

論文

超短焦点プロジェクタによる映像歪みの画質定量化

Quantification of Image Distortion Caused by Ultra-Short Focus Projector

学生会員 能勢将樹^{†,††}, 住吉信一^{††}, 長谷川史裕^{††},
 中重文宏^{††}, 正会員 内川恵二[†]
 Masaki Nose^{†,††}, Shinichi Sumiyoshi^{††}, Fumihiko Hasegawa^{††},
 Fumihiko Nakashige^{††} and Keiji Uchikawa[†]

あらまし 超短焦点プロジェクタは至近距離からの大画面投影を実現する一方、投影面の凹凸によって投影像が幾何的に歪むことがある。本研究では、歪みによる画質劣化の定量化を目的とした、さまざまなバリエーションの歪み方を4つの物性（角度誤差、歪み幅、個数、連続性）に絞り、各物性をパラメータとして歪んだ投影像を擬似的に作成するシミュレータを開発した。その後、シミュレータで作成した評価画像の主観評価を行い、各物性と主観評価値の相関関係を検証した。その結果、各物性と主観評価値の相関係数が0.91となり、有意な相関も示され、歪みによる画質劣化の知覚を高精度に定量化できるようになった。さらに、歪みが気になりやすいコンテンツを検証し、コンテンツが含む直線量と画質劣化の知覚に有意な相関があることも判った。

キーワード：超短焦点プロジェクタ、投影像、歪み、画質劣化、主観評価、MOS値

1. ま え が き

近年、超短焦点プロジェクタの普及が進んでいる。超短焦点プロジェクタは数十cmの至近距離から60インチ以上の大画面投影を実現できるため、省スペース化に非常に有効である。

通常焦点プロジェクタにはない大きな長所を有する一方、弱点もある。投影面までの距離が短く、鋭角に投影光を照射するため、投影面に凹凸がある場合、投影像が幾何的に歪みやすい。その端的な例を図1に示す。レンズやミラーなどに起因する光学的な歪み、あるいは斜めに設置した際の台形的な歪みとは異なり、歪み方に特徴はなく、投影面の形状に応じてさまざまな歪み方に見える。

なお、正面から投影する通常焦点プロジェクタの場合、歪みはぼけも伴うが、鋭角に投影する超短焦点プロジェクタの場合は、被写界深度内であっても投影面の凹凸の影響を受けて歪む。換言すると、超短焦点プロジェクタの場合、投影像はぼけを伴わずに歪むケースが多い。

超短焦点プロジェクタの歪みを補正する画像処理技術¹⁾により、大きな歪みも小さく補正できるようになっているが、さらなるQoE (Quality of Experience: ユーザー体感品質) 向上に向け、歪みに対する人間の知覚を明確化し、歪み補正技術などのさらなる性能向上に活用することが望ま

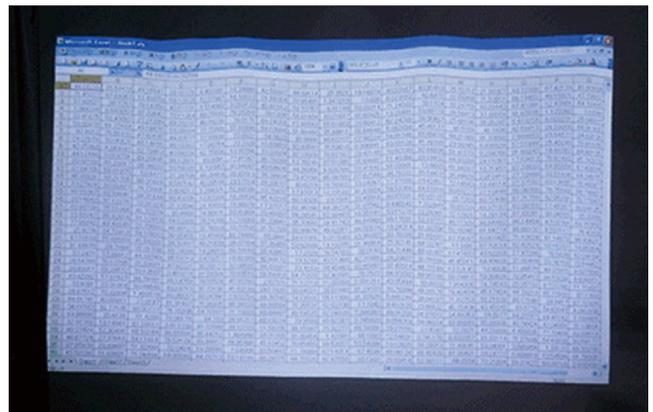


図1 投影像の歪み

しい。

色再現性、階調再現性、鮮鋭性、粒状性、さらには質感や没入感に関する画質評価の手法は広く研究が進められており^{2)~8)}、PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) や SSIM (Structural SIMilarity) などの画質劣化の尺度も広く知られているが^{9) 10)}、超短焦点プロジェクタを対象とした幾何的な歪みの画質劣化に関しては、あまり研究が進められていないのが現状である。

