

## 研究速報

## 擬似的不規則画素配置による直線表現におけるジャギー低減のための画素構造の検討

Pixel Structure for Jaggy Reduction in Line Representation using Pseudorandom Pixel Placement

井崎 千尋<sup>†</sup>, 正会員 秋田 純一<sup>†</sup>  
Chihiro Izaki<sup>†</sup> and Junichi Akita<sup>†</sup>

あらまし 著者らはこれまで、画素内の受光領域などの有効領域の位置を擬似的に不規則とすることでジャギーを解消する方法を提案、検討してきた。本稿では、擬似的不規則画素配置における画素構造や種類を、ジャギーの空間周波数の観点から検討した結果について述べる。

キーワード：擬似的不規則画素配置, ジャギー, 空間周波数, 画素構造

## 1. ま え が き

従来の映像機器は、高精細な映像を表示するために解像度を高める方向に発展してきた。しかし画素数の増加は映像情報量の増加を招き、回路設計の困難化や消費電力の増大につながる。特に画素が正方格子状に配置されているために、格子と平行でない斜め線や曲線のエッジ部分に現れるジャギーは、それを構成する画素の並びを構成する画素の段が、人間の目には強く知覚<sup>1)</sup>されるために画素寸法の縮小による解消が困難であり、画像の精細さを欠く原因となっている。

著者らはこれまで、画像を構成する画素の構造に着目し、画素内で実質的に画像を構成する「有効領域」(撮像素子では受光素子の領域など)の位置を擬似的に不規則とすることで、ジャギーの影響を低減する手法について提案、検討してきた<sup>2)</sup>。本論文では、擬似的不規則画素配置における画素の構造や種類を、直線のエッジ部分に現れるジャギーの空間周波数の観点から検討した結果について述べる。

## 2. 擬似的不規則画素配置による直線の表現

従来の映像機器の画素は図1(b)のように正方格子状に配置されており、高精細な画像を表現するために、高解像度化が進んできた。

しかしわれわれ人間の目の受光細胞は網膜上に不均一に分布している<sup>3)</sup>ため、従来の規則的な画素配置は、われわれの目には格子として知覚されることになる。そのため傾きが小さな直線のエッジ部分に現れるジャギー(図1(d))

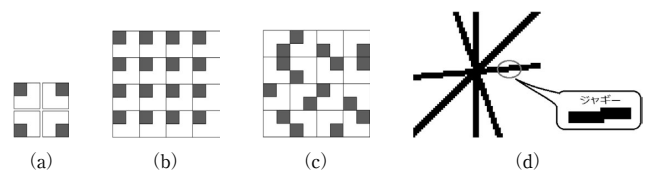


図1 画素構造とジャギー

(a) 4種類の画素 (黒色が有効領域), (b) 正方格子状配置, (c) 擬似的不規則画素配置, (d) ジャギーとの方向特異性。

は、その間隔が広いために空間周波数が低く、さらにそれが直線の傾きによって異なるという方向依存性が存在する。さらにジャギーの段差のような孤立した段に対しては、われわれの目は敏感(副尺視力<sup>1)</sup>)であるために、高解像度化によるジャギーの解消は困難である。これを解消するためには、画素の配置を不規則にすることが望ましいが、このような画素配置はラスタースキャンのような順次読出し方法が適用できない。

そこで、画素の中で受光素子や発光素子などの実質的に画像を構成する領域(有効領域)が画素の一部分のみを占有していることに着目すると、図1(a)のように回路構成や電極位置などが同一で有効領域の配置のみが異なる画素を考えることができる。これらを格子状に無作為の順序で並べる方法を考えると、この配置での有効領域の配置は、図1(c)のように擬似的に不規則に並んだ2次元配置(擬似的不規則配置)となり、この有効領域の配置は画素境界をまたいだ完全不規則配置のよい近似であることが示されている<sup>2)</sup>。

