

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 31 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500251

研究課題名(和文) 臨場感の向上を目的とした視覚感性に基づく超階調表示

研究課題名(英文) Display with Increased Gradation Based on Human Vision and Kansei for a Higher Realistic Feeling

研究代表者

佐藤 美恵 (Sato, Mie)

宇都宮大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：00344903

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、256階調より多くの階調を大画面で表示することを可能にした。そして、従来の階調数を超える本表示の有効性を示すために、様々な階調数で表示した画像が観賞者にどのような印象を与えるかを主観評価実験により調査した。その結果、ある一定の階調数までは、階調数の増加に伴い画像の印象が向上し、特に肌や空などのグラデーション領域を多く含む画像においては顕著に向上するという、今後の表示装置の開発に有用な知見が得られた。

研究成果の概要(英文)：This study makes it possible to display images in gradations more than 256 on a large screen. To show the effectiveness of the display in gradations more than 256 that is the number for the present display, we conduct subjective assessments and examine what impressions viewers receive from images displayed in various gradations. Results show that to a certain number of gradation, impressions of the displayed images get better as the number of gradation increases and that this tendency is conspicuous when images includes more gradation areas such as human skin and the sky. These results are useful for development of image displays in the near future.

研究分野：感性情報処理

キーワード：表示 階調 印象 感性 視覚

1. 研究開始当初の背景

液晶ディスプレイやプロジェクタなど表示装置の高輝度化が進むにつれて、階調数についても従来の RGB 各 256 階調より多くの階調数を有する表示が目立っている。階調数とは、色の濃淡変化の段階数を意味し、従来の RGB 各 256 階調を超越する階調数を有する表示、超階調表示により、高臨場感を実現するために必要な要素の解明が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、複雑に関連し合う視覚特性により、視覚情報を人間がどう感じるかという視覚感性に着目して、表示装置が取り扱うより広い輝度範囲に適した超階調表示を実現する。そして、超階調表示された画像の印象が向上するかを実験により検証する。これにより、今後の超階調表示技術の基盤となる知見を提供する。

3. 研究の方法

本研究では、人間が弁別可能な輝度差に基づいた超階調表示において、階調数と表示画像の印象の関係を調査する。そこで、超階調表示装置を用いて、輝度弁別閾の測定実験と、階調数の違いによる印象評価実験を行う。

(1) 輝度弁別閾の測定実験

関連研究ごとに用いている輝度弁別閾は異なり、GSDF (Grayscale Standard Display Function) を用いている場合と Hecht のデータを用いている場合がある。GSDF は限定した実験環境で測定されていることや、Hecht のデータは適用輝度範囲が約 $10^{-4} \sim 10^3 \text{ cd/m}^2$ と限られていることから、改めて本研究の実験環境に即した輝度弁別閾を測定する。

1024 階調を持つ 2 種類の応答特性を用いてグレースケールチャートを表示し、各画素値差を弁別できるかを調査する。これにより、弁別可能な画素値差がわかり、弁別できた画素値差が与える輝度差を調べることで、弁別可能な輝度差が求められる。2 種類の応答特性としては、ガンマ値 2.2 と人間の視覚特性 [1] を基に作成したガンマ値 3.33 を用意する。

実験では、応答特性を任意に設定可能な先行研究 [2] の超階調表示装置を用いる。本表示装置では、RGB 各 256 階調を有するプロジェクタを 4 台用いて多重投影を行い、1024 階調を有する超階調表示を実現している。なお、本表示環境において、各プロジェクタに最小画素値 0 の単色画像を入力した際の投影面中心部の合計出力輝度は 1.85 cd/m^2 であり、最大画素値 255 の単色画像を入力した際の投影面中心部の合計出力輝度は 1841.40 cd/m^2 である。

測定は 1024 階調を 16 区間に区切り、65 階調ずつ行う。測定用画像は、横 15 マス×縦 10 マスの 150 マスで構成し、各マスに 1 画素値を表示する。各マスは右に行くほど画素値が

大きくなり、1, 2, 4, 8 つずつ画素値が大きくなる行を用意する。また、実験の際には、5 マスを 1 ブロックとして、被験者ごとにブロックをランダムに並び替えたグレースケール画像を使用する。

測定用シートには、測定用画像と同様に横 15 マス×縦 10 マスの 150 マスが点線で印刷されている。被験者には画素値差が弁別できた箇所、つまり、境界線が見えた箇所と対応する点線に線を引いてもらう。実験は暗室で行い、測定前には暗順応時間を設ける。また、16 枚の測定用画像は、暗順応を考慮して、画素値の小さいものから順に表示する。被験者は 20 代男性 5 名、女性 5 名の計 10 名である。