超短焦点プロジェクタに比較的近い事例を強いて挙げると、電子透かし歪みに関する評価方法の報告がある^{11) 12)}。そこでは、埋め込んだ歪みの程度を定量化し、さらに主観的な画質劣化との相関付けも行っている。しかしながら、対象画像を細かくブロック分割し、各ブロックの埋め込み前後の差分から歪みの程度を定量化する方法であるため、

2015年7月27日受付, 2015年10月19日再受付, 2015年12月9日採録

† 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 物理情報システム専攻
 (〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259-G2-1, TEL 045-924-5453)

†† 株式会社リコー リコーICT研究所 システム研究センター
 (〒224-0035 横浜市都筑区新栄町16-1, TEL 050-3817-4353)

計算量が多くなる。また、主観評価値との相関にも課題が残っている。

そのような状況を鑑み、超短焦点プロジェクタを対象に、幾何的な歪みに対する画質劣化の定量化を検討した。無限に近いバリエーションの歪み方をいかに効率よくモデル化するのが大きな課題となるが、本研究では、実用場面で起こりうる歪みを相互の相関がないと考えられる4種類の物性に仮定した。そして、各物性をパラメータとし、擬似的に歪ませた評価画像を作成するシミュレータを開発した。その後、評価画像の主観評価を行い、各物性と主観評価値の関係を検証した。それらの結果から、人間が歪みによる画質劣化をどのように感じるかの定量化を試みた。

さらに、「そもそもどのようなコンテンツだと歪みが目立つのか」を明確にするため、画質劣化のコンテンツ依存性の定量化も検討した。

本稿では、2章に実験手順、3章に結果と考察、4章に結論をまとめる。

2. 実験手順

本研究では、以下2種類の評価実験を行った。

- ・評価実験A：歪みの物性値と画質劣化の主観評価値との相関分析
- ・評価実験B：画質劣化のコンテンツ依存性検証

評価実験A, Bのプロセスを本項で述べる。

2.1 シミュレータのパラメータ設定

幾何的な歪みが実用場面で問題になるのは、専用スクリーンよりも壁に投影しているときが多く、壁にはさまざまな凹凸が存在するためである。まず、相互の相関がない凹凸の特徴として、(ア)高さ/深さ、(イ)幅広さ、(ウ)個数、(エ)連続性(離散的/集中的)、(オ)投影面内の位置(中心寄り/外周寄り)、(カ)方向(縦/横/斜め)、の6種類を挙げた。凹凸をノイズと同様に考えた場合、直接的な特徴である(ア)~(エ)と比較して、副次的な特徴である(オ)と(カ)は視覚との相関が相対的に小さいと考え、歪みの位置と方向に差異を設けた簡易な評価実験でも十分な相関が見られなかった。そのため、本研究では(ア)~(エ)に対応する4種類の歪みのパラメータに絞り、それらを実験A, Bに適用した。(ア)~(エ)は歪みのパラメータとして、以下(1)~(4)に対応する。

- (1) 角度誤差：凹凸の高さ/深さに対応する。理想形状に対して歪んだ角度を定義し、大きいほど強く歪むことを意味する(図2)。角度誤差は水平方向と垂直方向の双方に存在する。
- (2) 歪み幅：凹凸の幅広さに対応する。閾値以上の角度誤差が空間的に連続する長さとし、これが大きいほど長い距離で歪み、小さいほど短い距離で歪むことを意味する(図3)。
- (3) 個数：凹凸の個数に対応する。閾値以上の角度誤差が投影面に存在する個数を示す(図4)。

