

# 疑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 (論文小特集 画像の処理と符号化)

著者	Akita Junichi, Tanikoshi Taiho, Kitagawa Akio
雑誌名	映像情報メディア学会誌
巻	60
号	7
ページ	1068-1071
発行年	2006-07-01
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/3540">http://hdl.handle.net/2297/3540</a>

# 疑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

## Image-acquisition-and-display Device Architecture without Directional Singularity using Pseudorandom Pixel Placement

正会員 秋田 純一<sup>†</sup>, 谷越 大峰<sup>†</sup>, 北川 章夫<sup>†</sup>

Junichi Akita<sup>†</sup>, Taiho Tanikoshi<sup>†</sup> and Akio Kitagawa<sup>†</sup>

**Abstract** Conventional image display devices and image acquisition devices consist of regularly located pixels. The pixels are located in a matrix for ease of implementation. Matrix placement of pixels intrinsically has directional singularity in the representation of images. The clarity of represented images is significantly dependent on the directions that objects in the image, such as lines, are facing. For example, horizontal lines are perfectly represented by matrix pixels, while the slanted lines have the jagged edges.

We developed a pseudorandom pixel placement architecture that has no directional singularity in the representation of images, and we evaluated its characteristics and layout implementation.

キーワード：高精細画像，疑似的な不規則画素配置，空間スペクトル，ギザ

### 1. ま え が き

近年の映像情報を中心とするマルチメディア情報システムは、われわれの生活に深く根ざすようになってきた。これらの映像機器が目指すところは、究極のところ、高精細でリアルな映像の撮影および表示であると言える。これらの要求に対し、従来の映像機器の撮像系や表示系は、その解像度を高める方向に発展してきた。しかし撮像系と表示系の高解像度化は、必然的に映像情報量の急激な増加をもたらす。このため、これらの映像機器には、映像情報量を削減するための情報圧縮などを行う信号処理回路系が必須となり、また伝送回路系にも高速動作を要求することとなる。その結果として、回路設計の困難化や消費電力の増大という深刻な問題に直面している。

本稿では、映像が、最終的にわれわれ人間の目が眺めるためのものであることに着目し、画素の疑似的に不規則な2次元配置によって、少ない画素数で高精細な映像を撮影・表現できる撮像・表示デバイスのための画素の構成の基礎的な検討を述べる。



図1 画像の表現の方向特異性  
Directional singularity of image representation.

### 2. 画素配置と画像表現

#### 2.1 規則的な画素配置と方向特異性

従来のほぼすべての撮像系と表示系の画素は、正方格子状に配置されている。画素を六角形格子状に配置することで垂直方向の分解能を等価的に高める撮像素子<sup>1)</sup>もあるが、画素が規則的に配置されている点は変わらない。高精細な映像をつくりだすために、従来の撮像および表示素子は、基本的に高解像度化の道を歩んできた。

一方、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>2)</sup>ため、格子状に配置された画素によってつくられる映像は、われわれの目には格子として知覚されることとなる。このような格子状の規則的な画素配置には、

2006年3月20日受付, 2006年5月18日再受付, 2006年5月31日採録  
<sup>†</sup>金沢大学 工学部

(〒920-1192 石川県金沢市角間町, TEL 076-234-4864)

<sup>†</sup>Dept. of Information Systems Engineering, Kanazawa University  
(Kakuma, Kanazawa, Ishikawa 920-1192, Japan)

画素配置に起因する精細さの方向特異性が根本的に存在する。すなわち図 1 のように、画素配置に平行な水平線と垂直線は完全に直線となるが、斜め線は正方格子の近似配置によって、ギザのある図形となる。特に直線の傾きが小さい場合には、ギザの間隔が広い、すなわちギザの空間周期数が低くなり、われわれ人間の目には非常に目立って知覚される。このように、特に直線などの図形表現の精細さが、方向によって異なるという方向特異性は、高精細な画像を表現するための大きな制限要因であるにもかかわらず、高解像度化によっても根本的な解決は不可能である。

