

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：53101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K16033

研究課題名（和文）知覚画質向上を目的とした超高精細ディスプレイ活用法

研究課題名（英文）Utilization of ultra high definition displays for improving perceptual image quality

研究代表者

上村 健二（KAMIMURA, Kenji）

長岡工業高等専門学校・電子制御工学科・准教授

研究者番号：80708090

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：高精細ディスプレイの4画素を束ねた面積階調表示を利用することで、各画素8bitのディスプレイにおいても、色深度を10bit以上へと拡張できることが確認された。また、4画素の表示パターンが知覚画質与える影響の確認も行った。例えば、ランダムパターンでは画像中の平坦領域において、隣接画素との間で輝度バランスが崩れ、こま塩状のノイズが発生する。水平方向に高コントラストのパターンでは、ディスプレイの構造に起因すると思われる着色現象が確認されるなど、表示方法にはまだ検討の余地が残されている。

研究成果の概要（英文）：It was confirmed that the color depth can be expanded to 10 bits or more even in 8 bits display by using the area gradation method. We bundled 4 pixels of the ultra high definition display to achieve deeper color depth. We also analyzed the influence of displaying pattern of bundled 4 pixels on perceived image quality. Results showed that in case of a random pattern was used, the luminance balance between adjacent pixels was lost in a flat region in the image, and salt-pepper noise is generated. In case of horizontal high contrast pattern was used, coloring phenomenon which seems to be caused by the structure of the display was observed. There is still room for study in the area gradation method.

研究分野：画像情報処理

キーワード：画像 画質 知覚 ディスプレイ

1. 研究開始当初の背景

(1) 2011年の地上波テレビのデジタル放送完全移行により、日常で用いる画像はほぼデジタル化された。完全デジタル化以降も、高画質を求めるユーザからの改善要望に応える形で、デジタルディスプレイ装置の解像度は増加し続け、4K(3840×2160画素)のテレビが家庭用に販売され、試験放送も開始された。その一方、一般ユーザに目を向けた場合、地上デジタル放送開始から3年経過した2014年段階でようやく高解像度なBlu-rayディスクの出荷量がDVDを上回るといった状況であり、解像度増加への需要はそこまで大きいとは言えない状況であった。

(2) Apple社のRetinaディスプレイのように、1画素大きさを人間が知覚できないサイズまで細かくしたデバイスが開発・販売されたことで、さらなる高精細化の需要が低下し技術開発が停滞する可能性があった。機能面での優位性によってコスト高を補っていた国内のディスプレイ産業にとって、技術革新が滞ることは競争力の低下につながる恐れがあった。

2. 研究の目的

人間の知覚限界を超える微細な画素によって生じる余剰な空間解像度を、印刷分野で使われている面積階調法や、分割描画を利用し、階調数や時間分解能方向に再分配することによって、知覚画質向上を目指す。同時に、映像コンテンツに応じた駆動方式を調査し、映像表示装置における新たな付加価値創出を目指す。

3. 研究の方法

(1) 余剰解像度を用いた面積階調表示が可能であることを確認するため、高精細ディスプレイに面積階調化画像を表示し主観的に評価する。視力1.0程度の場合、Full HD(1920×1080)24型のPC用ディスプレイの1画素は、通常の視距離から判別することは困難であるため、その4倍の画素数を誇る4K UHD(3840×2160)ディスプレイの4画素を束ねて疑似1画素を作成することで評価を行う。

(2) 面積階調法では、同一の濃度値を得られる空間的配置パターンが複数存在する。さらに、ディスプレイの場合は印刷の場合と異なり、各画素単位でも濃度を制御できるため、同一階調を出力するパターン数は空間的配置と濃度の組み合わせとなり、膨大な数となる。そこで、代表的な組み合わせパターンについて特性の評価を行う。

4. 研究成果

(1) モノクローム画像に対し、1画素の持つ輝度値を、単純に4分割して4K UHDディスプレイの4画素に表示した場合と、1画素ずつ順に使いながら同一輝度を得た場合を

主観的に比較した結果、どちらにおいても4K UHDディスプレイの1画素を視認することはできず、また全体の印象としてはFull HD表示と同様となった。この結果より本手法の基本コンセプトは問題ない事が確認された。一方で、1画素ずつ順に使った場合は、モノクローム画像でありながら画像の平坦部に色味が出てしまったり、一部の周期構造部に本来存在しないパターンが見えてしまったりした。さらに、1画素は知覚されないながらも、4分割して表示した場合は1画素ずつ表示した場合と比べてわずかながら先鋭感が劣るような印象となった。