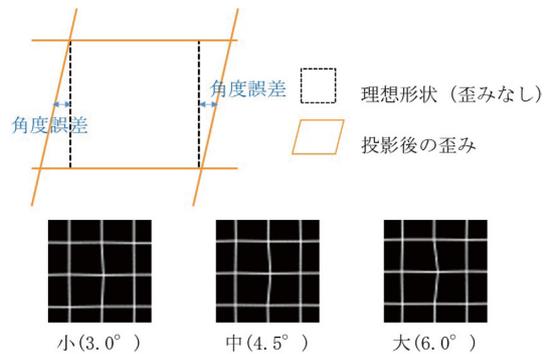


図2 物性(1) 角度誤差

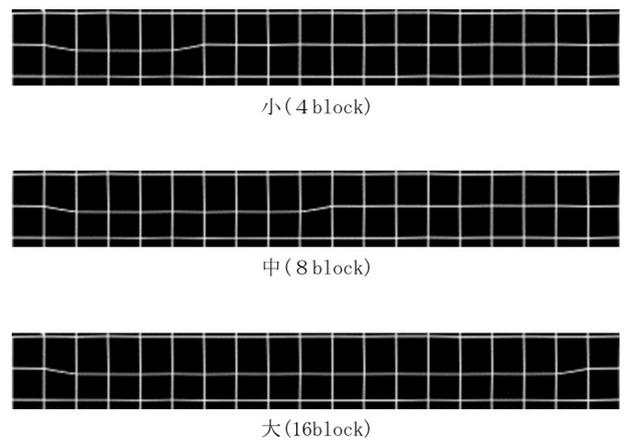


図3 物性(2) 歪み幅

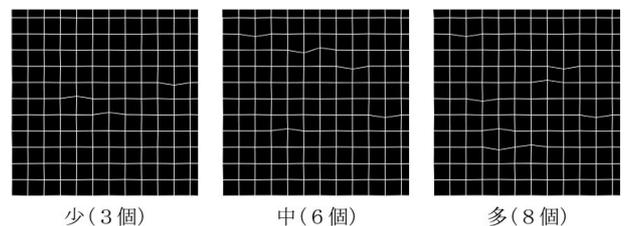


図4 物性(3) 個数

- (4) 連続性：凹凸が離散的か集中的かに対応する。同じ角度誤差と歪み幅の場合でも、発生位置が離散的か集中的かによる知覚の相違を検討する(図5)。

超短焦点プロジェクタ(RICOH PJ WX4141 NI, 1280×800画素)から複数の壁に投影した60インチ・64×40ブロックの格子パターン(図6)を用いて物性(1)~(4)の範囲を決め、歪んだ投影像をシミュレートするパラメータとした(表1)。1ブロック当たり20画素となるので、角度誤差が1°の際には1画素分が変形することになる。ここでは、3°以上の角度誤差を歪みとして定義し、角度誤差は壁と同等のバラツキ($\sigma=0.17^\circ$)を正規乱数で与えた。また、歪みの位置や方向は偏らないよう平準化した。

2.2 評価画像の作成

表1で示した各パラメータと対象画像をシミュレータに入力する。シミュレータは各パラメータの値に応じて、縦

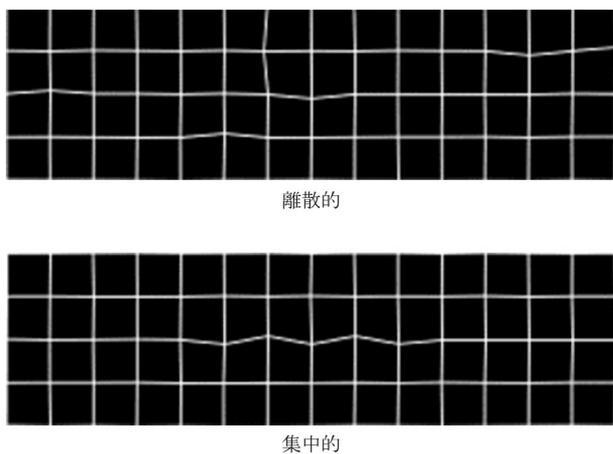


図5 物性 (4) 連続性

表1 評価実験Aのパラメータ

種類	設定値
角度誤差	3.0, 4.5, 6.0 (°)
歪み幅	8, 16, 32 (cm/cycle)
個数	30, 60, 90 (個/画面)
連続性	2, 20, 60 (cm)