## 2.2 疑似的な不規則画素配置と画像表現

以下では、画像を構成する画素のうち、画素の有効領域、すなわち撮像素子の受光部あるいは表示素子の表示部分が、画素の一部のみを占めることに着目し、図 2(a) のように、画素の有効領域の位置が異なる 4 種類の画素を用意することを考える。この画素のうちの一つを、図 2(b) のように格子状に規則的に並べると、通常の規則的な画素配置が得られる。画素内の有効領域の位置を無作為に変位させることで、疑似的に不規則な、有効領域の 2 次元配置が得られる<sup>3)4)</sup> が、このような配置を撮像・表示素子として設計、製造することは極めて困難である。そこで、この 4 種類の画素を格子状に並べる際に、用いる画素を図 2(c) のように無作為に選択する方法を考える。この配置において、画素の有効領域に着目すると、疑似的に不規則に並んだ 2 次元配置となると考えられる。このような疑似的な不規則な有効領域の配置は、その空間スペクトルがホワイトノイズ状であり、またわれわれ人間の目の網膜の受光細胞の空間分布と似ているため、格子状の規則的な画素配置で問題となる方向特異性の問題が解決され、高精細な映像の撮影、表現に有効であると考えられる。

なお不規則な画素配置では、格子状の規則的な画素配置では完全な直線として表現される水平線や垂直線でも、微小なギザが現れることになる。しかし画素の間隔は、例えば、一般的な液晶ディスプレイで 0.3mm 程度であり、これはディスプレイを 60cm の距離から眺める場合の視野角では約 0.03 度となる。これは人間の目の限界分解能である 0.02 度<sup>5)</sup> と同程度であるため、この微小なギザは人間の目には知覚されにくく、画像の精細さに対する影響は少ないと考えられる。一方、人間の目の感度が最大の半分以上となる視野角は約 0.08~1 度である<sup>5)</sup> ことから、特に規則的な画素配置による傾きの小さい直線の表現などで現れやすい、視野角がこの範囲にあるギザは、人間の目には強く知覚されることになる。また多値画像では、境界に対する中間調表現によるスムージングによってギザを目立ちにくくすることができるが、格子状の規則的な画素配置がもつ図形表現の精細さの方向特異性は根本的には解決されない。不規則な画素配置は多値画像にも適用可能であり、方向特異性の問題のない、より高精細な画像表現が可能であると考えられる。

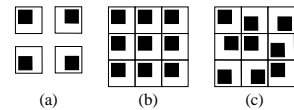


図 2 画素の配置 (黒色が有効領域)。(a) 単位画素, (b) 規則的な画素配置, (c) 疑似的な不規則画素配置  
Pixel placement. (a)Unit pixel, (b)Regular placement, (c)Pseudo-random placement.

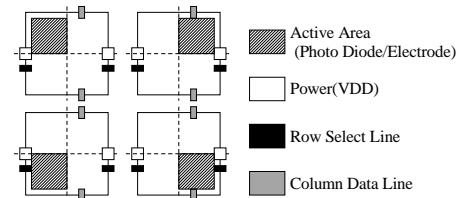


図 3 単位画素の回路レイアウト  
Layout of unit pixel.

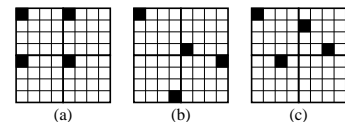


図 4 仮想画素と有効領域の配置。(a) 規則的配置, (b) 疑似的な不規則配置, (c) 不規則配置義  
Active area placement. (a)Regular, (b)Pseudo random, (c)Random.

なおこのような画素構成を持つ撮像・表示素子の実現にあたっては、これら 4 種類の画素が、どの順序で配置しても互いが正しく電気的に接続される必要がある。これは、全画素に必要な配線である電源線、行選択線、列データ線などを図 3 のように同一箇所配置することで実現される。

## 3. 画像の表現能力の評価

### 3.1 画素配置の空間スペクトル

まず 2.2 節で述べた、4 種類の画素を用いて得られる有効領域の疑似的な不規則配置の特性の評価を行った。

なお以下では、画素の配置自体を評価の対象とするために、簡便のため 2 値画像を用いて評価を行う。

256×256 画素の白画像の中に、仮想的に一つの画素に見立てる 4×4 画素の領域 (仮想画素) を 64×64 個形成する。この仮想画素の中に、有効領域に見立てる一つの黒画素を配置し、この有効領域の配置の空間スペクトルを求める。図 4 のように、すべての仮想画素内の左上に有効領域を配置した「規則的配置」、仮想画素内の有効領域の位置を 4 通り用意し、その順序を乱数で選択して生成した「疑似的な不規則配置」、および同数の有効領域を、仮想画素とは無関係に白画像内に乱数で配置した「不規則配置」の 3 通りの画像を作成し、その空間スペクトルを求めた結果を図 5 に示す。この結果から、有効領域の位置のみが異なる 4 種類の画素を不規則な順序で配置して得られる、疑似的な不規則配置は、ほぼ理想的な不規則配置とみなすことができるといえる。

