

# 動画像における 擬似的不規則画素配置によるジャギー解消効果の評価

## Evaluation of Jaggy Elimination Effect in Moving Pictures Using Pseudorandom Pixel Placement

中村 優 希<sup>†</sup>, 川崎 基 輝<sup>†</sup>, 正会員 秋田 純 一<sup>†</sup>, 小松 孝 徳<sup>††</sup>

Yuki Nakamura<sup>†</sup>, Mototeru Kawasaki<sup>†</sup>, Junichi Akita<sup>†</sup> and Takanori Komatsu<sup>††</sup>

**Abstract** In order that humans feels they are seeing 'clearly' when they watch moving pictures, an image system has been developed. But it is impossible to eliminate the jagged edges in traditional approaches, for example, increasing resolutions and reducing noise. Therefore, the author proposes an image systems with pseudorandom pixel placement, and discusses the jaggy elimination effect in moving pictures, which was insufficient based on subjective experiments.

キーワード：画像システム 動画像 擬似的不規則画素配置 ジャギー

### 1. ま え が き

画像システムは我々人間が見て「きれい」と感じる画像表現を追求し、進歩してきた。この目的のための従来の技術的アプローチは、大きく分けると高解像度化や画像信号の高品質化の二つがあるが、これらのいずれでも、画像のエッジ部分に現れる階段状のギザ（ジャギー）を根本的に解消することはできず、これが画像の品質を損なう深刻な要因となりうる。

著者らはこれまでに、画像システムが持つ画素を擬似的に不規則な配置とすることでジャギーの影響を低減する手法を提案し<sup>1)2)</sup>、画像システムが本来目指すべき目標である「人間にとってきれいに見える画像」を評価基準とするために、知覚実験を用いた主観的な評価によって、特に静止画においてそのジャギー解消効果を示してきた<sup>3)</sup>。しかし、我々の視覚系の知覚特性として、動いている物体などの変化分に対してより高い感度をもつことが知られており<sup>4)</sup>、ジャギーの現れ方が時間とともに変化する動画像においての評価は、より重要となると考えられる。

本稿では動画像における擬似的不規則画素配置のジャギー解消効果について主観評価実験の結果に基づいて検証する。

### 2. 動画像におけるジャギー

擬似的不規則画素配置は、画像を構成する発光領域などの「有効領域」の配置を4種類用意し、その配置順序を乱数で決定することで実現する。この配置を模擬するため、本稿では2×2個の画素を1個の画素として扱い（仮想画素と呼ぶ）、これを配置して図1のように画像を表現する。

このとき、隣接する画素間の有効領域の位置関係が多様となることで、特定の位置にジャギーとなる段差が集中しないため、擬似的不規則画素配置にはジャギーの知覚が弱くなる効果がある。例えば、図2のような平行移動する斜め線の表現では、ジャギーとなる段差が分散するため、孤立した高周波成分に対する感度が高い副尺視力の効果が小さくなることで、ジャギーが「見えにくく」なることが期待される。特にこのような動画像においては、ジャギーの現れ方が時間とともに変化するため、時間変化に対して感度が高い視覚系の特性からも、擬似的不規則画素配置による大きなジャギー解消効果が得られると期待される。

### 3. ジャギーの知覚実験

実際に、人間の目で見た場合における動画像のジャギーの解消効果を検証するため、被験者を用いる知覚実験による主観評価を行った。本稿の実験で用いた動画像は、すべて上述した仮想画素を用いる方法で表現している。

まず、実験前に被験者へジャギーがどのようなものか

2012年5月29日受付、2012年7月26日再受付、2012年8月6日採録

<sup>†</sup>金沢大学 大学院自然科学研究科電子情報科学専攻

(〒920-1102 石川県金沢市角間町, TEL 076-234-6821)

<sup>††</sup>信州大学 繊維学部

(〒386-8567 長野県上田市常田 3-15-1, TEL 0268-21-5300)

<sup>†</sup>Division of Electrical and Computer Engineering, Natural Science & Technology, Kanazawa University

(Kakuma, Kanazawa, Ishikawa, 920-1192 Japan)

<sup>††</sup>Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University

(3-15-1, Tokida, Ueda-shi, Nagano, 386-8567 Japan)

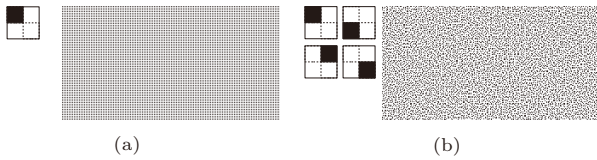


図 1 仮想画素とそれによって生成される画素平面（黒が有効領域を表す）. (a) 規則画素配置, (b) 擬似的不規則画素配置

Virtual pixels and generated pixel plain (black square represents the active area). (a)Regular placement, (b)Pseudorandom placement.

