

J_047

視覚特性を考慮した誤差拡散法によるディスプレイの高階調化

An Adaptive Error Diffusion Method for High Gradation Display Based on Human Visual Sensitivity

山本 和秀†
Kazuhide Yamamoto

黒木 修隆†
Nobutaka Kuroki

沼 昌宏†
Masahiro Numa

1. まえがき

テレビやパソコンに用いられるディスプレイは、CRT (Cathode Ray Tube: 陰極線管) から FPD (Flat Panel Display) へと移行が進んでいる。FPD の利点としては大型化・薄型化が容易な点が挙げられるが、一方でデジタル制御ゆえの階調不足の問題がある。そこで、離散的な階調の間を表現する技術として誤差拡散法が広く用いられている。誤差拡散法は本来のディスプレイの階調数を数倍に拡張できる優れた擬似階調表現手法であるが、出力画像に周期的なテクスチャが生じることや [1], 視距離によってその効果に差が表れることから、誤差の配分係数の設計が難しい。

本論文では、誤差拡散法において従来よりも視覚上の階調数を改善できる量子化誤差の配分係数を提案する。さらに人間の視覚特性 (アイモデル) を用いた客観的画質評価を行うことにより、提案手法の有効性を定量的に評価する。

2. 誤差拡散法

2.1 誤差拡散法の原理

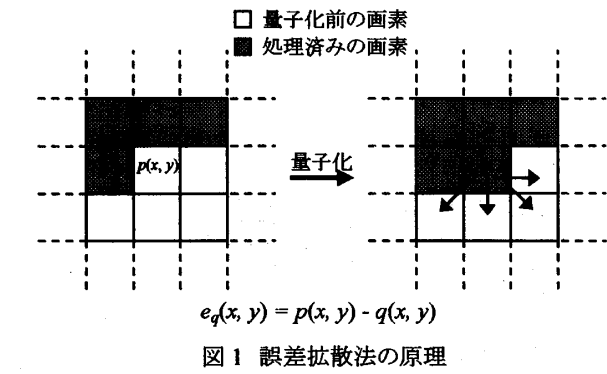
誤差拡散法の原理は図1に示すように、注目画素の量子化誤差を周辺画素に配分することで、量子化誤差による画質劣化の影響を軽減する。通常、入力画像に対する処理はラスタ走査順で行われる。入力値を $p(x, y)$ 、出力値を $q(x, y)$ とする時、量子化誤差 $e_q(x, y)$ は

$$e_q(x, y) = p(x, y) - q(x, y) \quad (1)$$

となり、この値に係数で重みを付けて周囲の画素に配分する。そして配分を受けた画素の値 $p(x, y)$ を更新し、同様の処理を画像全体に繰り返す。

2.2 配分係数

誤差拡散法における量子化誤差の配分係数は従来より様々な手法が提案されている。その中でも最も一般的な



† 神戸大学工学部

配分係数の例として、図2に示す Floyd & Steinberg 型や Jarvis 型の配分係数が挙げられる。これらの配分係数は一定の高品質な画像を生成することが可能であるが、出力画像に周期的なテクスチャが発生するなどの欠点がある。また、これらの他にも多くの配分係数が提案されているものの、それらの優劣は主観的な判断による所が大きい。

3. 視覚特性を考慮した誤差拡散法

最も良い配分係数とは、原画像と処理画像との視覚的な誤差量を最小にする係数であると考えられる。そこで本論文では様々な配分係数に対して、視覚特性に基づく画質評価を行う。

3.1 配分係数の構成

まず提案手法の配分係数の構成を図3に示す。現フレームに対する配分係数を $g(i, j)$ 、次フレームに対する配分係数を $g_{A1}(i, j)$ と表す。本手法では、量子化誤差を空間方向4画素だけでなく次フレーム5画素にも配分する。さらに従来手法とは異なり、隣接する画素間・フレーム間において正負の符号を反転するよう配分係数の値を決定する。

この構成の一つ目の効果としては、配分係数の符号を交互に配置することにより、隣接する画素間・フレーム間で量子化誤差を振動させることができる。その結果として、人間の眼の錯覚により中間調を表現できると考えられる。二つ目の効果としては、配分係数の二つのフレームを重ね合わせると、フレーム間の相互作用により正負の符号が互いに打ち消され、次フレームの中心1画素に多く量子化誤差を配分することになる。量子化誤差をあまり広範囲に拡散することは画像がぼやける原因になる

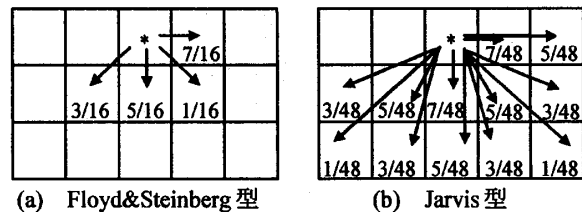


図2 従来の配分係数の構成

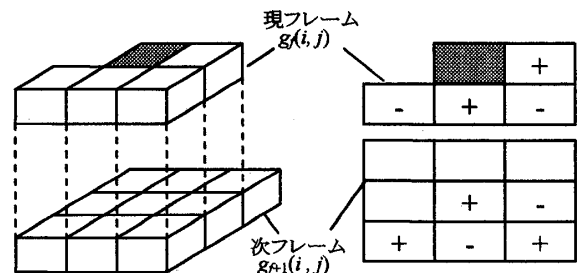


図3 提案手法の配分係数の構成

ため、この構成により画像劣化を抑える効果があると考えられる。

3.2 アイモデルに基づく配分係数の算出方法

人間の視覚特性には、図4のように空間方向・時間方向の周波数成分に対して BPF のような特性があることが知られており、この特性 $H(s, f)$ をアイモデルと呼ぶ [2]。これは特に高周波数領域に存在する誤差や歪みは視覚的に知覚されにくいという特性を表している。