本稿ではこの擬似的不規則画素をシミュレーションで取り扱うために、 $12 \times 12$  [pixel] からなる仮想的な画素(仮想画素)と、それから構成される画像を考える。この仮想画素の中の異なる位置に $6 \times 6$  [pixel] の有効領域を置き、これらの仮想画素を乱数で選択しながら並べることで擬似的

2014年5月21日受付, 2014年7月31日再受付, 2014年9月4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

(〒920-1192 金沢市角間町, TEL 076-204-6369)

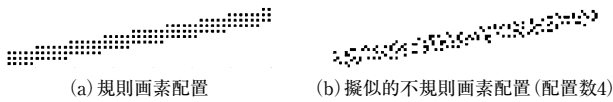


図2 仮想画素による直線の表現 (傾き10°)

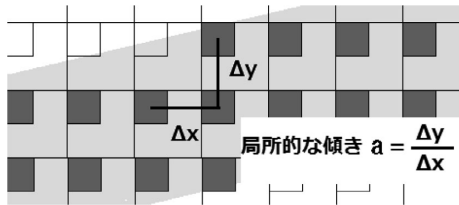


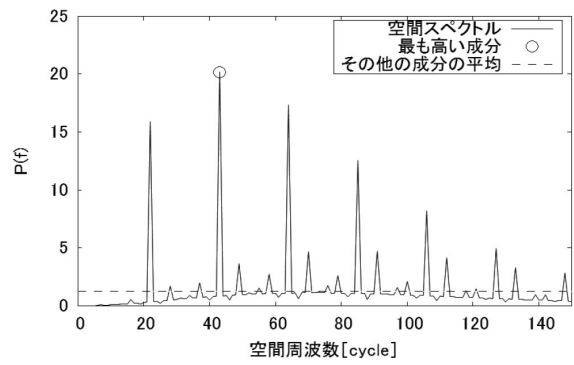
図3 局所的な傾き

な不規則配置を実現する。なおこの例では画素内の有効領域の比率 (開口率) が25%であることを仮定しているが、擬似的不規則画素配置の効果には、開口率と他の要因 (画素の種類など) は独立であることが示されているため<sup>5)</sup>、以下では開口率は25%で固定して考える。

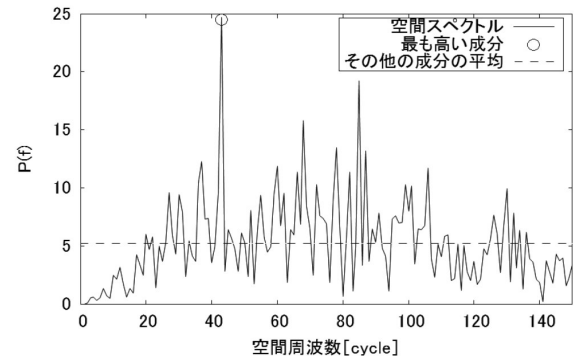
以下のシミュレーションでは、300×300個の仮想画素からなる擬似的不規則画素配置を持つ画像 (実際の画素数は3600×3600 [pixel]) 上に種々の傾きの直線を描き、有効領域がこの直線上に含まれる仮想画素のみを黒とした二値画像を作成する (図2)。

この仮想画素によって描かれた直線のエッジ部分に現れるジャギーがどのように知覚されるかを、ジャギーの現れる周期、すなわちその空間周波数から評価を行う。ただし人間の目には、ある範囲の空間周波数の成分が強く知覚されることが知られている<sup>4)</sup> ことから、これも考慮してジャギーの知覚されやすさを評価する。