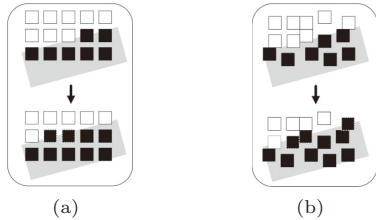


図 2 平行移動する物体のエッジ部分のジャギーの変化の例. (a) 規則配置, (b) 擬似的不規則配置

Example of jaggy appearance at the edge of horizontally moving objects. (a)Regular placement, (b)Pseudorandom placement.

を説明した後、液晶ディスプレイ (DELL 1708FP) から 1058mm 離れた位置に座らせる。このとき、ディスプレイ上の仮想画素の寸法は  $0.528 \times 0.528$ [mm] であり、被験者の位置からの見込み角は  $0.029$ [deg] となる。なおこの距離は、20 代の標準的な被験者の視覚特性で、仮想画素が知覚できない程度の距離とするため、仮想画素の間隔の知覚感度が 10% となる距離<sup>7)</sup>として設定した。そして、以下の実験 1 と実験 2 を、それぞれ 1 回の練習の後実施した。被験者は 43 人 (男性 33 名、女性 10 名) で、平均年齢は 21.58 歳、矯正視力を含む平均視力は 1.0 であった。

### 3.1 実験 1：直線の動きに対するジャギー知覚

この実験では、縦横の長さが  $15 \times 128$ [pix]\* (見込み角  $0.43 \times 3.66$ [deg]) の長方形が垂直方向に移動する動画像と、画像の中心を軸として回転する動画像を用いて、ジャギー知覚を調査する。被験者に表 1 のように運動・速度・傾き・画素配置が異なる計 30 種の動画像を 3 秒ずつランダムな順序で提示し、その動画像に対して「ジャギーが見える／見えない」のどちらかを回答させる。なお、平行移動には 3 種類の傾きがあるが、これらは規則画素配置のもつ方向特異性によってジャギーが強く知覚される角度と弱く知覚される角度<sup>2)</sup>に設定している。

### 3.2 実験 2：画素配置の比較

続いて、ジャギーが知覚されやすい<sup>6)</sup>とされる回転運動

表 1 使用画像のパラメータ  
Parameters of using movie.

運動	速度 [deg/sec]**	傾き [deg]	画素配置
平行移動	0, 1(3)***, 3(17)	1, 22.5, 44	規則, 擬似的不規則
回転	1, 10, 50, 100, 200, 500	-	規則, 擬似的不規則

\* この [pix] は仮想画素の数を表す。

\*\* 平行移動は視野角 [deg], 回転は回転角 [deg] である。

\*\*\* 平行移動速度の括弧内に 1 フレームあたりの移動ピクセル数 (仮想画素数) を示す。

表 2 使用画像の回転速度  
Velocity of rotation.

回転速度 [deg/sec]	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700
----------------	--

における、規則画素配置と擬似的不規則画素配置のジャギー知覚を比較する。実験 1 と同様の直線が回転する、回転速度が表 2 のような 25 種類の動画像を、規則画素配置と擬似的不規則画素配置の両方で長方形が水平に静止している状態で上下に並べて提示し、順に回転させる。なお、この提示においては回転速度と両者の上下配置は乱数で決定する。それぞれの速度に対して、画像の提示位置を入れ替えたものを含めた計 50 回の施行において、被験者にジャギーがより強く知覚された方 (上または下)、または同程度と感じた場合には「同じ」と回答させる。

## 4. 実験結果

以上の各実験の結果について、 $\chi^2$  検定と残差分析によって検証を行った。

### 4.1 実験 1：直線の動きに対する知覚実験の結果

速度・傾き・画素配置による、ジャギーを知覚した被験者数と知覚しなかった被験者数の有意差を検定した結果、すべてにおいて 1% 水準で有意差があり、これらのパラメータによってジャギーの知覚具合が変化することがわかった。