実験結果を求めるために、まず、各画素値差を弁別できた被験者数を集計した。次に、弁別できた画素値差が与えていた輝度差と弁別できた被験者数を基に輝度弁別閾曲線を算出した。与えていた輝度差を LD 、そのときに弁別できた被験者数を n として式 (1) より 10 人が弁別できる輝度差 LD_0 を求めた。

$$LD_0 = \frac{10}{n} LD \quad (式 1)$$

そして、算出した輝度差の近似曲線を求め輝度弁別閾曲線とした。図 1 及び式 (2) に、算出した輝度弁別閾曲線を示す。図 1 の横軸は輝度を表し、縦軸は輝度差を表す。

$$y = 0.068x^{0.91} \quad (式 2)$$

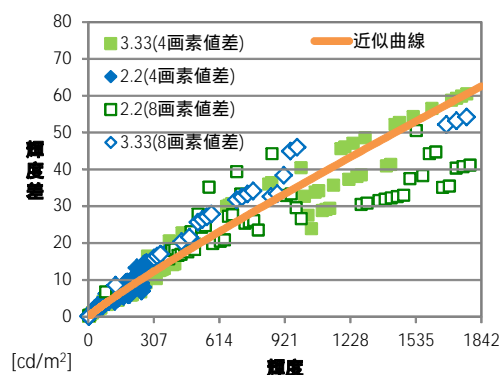


図 1: 算出した輝度弁別閾曲線

この輝度弁別閾曲線が与える輝度差は、GSDF の約 4 - 5 倍の輝度差と一致する。したがって、本超階調表示装置の輝度範囲である約 $1.85 \text{ cd/m}^2 \sim 1841.40 \text{ cd/m}^2$ では、GSDF が与える輝度差の約 5 倍の輝度差を与える応答特性を採用することで階調を弁別できるようになると考えられる。

(2) 超階調表示の印象評価実験

これまで 256 階調よりも多くの階調数を有する表示装置に関する研究は、医療用やカラーマネジメント用など定量的な性能向上を必要とする専門分野では多く行われてきた。しかし、超階調化はより滑らかな階調表現を可能にするため、定量的な性能向上だけでなく、観賞者が受ける表示画像の印象を向上させる効果もあると考えられる。そこで本研究

では、超階調化の効果を定性的な側面から検証するため、階調数の違いによる表示画像の印象変化について調査する。

評価実験では、5種類の階調数と16種類の画像を用いる。実験環境は、HDTVの画像品質のための主観評価方法について規定しているITU-R BT.710[3]に基づき設定する。実験室の様子を図2に示す。本実験に用いる超階調表示装置は先行研究[4]に従い、プロジェクタ(JVC DLA-X9)を2台用いた多重投影により実現している。本表示装置の輝度範囲は約 $1.6 \times 10^{-2} \sim 2.5 \times 10^2 \text{ cd/m}^2$ であり、GSDFを応答特性として採用している。各プロジェクタの解像度は 1680×1050 ピクセルであり、投影画像サイズは55インチである。また、実験は暗室で行う。



図2：実験室の様子

評価画像はハイビジョン・システム評価用標準動画第2版とその他の画像から、風景や建物、人物、動物、光沢のある物体などを含んでいる画像を選定する。また、画像を選定する際には、画像の中心に目を引き付ける対象がある画像と目を引く対象がない画像を半々にする。なお、評価の際にはこれらの画像はNTSC係数によりグレースケール画像に変換している。

実験に用いる階調数は530, 256, 128, 64, 32階調の5種類とする。また、評価語は先行研究[4]を参考に「好き」、「滑らかな」、「自然な」、「迫力がある」、「嫌い」、「粗い」の6語とする。被験者には、表示された画像を見ながら、「そう思わない」から「そう思う」までの7段階の評価尺度を用いて、6つの評価語それぞれの当てはまり度を回答してもらう。各画像の回答後には、グレー単色画像が2秒間表示され、その後、次の画像が表示される。そして、全評価画像について回答してもらった後に、アンケートを実施する。アンケート用紙には16種類の画像が印刷され、被験者にはそれぞれの画像を評価する際に画像のどこを見て判断したかを印してもらう。被験者は20代男性13名、女性18名の計31名である。

実験結果を求めるために、まず、7段階の評価に対して-3~3点の重みを付けてデータを集計して平均得点を算出した。実験結果より、128階調付近までは、階調数が多くなるほど好印象を表す「好き」、「滑らかな」、「自

然な」、「迫力がある」の評価語の得点は高くなり、一方、悪印象を表す「嫌い」、「粗い」の評価語は得点が低くなった。したがって、128階調付近までは階調数の増加に伴い画像の印象が向上していると言える。ここで、128階調の応答特性に注目すると、本表示装置は輝度範囲が約 $1.6 \times 10^{-2} \sim 2.5 \times 10^2 \text{ cd/m}^2$ においてGSDFを応答特性として530階調で表示しているため、128階調のときはGSDFの約4倍の輝度差を与えていることになる。つまり、概して、この階調より低い階調では弁別可能な輝度差が与えられ、この階調より高い階調では弁別が不可能な輝度差が与えられていると考えられる。よって、表示画像の印象の向上は輝度差の弁別に基づくことが示唆された。