ディスプレイから60 cmの距離から、仮想画素の間隔が0.3 mmの画像を眺めると仮定する。仮想画素によって描かれた直線のエッジ部分に対して、図3のような局所的な傾きaを考える。この傾きaが0でない個所がジャギーの段となる。X軸に対する傾きaを直線各点において求め、そのaに対してX軸方向の空間周波数特性とその空間スペクトルと目の知覚空間周波数特性<sup>4)</sup> の積P(f)を求める。例えば規則画素配置のP(f) (図4 (a)) は特定の周波数の成分のみが目立って大きくその他の成分は小さくなっている。擬似的不規則画素配置のP(f) (図4 (b)) では特定の大きな周波数成分の他にも、ある程度の強度以上の成分が多数存在している。このP(f)の中で、他と比較して目立って大きな空間周波数成分がある場合は、それに対応する周期構造の段がジャギーとして知覚されることになる。そこで、このような特定の強い成分がどの程度存在するかを示す指標<sup>6)</sup> として、一番強い空間周波数成分と他の空間周波数成分の平均との強度の比 (Top/Other) を考える。このTop/Otherの値が小さいほど、ジャギーの知覚され度合いが少ないことになる。例として、図5に仮想画素による直線の画像とそのTop/Other値を示す。ただしこの図においては、それぞれ数度以上の傾きの直線を表した画像を、すべて水平になるよう回転させている。



(a) 規則画素配置



(b) 擬似的不規則画素配置 (配置数4)

図4 ジャギーの空間スペクトル (傾き4°の直線の場合)



図5 仮想画素による直線とそのTop/Other値

### 3. ジャギーの知覚される度合いの評価

#### 3.1 有効領域の配置の種類数との関係

本節では、擬似的不規則画素配置を構成する画素の種類数とジャギーの知覚され度合いとの関連を評価した結果について述べる。

有効領域の配置が1種類である規則画素配置と、有効領域の配置を図6のようにそれぞれ4, 9, 16種類の画素を用いる3種類の擬似的不規則画素配置について、傾きが1~45 [deg]の直線に対してTop/Otherを求めた。

結果を図7に示す。なおそれぞれの擬似的不規則画素配置を10回作成し、それぞれのTop/Otherの平均値を求めた。この結果から、規則画素配置よりも不規則画素配置の方がTop/Otherが低いことからジャギーの知覚され度合いが低く、かつ直線の傾きによって変化が小さいことが示された。このTop/Otherの全直線に対する平均値は、画素の種類が4, 9, 16種類の場合でそれぞれ3.70, 3.71, 4.00とな