まず、速度によるジャギー知覚の変化はそれぞれの運動で図 3、図 4 のようになった。平行移動 (図 3) の動画像における実験結果に対し残差分析を行ったところ、速度  $1$ [deg/sec] で運動しているときの方が、速度  $0$ [deg/sec] の静止時よりも 1% 水準で有意にジャギーが知覚されることが確認できた。このことから、動画像ではジャギー付近に変化が集中し、静止画像よりもジャギーが目立つであろうという見解が、実際に人間の視覚系を通して成り立つことが示された。また、回転の結果 (図 4) から、さらに運動が高速になるほど 1% 水準で有意にジャギーが知覚されなくなることが示された。

次に平行移動の、傾きによるジャギー知覚の変化を図 5 に示す。規則画素配置の静止画像におけるジャギー知覚では、先行研究<sup>2)</sup>で既に報告されているように、 $22.5$ [deg] の傾きでは有意にジャギーが知覚されず、 $1$ [deg] や  $44$ [deg]

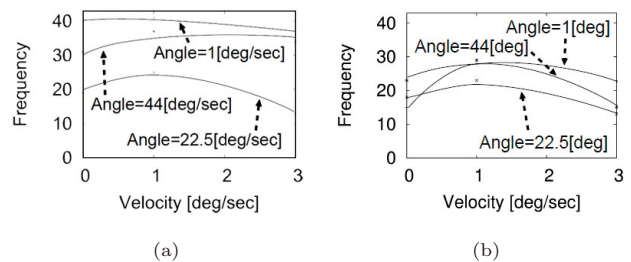


図 3 平行移動する斜め線の速度とジャギー知覚との関係. (a) 規則画素配置, (b) 擬似的不規則画素配置

Jaggy perception against the velocity for slant lines. (a)Regular placement, (b)Pseudorandom placement.

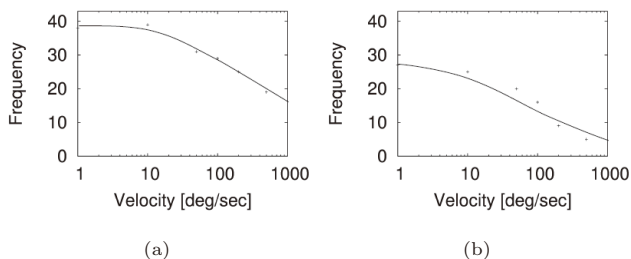


図 4 回転する直線の速度とジャギー知覚との関係。(a) 規則画素配置, (b) 擬似的な不規則画素配置

Jaggy perception against the velocity for rotated lines. (a)Regular placement, (b)Pseudorandom placement.

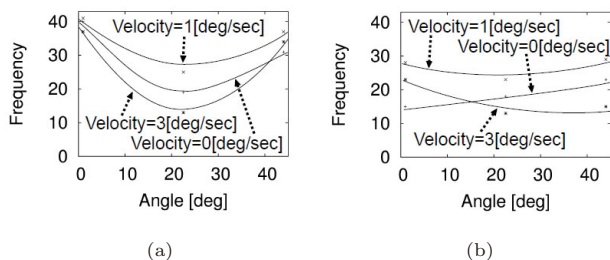


図 5 平行移動する斜め線の傾きとジャギー知覚の関係。(a) 規則画素配置, (b) 擬似的な不規則画素配置

Jaggy perception against the angle for slant lines. (a)Regular placement, (b)Pseudorandom placement.

の傾きで強く知覚される方向特異性が確認できた。さらに、図 5(a)において速度を上げても V 字形のカーブは崩れないことから、方向特異性は速度によって傾向が変わらないことが分かった。そして、擬似的な不規則画素配置の結果(図 5(b))には V 字形のカーブが現れておらず、方向特異性は速度によらず解消されていた。

また、画素配置間で比較してみると、全体的に規則画素配置のグラフは上方、擬似的な不規則画素配置のグラフは下方にあることが見て取れる。 $\chi^2$  検定と残差分析により、擬似的な不規則画素配置は速度や傾きに関わらず、1%水準で有意にジャギーが知覚されないことが明らかになった。

#### 4.2 実験 2: 画素配置の比較実験の結果

規則画素配置と擬似的な不規則画素配置を比較した、相対的なジャギー知覚の変化を図 6 に示す。よりジャギーが知覚された画素配置として擬似的な不規則画素配置を選択した被験者数を太線、規則画素配置を中太線、同程度を細線で表している。実験 1 の絶対評価における比較よりも相対評価の差が大きくなっていることが分かるが、その差は 3~5[deg/sec] で最大となり速度が上がるほど小さくなっている。徐々に「同じ」という回答が増えているのは、実験 1 の結果からジャギーそのものが知覚されなくなっているからであると考えられる。