さらに、この傾向が強く見られた画像と見られなかった画像の違いを分析した結果、階調数の違いによる印象変化は、「ぼかし」や「空」、「肌」、「壁」といった徐々に変化するグラデーション領域を含み、かつ、それらが画像の中心にあるか、もしくは観賞者の注意を引き付ける対象である場合に顕著であった。

4. 研究成果

本研究では、人間が弁別可能な輝度差に基づいた超階調表示を実現し、本超階調表示の有効性と課題を調査した。

その結果、超階調表示では、人間が弁別可能な輝度差を与える階調数までは、階調数の増加に伴い画像の印象が向上することがわかり、その傾向は画像の内容に強く影響され、「空」、「肌」といったグラデーション領域を含み、かつ、それらが観賞者の注意を引き付ける対象である場合に顕著であることが示された。

今後は、対象とする輝度範囲を広げて、高階調化の効果をさらに検証していき、今後の超階調表示装置の開発において基盤となる知見を提供していく。

参考文献

- [1] G. Wyszecki, et al. "Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae (2nd ed)," John Wiley Sons, p.514, 2000.
- [2] 井上未知美, 他, "プロジェクタによる多重投影に基づいたHDR表示の一検討", 映像情報メディア学会技術報告, vol.35, no.8, pp.45-48, 2011.
- [3] ITU-R BT. 710-4, "Subjective Assessment Methods for Image Quality in High-definition Television" 1998.
- [4] 井上未知美, 他, "ディスプレイの輝度範囲に適した階調数の印象評価に基づく検討", 映像情報メディア学会技術報告, vol.37, no.45, pp.5-8, 2013.

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 0 件)

〔学会発表〕(計 16 件)

- (1) Michimi Inoue, Naoki Hashimoto, Miyoshi Ayama, Mie Sato, An Examination of Impression Changes Provided by Increasing a Bit-Depth of Display Devices, International Symposium on Affective Science and Engineering 2015 (ISASE2015), 2015.03.23, 工学院大学(東京・新宿)
- (2) Michimi Inoue, Takumi Sotome, Naoki Hashimoto, Miyoshi Ayama, Mie Sato, An Analysis of Effects Provided by High-Gradation Displays Based on Impression Assessment, International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research 2014 (KEER2014), 2014.06.12, Linköping (Sweden)
- (3) 井上未知美, 早乙女拓美, 佐藤美恵, 阿山みよし, 橋本直己, ディスプレイ装置の高階調化による印象変化と画像コンテンツの関係性の検討, 第9回日本感性工学会春季大会, 2014.03.22, 北海道大学(北海道・札幌)
- (4) 井上未知美, 早乙女拓美, 佐藤美恵, 阿山みよし, 橋本直己, 観賞者に良い印象を与える階調数の輝度差に関する検討, 映像情報メディア学会ヒューマンインフォメーション研究会, 2014.03.04, 東京農工大学(東京・小金井)
- (5) 早乙女拓美, 井上未知美, 佐藤美恵, 阿山みよし, 橋本直己, ディスプレイの輝度範囲に対する階調数と印象の関係性についての検討, 映像情報メディア学会メディア工学研究会, 2014.02.22, 関東学院大学(神奈川・横浜)
- (6) 井上未知美, 早乙女拓美, 佐藤美恵, 阿山みよし, 橋本直己, ディスプレイの輝度範囲に適した階調数の印象評価に基づく検討, 映像情報メディア学会メディア工学研究会, 2013.10.28, 宇都宮大学(栃木・日光)
- (7) Michimi Inoue, Mie Sato, Miyoshi Ayama, Naoki Hashimoto, An Examination of a Gradation Number for High-Gradation Displays Based on Luminance-Differences, The 40th International Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH2013), 2013.07.23-24, Anaheim (USA)

- (8) 井上未知美, 佐藤美恵, 橋本直己, 高階調表示に適した輝度差の検討, 映像情報メディア学会 2012 年年次大会, 2012.08.29, 広島市立大学(広島・広島)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
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
佐藤 美恵 (Sato, Mie)
宇都宮大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授
研究者番号: 00344903
- (2) 研究分担者
阿山 みよし (Ayama, Miyoshi)
宇都宮大学・工学(系)研究科(研究院)・教授
研究者番号: 30251078
- (3) 連携研究者
橋本 直己 (Hashimoto, Naoki)
電気通信大学・情報理工学(系)研究科・准教授
研究者番号: 70345354