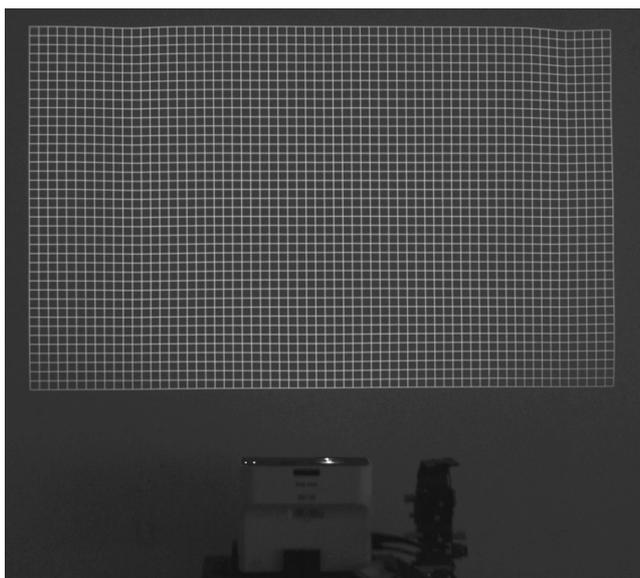


図6 パラメータ設定に用いた投影パターン

横20画素おきに射影変換を施し、対象画像を変形させる。20画素とすることで、角度誤差1°を付与した際に、図中の射影変換の対象画素は1画素シフトすることになる。変形後の画素値の内挿にはバイリニア補間を用いた。なお、局所的に射影変換とバイリニア補間を用いると、歪みに加えて若干のぼけも生じる。本研究は超短焦点プロジェクタの歪みを主眼としているため、バイリニア補間によって生じた微弱なぼけの局在を除く必要がある。それに対処するため、最初に画像全体にわたって20画素単位で角度誤差が0.5°未満の微小でランダムな射影変換とバイリニア補間を施し、その後、表1で示した各パラメータの歪みを加える

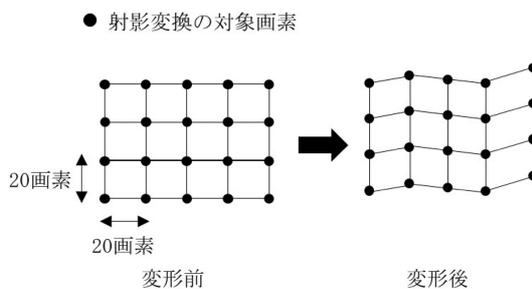


図7 シミュレータによる歪み付与方法

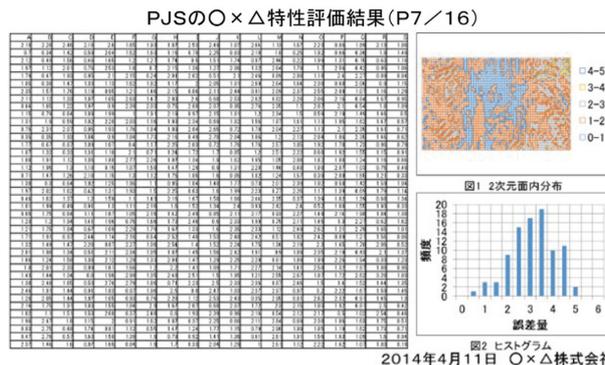


図8 評価実験Aのコンテンツ

ことで、評価画像の鮮鋭さを一様にした。射影変換の概要を図7にまとめる。0.5°未満であれば、射影変換による画素のシフトも0.5画素未満になるので、それが歪みとして知覚されることもなく、投影像の歪みにフォーカスした主観評価を行えるようになった。

シミュレータによる実際の変換後(抜粋)が既述の図2～図5となり、壁に投影した実際の投影像と同様に、歪んでいる箇所が局所的にぼけて目立つこともない。

その後、評価実験Aでは、「表やグラフを多く含むコンテンツが歪みを最も知覚しやすい」との定性的な知見に基づき、図8のコンテンツ(静止画)を作成した。

表1のすべての組合せだと評価画像は81種類になるが、連続性が2cmの場合、歪み幅はパラメータとして無効になるため、それらが重複する組合せ(18種類)は除外し、評価画像の総数は63種類とした。連続性が2cmのケースは歪み幅が2cmにもなるので、そのケースは歪み幅と連続性の定義が重複する。

また、今回設定したパラメータでは、連続性が歪み幅の整数倍でないため、端数が生じる。例えば、歪み幅8cmと連続性20cmの組合せでは、所定の歪み幅8cm(図3の8blockに相当)が2ヵ所に対して端数の歪み幅4cm(図3の4blockに相当)が1ヵ所となるが、多数を占める8cmを代表値として扱った。

他方の評価実験Bでは、文字、人物、風景、物体などのコンテンツ(静止画)を8種類(図9(a)～(h))選定した。このときのパラメータは、角度誤差6.0°、個数90個/画面、