また、擬似的な不規則画素配置の方でよりジャギーが知覚されると回答した被験者数は速度によらず安定して少なく、擬似的な不規則画素配置でのジャギー知覚の相対評価は速度依存性がないといえる。

#### 5. むすび

動画像におけるジャギーは速度・傾きの影響で知覚され

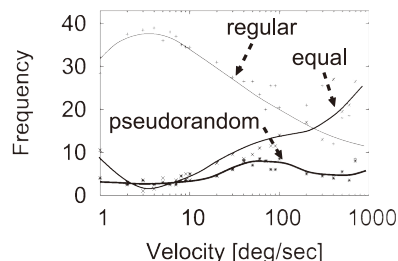


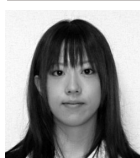
図 6 相対的なジャギー知覚の変化  
Relative change of jaggy perception.

具合が変化し、静止画像よりも知覚されやすいことが確認できた。静止画像で確認されていた規則画素配置の方向特異性は動画像でも現れ、擬似的な不規則画素配置はそれを速度に依存せず解消できることが分かった。

そして、著者らが提案してきた擬似的な不規則画素配置は、実験 1 の絶対評価や実験 2 の相対評価の両方において、運動・速度・傾きによらず規則画素配置よりもジャギーの解消に有効であることが実証できた。

#### 〔文 献〕

- 1) 秋田純一, 前田唯: “擬似的な不規則画素配置を持つ CMOS イメージセンサの試作と基礎的評価”, 映像学誌, **64**, 3, pp.413-415 (2010)
- 2) 前田唯, 岩淵勇樹, 秋田純一: “空間スペクトルを用いたジャギー評価に関する一考察: 擬似的な不規則画素配置によるジャギーの解消効果”, 映像学技報, **32**, 57, pp.29-32 (2008)
- 3) 前田唯, 秋田純一, 小松孝徳: “画像中の知覚可能なジャギーの擬似的な不規則画素配置による解消効果”, ヒューマンインタフェース学論, **13**, 2, pp.59-67 (2011)
- 4) D. H. Kelly et al: “Motion and vision. II. Stabilized spatiotemporal threshold surface”, Journal of the Optical Society of America, **69**, pp.1340-1349 (1979)
- 5) 金澤勝他: “副尺視力に基づく画像解像度と階調の相乗効果の一検討とマルチ画面の位置合わせ用お信号への適用”, 映像学誌, **57**, 11, pp.1491-1500 (2003)
- 6) 米田智弘, 秋田純一: “擬似的な不規則画素配置をもつ撮像素子の空間的サンプリング特性”, 映像学技報, **31**, 60, pp.53-56 (2007)
- 7) 大頭仁他: “年齢による時空間周波数特性の変化”, 日本眼光学誌, **8**, 1, pp.32-41 (1987)



なかむら ゆき  
**中村 優希** 2012 年, 金沢大学理工学域電子情報学類卒業。2012 年, 金沢大学大学院自然科学研究科電子情報科学専攻博士前期課程在学中。擬似的な不規則画素配置に関する研究に従事。



かわさき まとてる  
**川崎 基輝** 2012 年, 金沢大学理工学域電子情報学類卒業。2012 年, 金沢大学大学院自然科学研究科電子情報科学専攻博士前期課程在学中。擬似的な不規則画素配置に関する研究に従事。



あきた じゅんいち  
**秋田 純一** 1998 年, 東京大学大学院工学系研究科電子情報工学専攻博士課程修了。1998 年, 金沢大学工学部助手。2000 年, 公立はこだて未来大学システム情報科学部講師。2004 年, 金沢大学大学院自然科学研究科講師。2007 年, 同准教授。2011 年, 同教授。博士(工学)。高性能イメージセンサとその応用システム, 特にインタラクティブシステムに関する研究に従事。正会員。



こまつ たかのり  
**小松 孝徳** 2003 年, 東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻博士課程修了。2003 年, 公立はこだて未来大学システム情報科学部助手。2007 年, 信州大学ファイバーナノテク国際若手研究者育成拠点助教。2012 年, 同繊維学部准教授。博士(学術)。人間の直感的認知特性という切り口から, 人間と人工物との間のインタラクションを捕らえる研究活動に従事。