(2) 前述の知覚差を詳細に調べるために、同一階調値を得られる図1に示す5種類のパターンについて比較を行った。

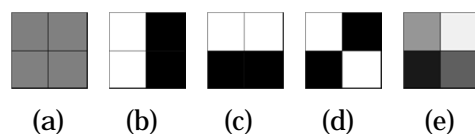
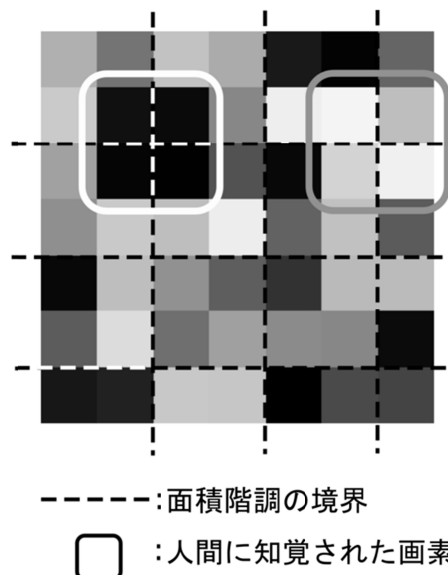


図1 表示パターン

(a)は全画素を均等に表示したパターン(低コントラストパターン)、(b)はディスプレイ水平方向が高コントラストとなるように配置したパターン(ストライプ)、(c)は垂直方向が高コントラストとなるように配置したパターン(ボーダー)、(d)は水平・垂直ともに高コントラストとなるように配置したパターン(チェッカー)、(e)はランダムに配置したパターンである。

まず、画像全体が一様に(同一色で)塗りつぶされている画像に対して面積階調を適用したところ、(e)のランダムパターンのみ、粒状のノイズが知覚された。この時の画像の一部を拡大したものを図2に示す。面積階調で所定の輝度値を得るために束ねた4画素の合計輝度値は等しいが、それぞれの中で空間



-----:面積階調の境界  
○ :人間に知覚された画素

図2 ランダムパターンによる面積階調

的な配置がランダムであるため、隣接する擬似1画素の内部で、暗い画素や明るい画素が集まってしまふ可能性がある。これによって想定した擬似1画素とは0.5画素ずれた位置に明暗の異なる画素が生じ、ノイズとして観測されたと考えられる。隣接する画素を考慮しながらパターンを生成することは計算負荷が高く、ランダムパターンによる面積階調化は実用上困難である。

続いて、実際の画像に多く含まれるなだらかな階調変化や周期構造を考慮し、図3のグラデーション及び正弦波画像に対し面積階調を適用した。

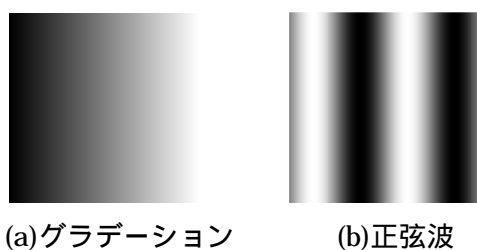


図3 グラデーションと正弦波画像

このような画像においても、図1(e)のランダムパターンを使用した場合のみノイズが発生し、図1(a)~(d)のパターンを使用した場合にはノイズ等は観測されなかった。一方で、図1(b)ストライプ及び図1(d)チェッカーのパターンを使用した場合には、モノクローム画像であるにもかかわらず画像の上部や下部においてわずかに赤や緑に着色された画像が観測された。画像を90度回転して確認しても同様に着色がされ、さらに、メーカの異なる3種のディスプレイでも実験を繰り返したが、色味や程度の違いはあるものの、全てのディスプレイにおいて同様な結果が得られた。このことから、水平方向にRGBのサブピクセルが並ぶディスプレイの画素構造に起因すると考えられる。また、画像全体の先鋭感は画像コンテンツの勾配と、面積階調パターンのコントラスト方向を合わせた方が高くなることが明らかとなったが、その差は大きくないため、着色の影響を避けるためにも、現状の市販ディスプレイにおいてはボーダーパターンによる面積階調化が有効である。

(3) 面積階調化による階調の増加を定量的に評価するために、色深度8ビット・10ビットの表示が可能なディスプレイを用いて、10ビット表示と8ビットディスプレイに面積階調表示を行った際の性能を、色彩輝度計(コニカミノルタ CS-100A)によって測定した輝度に基づいて比較した。その際、10ビット表示では階調数は1024あり、全階調・全パターンの測定は現実的ではないため、表1に示す3つの輝度領域で、図1(a)の低コントラストパターンと図1(d)の高コントラストチェ

ッカーパターンを比較した。輝度領域を3分割したのは、ディスプレイの非線形特性を考慮するためと、高輝度領域で全画素が発光することによるパターンのコントラスト低下の影響を評価するためである。

表1 測定輝度領域と階調値

輝度領域	階調値の範囲	
	8bit	10bit
低輝度領域	31 - 32	124 - 128
中輝度領域	127 - 128	508 - 512
高輝度領域	239 - 240	956 - 960