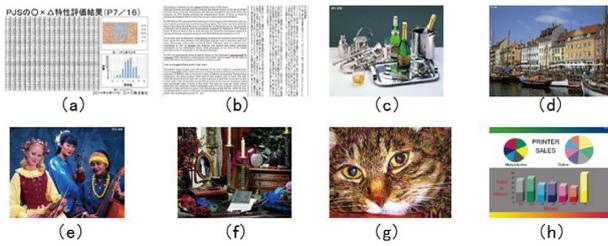


図9 評価実験Bのコンテンツ

表2 評価実験Bのパラメータ

種類	設定値
角度誤差	6.0 (°)
個数	90 (個/画面)
連続性	2 (cm)

表3 主観評価に用いた5段階妨害尺度

評点	評定語
5	劣化が認められない (Imperceptible)
4	劣化が認められるが気にならない (Perceptible, but not annoying)
3	劣化が認められ、わずかに気になる (Slightly annoying)
2	劣化が認められ、気になる (Annoying)
1	劣化が認められ、非常に気になる (Very annoying)

連続性2cmに限定し(表2)、歪ませる位置に2種類の乱数パターンを用いた合計16種類の評価画像とした。

2.3 主観評価方法

歪みの物性と画質劣化の主観評価値を関連付けるための主観評価には、検知限や許容限などの微小な画質劣化が評価可能なDCR法(Degradation Category Rating)による5段階妨害尺度(表3)を用いた¹³⁾¹⁴⁾。被験者全員の評点平均値をMOS(Mean Opinion Score)値と称する。

評価実験Aでは、歪みを付与していない基準画像を3秒間提示し、3秒間の間隔を設けた後、各パラメータを適用した評価画像を10秒間提示した。被験者はその後、評価画像を5段階妨害尺度で評点した。本実験はコンテンツは1種類であるが評価画像の総数が63種類と多く、被験者の疲労軽減のため、基準画像の提示時間を3秒に短縮した。被験者は20～50歳代の男女24名である。

評価実験BにもDCR法を用い、異なるコンテンツを提示するため、基準画像は10秒間を提示した。3秒間の間隔と10秒間の評価画像の提示は、評価実験Aと同じである。被験者は20～50歳代の男女17名である。

評価実験A、Bともに通常焦点プロジェクタ(RICOH PJ WX3340N)と平面度の高いスクリーンを用い、基準画像と評価画像に他の要因による歪みが生じない環境とした。また、双方の評価実験とも暗室で行い、評価画像の大きさは60インチ、投影面と被験者の距離は2mとした。被験者には一つの評価画像を事前に見せ、評価内容の説明を行った。

表4 単回帰分析の結果(評価実験A)

目的変数(y)	説明変数(x)	相関係数(R)	単回帰式
MOS値	角度誤差	-0.78	$y = -0.68x + 6.3$
	歪み幅	0.33	$y = 0.033x + 2.7$
	個数	-0.27	$y = -0.012x + 3.9$
	連続性	-0.078	$y = -0.0037x + 3.4$

3. 結果と考察

3.1 物性値と主観評価値の相関分析

まず、4種類の各物性(角度誤差, 歪み幅, 個数, 連続性)を説明変数 x 、被験者24名のMOS値を目的変数 y とした単回帰分析の結果を表4に示す。有意確率を0.05として有意性を検定した結果、角度誤差, 歪み幅, 個数の3種類においては相関係数や回帰式, 回帰係数ともに有意であった。この結果から、以下の傾向が推察できる。

なお、以降のその他の議論も有意確率の基準を0.05としている。

- ・角度誤差：4種類の物性の中ではMOS値との相関が最も高く、角度誤差が大きいほど画質劣化を強く知覚する傾向であった。この回帰式では、 2.6° のときに検知限(MOS ≈ 4.5)、 4.1° のときに許容限(MOS ≈ 3.5)となる。
- ・歪み幅：相関係数は高くないが、小さい方が相対的にMOS値は低い。すなわち、局所的な歪みの方が画質劣化を若干強く知覚する。
- ・個数：多い方がMOS値は若干低くなるが、相関係数は高くなく、予想よりも影響が小さいことが判った。
- ・連続性：相関係数は低く、相関係数や回帰係数に有意性が見られなかった。すなわち、ザラザラした投影面でも柱のような連続的な凹凸を含んだ投影面でも、画質劣化の感じ方に大きな差異はないことが示された。

次に、MOS値を目的変数 M に、歪みの物性を説明変数(角度誤差 A , 歪み幅 W , 個数 N , 連続性 C)として、重回帰分析を行った。また、その際の有意確率を示す p 値が0.05より大きい場合は、その説明変数を除く方法を用いた。

