A. Miyai and Y. Yamaguchi, "Stereoscopic 3DCG Animation Curriculum for New Anime Education," Proc. of 15th ICGG, 査読有, 2012

P. Sripian and Y. Yamaguchi, "Shape-Free Hybrid Image," Proc. of NPAR 2012, 査読有, 2012, pp.11-19 (DOI: 10.2312/PE/NPAR/NPAR12/011-019)

Yasushi Yamaguchi, "An Extended Visual Cryptography Scheme for Continuous-Tone Images," Lecture Notes in Computer Science, Vol.7128, 査読有, 2012, pp.228-242 (DOI: 10.1007/978-3-642-32205-1_19)

Yasushi Yamaguchi, "Extended Visual Cryptography for Photograph Images," Visual Cryptography and Secret Image Sharing, 査読有, 2011, pp.95-126

S. Tao and Y. Yamaguchi, "The Analysis of Facial Images Attractiveness and

Age," Proc. of 14th ICGG, 査読有, 2010
P. Sripian and Y. Yamaguchi, "Toward a shape-free hybrid image: Experimental on visual contrast sensitivity," Proc. of 14th ICGG, 査読有, 2010

[学会発表](計9件)

谷田川達也, 山口 泰, "フレーム間の連続性を保持する動画編集法," 情報処理学会グラフィクスとCAD研究発表会, 2012年12月3日, 横浜国立大学

P. Sripian and Y. Yamaguchi, "Shape-free hybrid image - Effects of artificial noise and complementary color," European Conference on Visual Perception, 2012年9月2日, Alghero, Italy

P. Sripian, 山口 泰, "物体形状に依存しないハイブリッド画像の作成手法," 情報処理学会グラフィクスとCAD研究発表会, 2012年8月29日, 九州大学

谷田川達也, 山口 泰, "動的前景を含む動画に対する補完手法の高速化," VC/GCAD 合同シンポジウム, 2012年6月23日, 早稲田大学

谷田川達也, 山口 泰, "動画補完のための動的前景の分離法," 情報処理学会グラフィクスとCAD研究発表会, 2011年11月17日, 筑波大学

山口 泰, "自然画像のための視覚復号型暗号の一手法," 情報処理学会グラフィクスとCAD研究発表会, 2011年11月17日, 筑波大学

Yasushi Yamaguchi, "Parallel Error Diffusion as an Extended Visual Cryptography Scheme," International Workshop on Digital-forensics and Watermarking 2011年10月23日, NJ, USA

山田嘉人, 山口 泰, "マンガ・カラー化のための領域判定," 情報処理学会グラフィクスとCAD研究発表会, 2010年9月8日, リゾーピア熱海

安田 優, 山口 泰, "Surrounded Lines: 準局所的遮蔽計算に基づく頑健な線画生成手法," VC/GCAD 合同シンポジウム, 2010年6月26日, 神奈川工科大学

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計2件)

名称: 準局所的遮蔽計算に基づく頑健な線画生成手法

発明者: 山口 泰, 安田 優

権利者: 国立大学法人東京大学

種類: 米国暫定出願

番号: 61/358328

出願年月日: 2010年6月24日

国内外の別: 国外(アメリカ合衆国)

名称：動画編集方法及び装置
発明者：山口 泰，谷田川達也
権利者：国立大学法人東京大学
種類：特許出願
番号：特願 2012-256274
出願年月日：2012 年 11 月 22 日
国内外の別： 国内

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6．研究組織

(1)研究代表者

山口 泰 (YAMAGUCHI, Yasushi)
東京大学・総合文化研究科・教授
研究者番号：80210376

(2)研究分担者

藪内 直樹(佐斗司) (YABUUCHI, Naoki
(Satoshi))
東京芸術大学・大学院美術研究科・教授
研究者番号：10376931

白石 路雄 (SHIRAISHI, Michio)
東邦大学・理学部・准教授
研究者番号：60408945

(3)連携研究者

植田 一博 (UEDA, Kazuhiro)
東京大学・総合文化研究科・教授
研究者番号：60262101