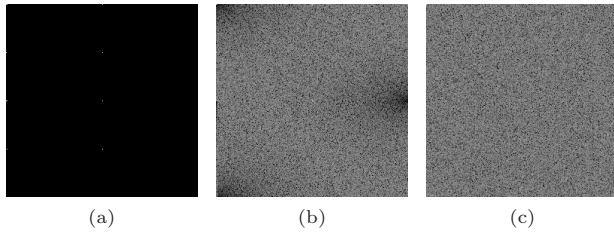


図 5 各画素配置のパワースペクトル。(a) 規則配置, (b) 疑似的な不規則配置, (c) 不規則配置  
Power spectrum of each pixel placement. (a)regular, (b)pseudo random, and (c)random.

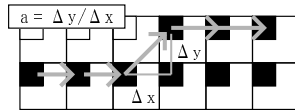


図 6 直線端部の局所的な傾き  $a$  の定義  
Local slope of line edge,  $a$ .

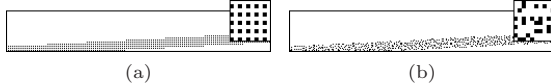


図 7 傾き 3 度の直線の表現, およびその一部を拡大したもの.  
(a) 規則画素配置, (b) 疑似的な不規則画素配置.

Representation of line with slope of 3 degrees, including magnified figure. (a)regular pixel placement, (b)pseudo random pixel placement.

### 3.2 直線の表現

続いて, 規則的配置の画素による画像表現において特にギザが目立ちやすい, 傾きの小さい直線の表現の評価を行った. この直線のギザを表す指標として, 図 6 のような直線端部の局所的な傾き  $a = \Delta y / \Delta x$  を考える. 規則的な画素配置によって表現された傾きの小さい直線では, この  $a$  は, 直線の傾きに応じて, 数画素ごとに 0 でない値をとる. すなわち,  $a$  の画像内での位置に対する変化のスペクトルには, 変化の周期の長い低周波成分が強く存在し, これが人間の目には画像のギザとして強調されて知覚されることになると思われる.

512×512 画素の白画像に 2×2 画素の仮想画素を用意し, その仮想画素内の同一箇所有効領域を配置した「規則配置」, および 4 種類の有効領域の配置順序を乱数で選択する「疑似的な不規則配置」を生成した. この両者に傾き 3 度, 仮想画素 5 個分の幅をもつ直線を描き, 有効領域がこの直線に含まれる仮想画素のみの有効領域を黒とした画像を作成した. 両者の直線部分の, 横に仮想画素 128 個分を抜き出したものを, その一部の拡大図とともに図 7 に示す.

この図 7 を, 紙面より 40cm の距離から眺めた状態での仮想画素の間隔の視野角を, 図 7 の大きさから求めると約 0.04 度となる. 前述のように, 人間の目が強く知覚するのは視野角で約 0.08 ~ 1 度である<sup>5)</sup> ことから, この状態では, 視野角がこの範囲にある, 仮想画素で 2 ~ 25 画素ごと, すなわち画像の空間周波数で約 10 ~ 128 サイクルの成分が, ギザとして強く知覚されることになる.

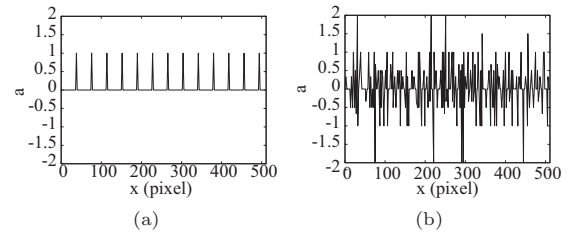


図 8 直線の端部の局所的な傾き  $a$  の変化. (a) 規則画素配置による直線, (b) 疑似的な不規則画素配置による直線  
Trend of Local slope of line edge,  $a$ . (a)regular pixel placement, (b)pseudo random pixel placement.