重回帰分析の結果、物性とMOS値の重相関係数 $R=0.91$ 、 p 値は4種類いずれも0.05未満となり、目的変数に対して有意な相関が示された。重回帰式は式(1)となり、 M の標準誤差(σ)は0.48となった。

$$M = 6.7 - 0.68A + 0.039W - 0.012N - 0.0095C \quad (1)$$

なお、重回帰分析では、説明変数間の相関が高い場合に生じる交互作用や多重共線性が重回帰式の信頼性を低下させる。それを確認するため、4つの説明変数すべての組合せ(6通り)の相関係数と、交互作用項を含めた場合の重回帰式の変化の有意確率を算出した¹⁵⁾。その結果、最も高い相関係数は歪み幅と連続性の0.31で、それ以外はすべて0であった。また、交互作用の p 値もすべて0.05より大きく、交互作用や多重共線性が生じるほどの影響はないことを確

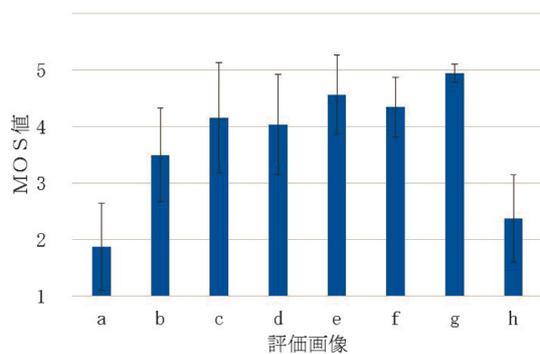


図10 各コンテンツのMOS値 (評価実験B)

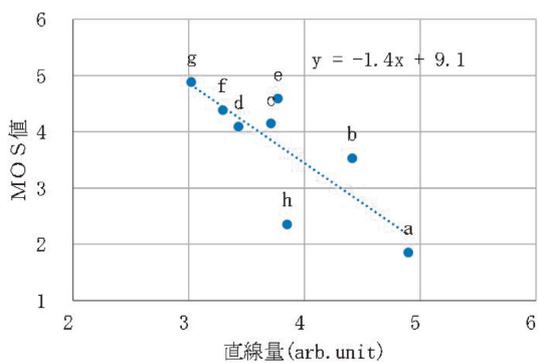


図11 直線量とMOS値の関係 (評価実験B)

表5 多重比較の結果 (評価実験B)

	a	b	c	d	e	f	g	h
a		○	○	○	○	○	○	○
b	○		○	○	○	○	○	○
c	○	○		○	○	○	○	○
d	○	○	○		○	○	○	○
e	○	○	○	○		○	○	○
f	○	○	○	○	○		○	○
g	○	○	○	○	○	○		○
h	○	○	○	○	○	○	○	

○ : 有意差あり

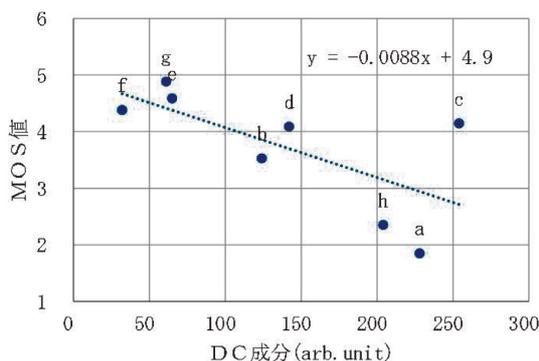


図12 DC成分とMOS値の関係 (評価実験B)

認した。

3.2 画質劣化のコンテンツ依存性検証

各コンテンツに対する被験者17名のMOS値を図10に示す。エラーバーは標準偏差である。MOS値はコンテンツ(a), コンテンツ(h)の順番で低く、「表やグラフを多く含むコンテンツが歪みを最も知覚しやすい」との定性的な知見を定量的に示した。コンテンツ(a)のMOS値は1に近いため、画質劣化を最も強く感じさせる典型例といってよい。それらの次に、文字を表示したコンテンツ(b)が低く、文字の歪みも強く知覚されることが示された。一方、自然画像などのコンテンツ(c)～(g)はMOS値が4以上となり、強い歪みを与えても知覚されにくいことが判った。