図6 画素の配置の種類

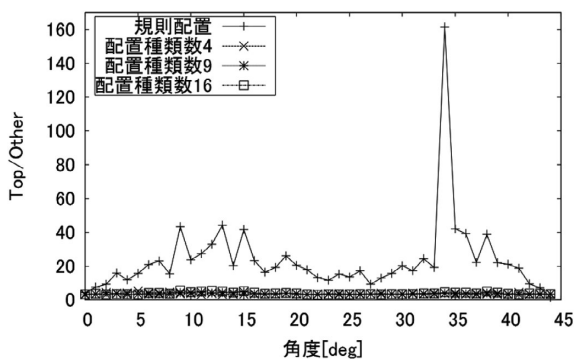


図7 画素の配置種類数別の Top/Other

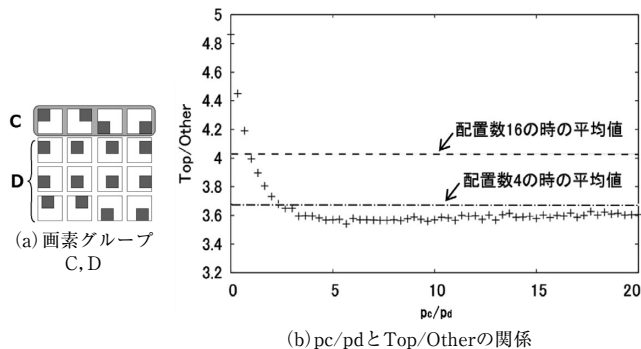


図8 16種類の画素配置中の二つのグループC, D

り、画素の種類が4種類の場合がジャギーの知覚され度合いが最も小さいことが示された。

### 3.2 画素配置の使用頻度

前節の結果から、擬似的な不規則画素配置のうち、画素の種類が16種類の場合ではややジャギーが知覚されやすくなることが示された。この場合の16種類の画素は、画素が4種類の場合と同じ4種類の画素(図8(a)のCグループ)とその他の12種類の画素(Dグループ)に分けられる。前節の結果から、画素が4種類の場合の方がジャギーが知覚されにくいことから、この内Dグループの効果について考察する。このDグループの画素が現れる頻度が低いほど、画素が4種類の場合に近づくこととみなせる。そこで、擬似的な不規則画素配置を作成する際に、16種類の画素のうちグループCとグループDの画素の内一つをそれぞれ選択する確率  $p_c$ ,  $p_d$  を定義する ( $4p_c + 12p_d = 1$ )。この  $p_c$  と  $p_d$  の比  $p_c/p_d$  と、Top/Other の関係を50種類の擬似的な不規則画素配置の平均として求めた結果を図8(b)に示す。この結果から、Cグループの画素が配置される確率をDグループの5倍とすることで、4種類や16種類の画素を均等に選択した擬似的な不規則画素配置よりもジャギーの知覚され度合いが小さくなることが示された。

以下で、この結果を、仮想画素上の有効領域の存在確率の面から考察する。図9のように、画素配置の種類数が増えるごとに画素内で有効領域が存在しやすい場所としにくい場所の差が大きくなる。そのため画素の種類が増えるほど、画素の四隅部分での有効領域の存在確率が相対的に下がり、擬似的な不規則画素配置によるジャギー解消効果が低くなると考えられる。すなわち画素選択時に  $p_c/p_d$  を大きくすることで、画素の四隅部分に有効領域が存在する確率を高くすることができ、その結果ジャギーの解消効果が高まるという、前述の結果と一致する。したがって、ジャギーの影響を低減するには仮想画素内での有効領域の存在確率のばらつきが小さくなるように  $p_c/p_d$  を制御することが効果的であると考えられる。

## 4. むすび

本稿では、画素内で実質的に画像の構成に寄与する有効領域の配置を擬似的に不規則とすることで、ジャギーが知

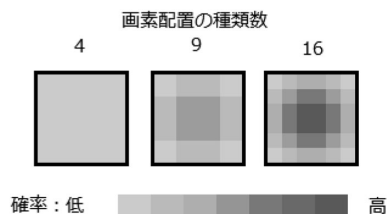


図9 画素内の有効領域の存在確率

覚されにくい擬似的な不規則画素配置において、画素配置の種類数とジャギー解消効果について検討した結果について述べた。その結果、各画素の出現頻度が均一な場合は4種類の場合が最もジャギー解消効果が大きいですが、これより画素の種類数が多い場合でも、画素領域における有効領域の存在確率を均一化することで、より高いジャギー解消効果を得ることが示された。

## 〔文 献〕

- 1) 金澤勝ほか：“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信号への適用”，映情学誌，57，11，pp.1491-1500 (2003)
- 2) 秋田純一，谷越大峰，北川章夫：“擬似的な不規則画素配置をもつ方向特異性のない撮像・表示素子構成の基礎検討”，映情学誌，60，7，pp.1-4 (2006)
- 3) M.F.Deering: "A Photon Accurate Model of the Human Eye", ACM Transactions on Graphics, 24, 3, pp.649-658 (2005)
- 4) 大頭仁，行田尚義：“年齢による字空間周波数特性の変化”，日本眼科学会誌，8，1，pp.32-41 (1987)
- 5) 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会論文誌，13，2，pp.59-67 (June 2011)
- 6) 井崎千尋，秋田純一：“擬似的な不規則画素配置によるジャギー低減のための画素構造の検討”，映情学技報，38，9，pp.41-44 (Feb. 2014)



井崎 千尋 2014年，金沢大学理工学域電子情報学類卒業。2014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。



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，公立ほ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，同大学准教授。2011年，同大学教授。高機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。博士(工学)。正会員。