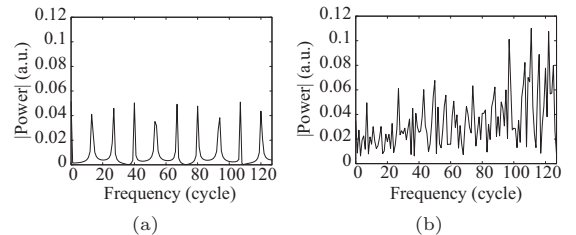


図 9  $a$  の変化のスペクトル. (a) 規則画素配置による直線の  $a$ , (b) 疑似的な不規則画素配置による直線の  $a$   
Spector of  $a$  trend. (a)regular pixel placement, (b)pseudo random pixel placement.

両者の表現によるこの直線の, 直線端部の局所的な傾き  $a$  の変化を図 8 に, またそのスペクトルを図 9 に示す. 図 9(a) の規則画素配置による表現では, 人間の目に強く知覚される範囲内の約 13 サイクル (約 20 仮想画素ごと) の成分が強く存在し, これが人間の目に強く知覚されることになる. 一方, 図 9(b) の疑似的な不規則画素配置による表現では, このようなギザに相当する成分の付近にも, 同程度の強度の成分が多数存在し, 相対的に特定の周波数成分のギザが目立ちにくいことがわかる. この付近の周波数成分と, その周辺の他の周波数成分のスペクトル強度比は, 規則画素配置による表現ではおよそ 1:40, 疑似的な不規則画素配置による表現ではおよそ 1:3 となった.

### 4. む す び

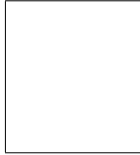
本稿では, 人間の目の網膜上の受光細胞の分布特性に着目し, 疑似的に不規則な画素配置をとることで, 精細さの方向特異性のない, 高精細な映像の撮影・表示が可能な画素構成を対象とし, その空間配置特性および画素設計の基礎的な指針を述べた. 例として傾きの小さい直線の表現に対して評価を行い, 規則的な画素配置で目立ちやすいギザの評価では, 疑似的な不規則画素配置による表現によってギザが目立ちにくくなり, したがって方向特異性がなく高精細な画像が撮影・表現できる可能性が示された.

### 〔文 献〕

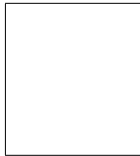
- 1) T.Yamada *et al.*: "A progressive CCD image sensor for DSC applications", IEEE J. of Solid-State Circuits, 35, 12, pp.2044-2054 (Dec. 2000)
- 2) M.F.Deering: "A Photon Accurate Model of the Human Eye", ACM Transactions on Graphics, 24, 3, pp.649-658 (2005)
- 3) M.Markus: "Modeling morphogenetic processes in excitable tis-

sues using novel cellular automata”, Biomed. Biochim. Acta., 49, pp.681-696 (1990)

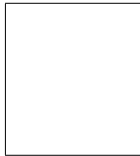
- 4) M.Markus, Z.Nagy-Ungvarai and B.Hess: “Phototaxis of Spiral Waves”, Science, 257, pp.225-227 (1992)
- 5) 大頭, 行田: “年齢による時空間周波数特性の変化”, 日本眼光学会誌, 8, 1, pp.32-41 (1987)



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. 博士(工学). 集積回路, 特に Vision Chip などのアナログ並列処理系アーキテクチャと, 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.



たにこし たいほう  
**谷越 大峰** 2005年, 金沢大学工学部情報システム工学科卒. 現在, 同大学院自然科学研究科電子情報工学専攻博士前期課程在学中. 集積回路およびその応用システムに関する研究に従事.



きたがわ あきお  
**北川 章夫** 1987年, 名古屋工業大学大学院工学研究科電気情報工学専攻修士課程修了. 1989年, 金沢大学工学部助手. 1995年, 金沢大学工学部助教授. 1999年, 東京大学大規模集積システム設計教育研究センター助教授. 2001年, 金沢大学大学院自然科学研究科助教授. 工学博士. 集積回路, 特に集積化センサ, 無線通信LSIに関する研究に従事.