なお、有意確率を示すp値の基準を0.05として分散分析(ANOVA)を行った結果、コンテンツ間の自由度が7、コンテンツ内の自由度が264でF値は56.5、p値はほぼ0となり、コンテンツ(a)～(h)の間には有意差が存在することが示された。さらに、多重比較(Tukey)を行った結果を表5に示す。二つのコンテンツ間に有意差があった場合、表中に“○”として示している。表やグラフであるコンテンツ(a)や(h)は他のコンテンツとの有意差が見られたが、自然画像であるコンテンツ(c), (d), (e), (f)の間には有意差が見られなかった。

以上の結果は、直線や文字は被験者の潜在意識の中に基準が明確に設けられているため、歪みが知覚されやすい一方で、自然画像などのコンテンツには明確な基準がないために、歪みが知覚されにくいと推察できる。

次に、コンテンツ依存性の定式化を図った。ここでは、

「直線が多く含まれ、さらに直線以外の輝度変化が小さいコンテンツほど歪みが目立つ」という仮説を立て、直線量と空間的な低周波成分を説明変数とした。コンテンツに含まれる直線はOpen CVの確率的ハフ変換によって検出したが、その際、極度に短い検出直線はノイズとして除き、被験者の視点から一定値(約4 cm)以上の検出直線を積算し、その対数値とした。他方の低周波成分は、FFT(Fast Fourier Transform)による空間周波数分布のDC成分の積分値とし、直線以外の輝度変化の指標とした。

検出した直線量とMOS値の関係を図11に示す。直線量を画素単位で示すと非常に大きな値になるので、正規化した任意単位(arb.unit)とした。相関係数R=0.79で、相関係数や回帰式、回帰係数ともに有意であり、直線量が多いほどMOS値が低くなる傾向が示された。

次に、検出したDC成分とMOS値の関係を図12に示す。FFTで抽出したDC成分をそのまま用いると非常に大きな値になるため、正規化した任意単位(arb.unit)とした。相関係数R=0.68であり、DC成分が多いコンテンツほどMOS値が低くなる傾向にも見えるが、回帰係数のp値が0.07となり、十分に有意ではなかった。

さらに、MOS値を目的変数に、2種類のパラメータ(直線量, DC成分)を説明変数にした重回帰分析を行った結果では、パラメータとMOS値の重相関係数R=0.80となり、「直線が多く含まれ、さらに直線以外の輝度変化が小さい

コンテンツほど歪みが目立つ」という仮説の傾向は示唆されたが、p値は直線量で0.05未満であるのに対し、DC成分では0.15となり、十分に有意とはいえなかった。有意か否かをより正確に吟味するには、評価画像の増加などの追加検証が望ましいと考える。

4. む す び

超短焦点プロジェクタを対象に、幾何的な歪みにおける画質劣化の定量化を目的とした。投影像の歪み方に対応する壁の6種類の凹凸を挙げ、それらの中から有効かつ相互の相関がないと考えた4種類(高さ/深さ、幅広さ、個数、連続性)に絞った。その後、それらを歪みのパラメータ(角度誤差、歪み幅、個数、連続性)に対応させ、擬似的に歪ませた評価画像の主観評価を行った。その結果、4つの物性には相互の相関がなく、歪みの物性と主観評価値の重相関係数 $R=0.91$ と高い値を示し、人間が歪みによる画質劣化をどのように感じるかが定量的に明らかになった。また、4つの物性の中では、角度誤差が画質劣化に最も強く影響することが判明した。一例を挙げると、歪んでいる箇所が多さよりも一つの大きな歪みが画質劣化を強く知覚させる。

本研究から得た成果は歪み補正技術の性能評価などに好適に応用できる。例えば、壁に投影した格子パターンをカメラで撮影し、撮影した格子パターンと理想的な(歪みのない)格子パターンの差分から、本研究で定義した角度誤差、歪み幅、個数、連続性を算出する。それらを前述の式(1)に入力することで、どの程度の画質劣化を知覚しうるかのMOS値を予測できる評価システムも構築できる。

さらに、画質劣化のコンテンツ依存性についても検討し、表やグラフのような直線を多く含むコンテンツほど歪みによる画質劣化を知覚しやすいという定性的な知見を定量的に明らかにできた。