低コントラストパターンの測定結果の代表例として中輝度領域を図4に示す。

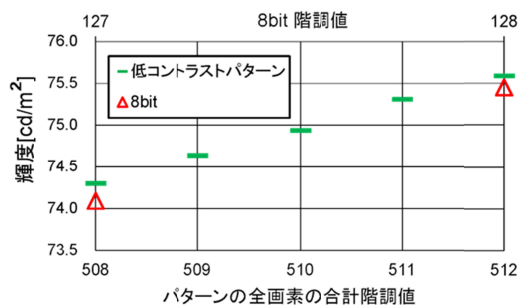


図4 低コントラストパターン・中輝度領域における階調値と輝度値

低コントラストパターンでは、8bit表示の階調値を4画素に均等に分割するため、各画素にセットされる階調値は最大で1しかずれない。そこで、横軸にはパターン合計値を示し10bit表示と比較しやすくした。グラフから、10bit表示同様8bit表示の1階調分を4分割できており、10bit相当の表示が行えていることが確認された。低・高輝度領域においても同様に、8bit表示の4倍の輝度分解能を得ることができた。

続いて、高コントラストパターンの中輝度領域における測定結果を図5に示す。

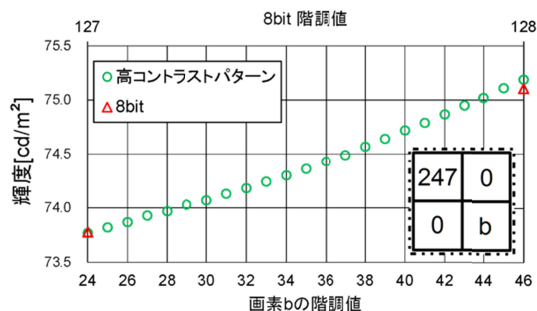


図5 高コントラストパターン・中輝度領域における階調値と輝度値

高コントラストパターンでは、まず8bit表示より小さくかつ最も近い輝度値を出せる階調値を1画素にセットし、別の画素の階調値を徐々に増やすことで8bit表示1階調の

中間の階調を作成する。この時、ディスプレイの非線形特性により、高コントラストパターンの合計階調値は10bit表示の階調値と一致しないため、横軸には中間の階調を作成するために使用した画素の階調値を示す。高コントラストパターンの場合、輝度値の変化も画素の非線形性の影響を強く受け一定とはならないものの、8bit表示の1階調の間に21種類の輝度値が作成できた。これは $\log_2 21 \approx 4.4$ bit相当の階調数増加となり、10bit表示を上回る性能を得ることができた。

各パターンと輝度領域での増加階調数を表2にまとめる。

表2 表示パターンと増加階調数

パターン	輝度領域	増加階調数
低コントラスト	低輝度	2.0 bit
	中輝度	2.0 bit
	高輝度	2.0 bit
高コントラスト	低輝度	3.9 bit
	中輝度	4.4 bit
	高輝度	2.0 bit

各画素が取り得る値が限定されるため、表示可能輝度の両端部では高コントラストパターンは作成することができない。ディスプレイの非線形特性の影響により、特に高輝度領域では高コントラストなパターンの作成は困難であるが、多くの映像コンテンツは中低輝度領域において多くの情報を有しており、本手法で中間調の表現力を強化できることは知覚画質向上にとって有用であると言える。

成果(2)に示したような、表示画像の着色現象については複数のディスプレイを手配するなど原因の究明に向けて取り組んだが、原因の完全な解明には至っておらず、今後さらなる検討が必要であるとともに、今回のパターン化表示のような、メーカーが想定していないと思われる使用方法をする場合には、製造企業等から情報を得られる研究体制を構築することが好ましい。

着色現象等の解析に多くの時間を費やしてしまったため、カラフルな画像における色チャンネル毎のパターンズレや、動画像におけるフレーム間パターン変化、時間方向での余剰解像度活用法など多くの検討事項が残っており、今後はこれらを一つ一つ明らかにしていくことにより、映像表示装置開発の新たな道筋として確立していきたい。

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計2件)

南雲 祥多、上村 健二、高橋 章、竹部 啓輔、高精細ディスプレイにおける階調増加法の検討、第26回電気学会東京支部新潟支所研究発表会、2016年11月12日、長

岡技術科学大学(新潟県・長岡市)

阿部 凌磨、上村 健二、高橋 章、超高精細ディスプレイを活用した知覚画質向上、平成27年度電子情報通信学会信越支部大会、2015年10月3日、新潟工科大学(新潟県・柏崎市)

〔その他〕  
ホームページ等

<http://www.nagaoka-ct.ac.jp/ec/lab/cv/p/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

上村 健二 (KAMIMURA, Kenji)  
長岡工業高等専門学校・電子制御工学科・准教授

### (2) 研究協力者

高橋 章 (TAKAHASHI, Akira)  
竹部 啓輔 (TAKEBE, Keisuke)  
阿部 凌磨 (ABE, Ryoma)  
南雲 祥多 (NAGUMO, Shota)  
田中 亮祐 (TANAKA, Ryosuke)