これを図5のように原画像と処理画像との誤差成分 $E(s, f)$ にフィルタリングすることで、人間の眼に知覚される可視誤差量 (E -MSE) power/pixel を

$$E-MSE = \frac{1}{N_1 \cdot N_2} \sum_u \sum_v \left\{ |E(s, f)|^2 \cdot H(s, f) \right\} \quad (2)$$

のように算出できる [3]。そして配分係数の値を変化させながらこの画質評価を行うことで、視覚誤差を最小とする配分係数を探索する。ただし式 (2) では輝度成分のみが扱われており、色差信号に対する評価は含まれていない。

4. 評価実験と考察

4.1 予備実験

3.3 節の算出方法により配分係数を決定する。評価には標準画像 (サイズ: 256×256 , RGB 各: 8 bit) を用いた。またディスプレイのドットピッチを 0.255 mm, 視距離を 200 cm と設定してアイモデル関数 $H(s, f)$ を決定した。

この実験により求めた配分係数は、

$$g_f(i, j) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 \end{pmatrix}, \quad g_{f+1}(i, j) = \frac{1}{\lambda} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\lambda \approx 2.0 \quad (4)$$

となった。現在のフレーム $g(i, j)$ には右、下、右下の3画素にのみ誤差を配分し、左下の画素には配分しない結果

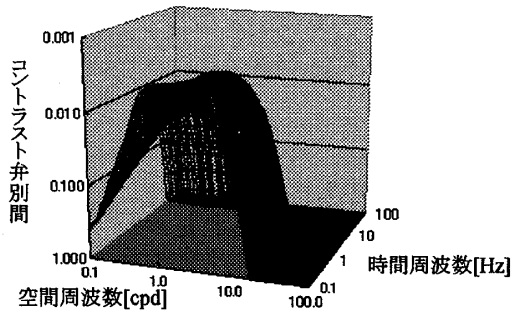


図4 視覚の時空間周波数特性

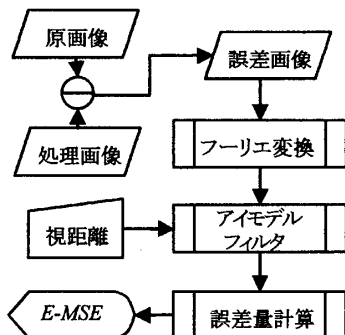


図5 画質評価アルゴリズム

表1 視覚上の階調数 K [bit] (出力階調 2 bit)

手法	視距離		
	30cm	100 cm	200 cm
単純量子化	2.0	2.0	2.0
Floyd & Steinberg 型	2.12	3.78	4.61
提案手法	2.55	5.2	6.72

となった。また次フレームの配分係数 $g_{f+1}(i, j)$ には現在のフレームと逆符号の係数を用い、全ての係数を一定の値 λ (≈ 2.0) で割ることで最も良い結果が得られた。これは次フレームに量子化誤差を多く配分しすぎると時間方向に量子化誤差が蓄積され、発散してしまう危険性があるためである。そこで時間方向への誤差の配分を抑えることで量子化誤差の収束を早めることができる。

4.2 画質評価実験

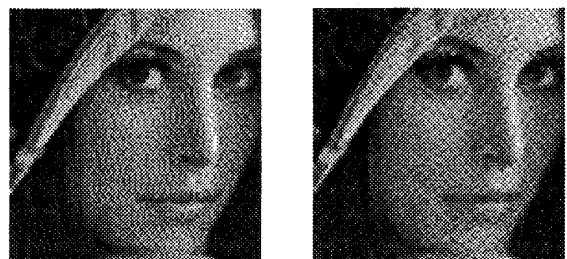
画質の評価結果を表1, 出力画像を図6に示す。視覚上の階調数 K は、その値で単純量子化を行えば同じ E -MSE が得られる値とした。この結果より、本手法は最大でディスプレイの出力階調数を 4 bit 以上引き上げられることがわかった。また従来手法と比べても約 0.4~2.1 bit 高い階調数を得られた。ただし、視距離 30 cm 程度の近距離を想定した場合では従来手法とほぼ同等の階調数となった。これは近距離の場合では量子化誤差の振動によるノイズを知覚しやすいためと考えられる。従って、本配分係数は比較的ディスプレイから離れて鑑賞する場合に適した係数だと考えられる。

5. まとめ

本研究では、高階調な映像をディスプレイに表示することを目的とし、誤差拡散法における配分係数を新たに提案した。その結果、従来手法に比べて多くの中間調が表現可能となり、最大で 4 bit 以上の階調数の改善が確認できた。今後の課題としては出力画像の色ずれを評価することが挙げられる。

参考文献

- [1] K. T. Knox, "Evolution of error diffusion", *J. Electronic Imaging*, vol. 8, no. 4, pp. 422-429, October, 1999.
- [2] D. H. Kelly, "Motion and vision. II. Stabilized spatio-temporal threshold surface", *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 69, no. 10, pp. 1340-1349, Oct. 1979.
- [3] 小森充朗, "デジタル・ディスプレイにおける誤差拡散法の一評価方法", 電子情報通信学会エレクトロニクスサイエティ大会, C-9-3, 2002年9月.



(a) Floyd & Steinberg 型 (b) 提案手法

図6 出力画像