この定量化により、例えば、表やグラフのような直線量が所定値より多いコンテンツは歪み補正機能を自動実行して画質を優先し、自然画像のような直線量が所定値より少ないコンテンツは歪み補正機能を無効にして動画のフレームレートを優先するなど、応用的な機能にも展開できるようになる。

今後の課題には、簡易な評価実験に基づき優先度を下げ、今回は歪みのパラメータには加えなかった位置や方向なども含めたより総合的な定量化や、コンテンツ依存性の一層の精度向上が挙げられる。

〔文 献〕

- 1) 原, 長谷川: “一般カメラモデルに基づく超短焦点プロジェクタの投影幾何補正”, 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), 2014-CVIM-194, 18, pp.1-8 (2014)
- 2) 三宅, 中川: “視覚特性に基づく画質評価”, 信学誌 A, 89.11, pp.858-865 (2006)
- 3) 嶋田, 坂口, 窪田, 坂井, 藤岡: “色域, 輝度およびコントラストがモバイルディスプレイの画質に及ぼす影響”, 信学技報, pp.41-45 (2006)

- 4) 河村, 小野: “カラーマネジメント技術: 拡張色空間とカラーアピランス”, 東京電機大学出版局 (2008)
- 5) M. Nose and T. Yoshihara: "Quantification of image quality for color electronic paper", Journal of the Society for Information Display 20.11, pp.624-631 (2012)
- 6) 金澤, 日下部: “大画面表示における画質評価と心理物理量”, IEICE ESS Fundamentals Review 7.3, pp.242-248 (2013)
- 7) 会津, 堀田: “映像, 画像メディアの評価”, 信学誌, 96.4, pp.222-227 (2013)
- 8) 平井, 鳥毛, 堀内, 富永, 澁谷, 長谷川, 能勢: “知覚画像シミュレーションに基づくDLPプロジェクタの色割れ評価”, 映像学技法=ITE technical report, 38.40, pp.9-12 (2014)
- 9) John O. Linb: "Distortion criteria of the human viewer", Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on 9.12, pp.778-793 (1979)
- 10) Z. Wang, A.C. Bovik, et al: "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity", Image Processing, IEEE Transactions on 13, 4, pp.600-612 (2004)
- 11) X. Desurmont and J. Delaigle, et al: "Characterization of geometric distortions attacks in robust watermarking", Electronic Imaging 2004, International Society for Optics and Photonics, pp.870-878 (2004)
- 12) I. Setyawan and D. Delannay: "Perceptual quality evaluation of geometrically distorted images using relevant geometric transformation modeling", Electronic Imaging 2003, International Society for Optics and Photonics, pp.85-94 (2003)
- 13) 三宅: “デジタルカラー画像の解析・評価”, 東京大学出版会 (2000)
- 14) 岡本, 林: “映像メディア品質評価技術の最新動向”, IEICE ESS Fundamentals Review, 6.4, pp.276-284 (2013)
- 15) 吉田:自動車デザインが音質評価におよぼす影響について”, 映像方法メディア学会誌, 69, 7, pp.J2211-J226 (2015)



能勢 将樹 1999年, 千葉大学大学院修士課程を修了。現在, 東京工業大学大学院博士課程に在学中。1999年, 富士通(株)に入社し, 主に(株)富士通研究所に在籍。2013年, (株)リコーに入社。主にディスプレイデバイスの駆動制御や画像処理, 画質評価の研究に従事。学生会員。



住吉 信一 2010年, 北海道大学大学院情報科学研究科修士課程を修了し, (株)リコーに入社。主にプロジェクタを用いた計測技術のほか, コンピュータビジョンに関する研究に従事。



長谷川史裕 1994年, 京都大学大学院理学研究科修士課程を修了。同年, (株)リコーに入社し, 文書画像やプロジェクタに関わるコンピュータビジョン分野や, リライタブルメディア用画像処理技術の研究開発などに従事。



中重 文宏 1987年, 千葉大学工学部を卒業し, (株)リコーに入社。FA向け計測装置開発のほか, 現在, プロジェクタ用映像検査システム開発に従事。



内川 憲二 1980年, 東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了。York Univ. (Canada) Post doctoral fellow, 東京工業大学助手, 助教授を経て, 1994年より, 東京工業大学大学院総合理工学研究科教授。1986年~1987年, UCSD, Visiting Researcher。視覚情報処理, 色覚, 色彩科学, 心理物理学を専門とする。工学博士。正会員。