

多重解像度解析を用いた非写実的画像生成

1 F - 0 1

白倉健太郎 瀬川大勝† 斎藤隆文‡

東京農工大学大学院工学研究科電子情報工学専攻

†東京農工大学総合情報処理センター

‡東京農工大学工学部情報コミュニケーション工学科

1. はじめに

何かを説明したり表現するときに、イラストや絵画の方が写真よりも効果的な場合が多々ある。何らかの情報を伝えるというときに、画像の特徴部分などを強調・誇張することで、情報の送り手がある程度の抽象化を行うことにより、受け手に情報をより分かりやすく伝えることができる。この非写実的画像生成 (Non-Photorealistic Rendering) の研究が近年盛んに行われている。

これまでの既存研究を見てみると、ストロークベースによる描画手法が大半を占めていた。実際の画家や芸術家による伝統的な描画技法を分析、模倣、パターン化して実装してきた。例えばペン画調表現において、Winkenbach ら [1] と Salisbury ら [2] は、白地に黒の細いストロークの組合せで描くことにより、エッジの描画を行っている。また、面の濃淡をテクスチャの線密度や点密度の違いで表現している。

本研究では新しい試みとして、ストロークを使わずに、多重解像度解析を用いたアプローチから非写実的画像生成、特にペン画調や水墨画調表現を試みる。エッジは高周波成分に多く存在し、面の濃淡は低周波成分に多く存在することに着目した手法である。既存の絵画表現の模倣というよりむしろ、新しい表現への可能性を探る。

2. 帯域分解を用いたペン画調表現

2.1 原理

帯域分解によるペン画調表現の原理は、以下のとおりである。ペン画調表現では、エッジ部分を黒い線で描くことが基本となる。これは、画像の高周波成分を取り出し、明暗を強調して大半の画素を白か黒に飽和させることで、近似的に実現できる。ただし、それだけでは面の濃淡が表現できないため、低周波成分もある程度は必要である。そこで、原画像を帯域分解し、高周波成分ほど重みを大きくして再合成することで、面の濃淡を反映したペン画調 CG が得られる。

2.2 実装

帯域分解には、Gaussian フィルタを用いる。フィルタサイズを $\sigma=1, 2, 4, 8, 16, 32$ と変えて適用することで、解像度の異なる平滑化画像を得る。

図 1 に処理の過程を示す。図 1 の再合成結果は、高周波成分をやや強調したもの (重みは高周波側から、 $2^3, 2^2, 2^1, 2^0, 2^{-1}, 2^{-2}$) である。ペン画調にする場合には、より強い強調を行い、ほとんどの画素値を飽和させる。

2.3 結果

図 2 に結果の一例を示す。原画像は図 1 と同じである。(a) は、高周波側に 1 段進むごとに重みを $\sqrt{2}$ 倍したものである。エッジが黒い線で描画され、面の濃淡も表現されている。しかし、木の幹や手前のプリンターなど、暗い部分が真黒に塗りつぶされ、この部分の面の詳細情報が失われている。一方 (b) は、高周波側に 1 段進むごとに重みを 2 倍とし、よ

Non-Photorealistic Rendering Based on Multi Resolution Analysis
Kentaro SHIRAKURA, Hirokatsu SEGAWA, Takafumi SAITO
Division of Electronic and Information Engineering, Graduate School of Technology, Tokyo University of Agriculture and Technology

† General Information Processing Center, Tokyo University of Agriculture and Technology

‡ Department of Computer, Information and Communication Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology

り強い強調を行ったものである。低周波成分が抑えられ、暗い面の詳細も表現されている。しかしながら、歩道の右側の植え込み部分などを見ると、大域的な輝度変動が抑えられ、低木の形状がわかりにくくなっている。

このような結果になる理由としては、以下の原因が考えられる。図2(a)で黒くつぶれた部分も、(b)で輝度変動が抑えられた部分も、いずれも画像の低周波成分が大きく関与している。しかし、(a)は周囲との輝度差が大きいものに対して、(b)は輝度差が小さいため、双方を同時に表現することが困難となる。

3. 輝度分散に依存した低域通過フィルタ

3.1 原理

本章では、前章の方法の欠点を解消するために、新しい帯域分解手法を提案する。図2において、輝度差の大きい部分は(b)の表現、小さい部分は(a)の表現が適切である。これを実現するには、同じ解像度帯域であっても、輝度の変動の大小に応じて強調の度合い(再合成のときの重み)を変える必要がある。そのための一方法として、輝度の変動の大きい成分はより低周波側に分解されるような、非線形な帯域分解が考えられる。

高ダイナミックレンジ画像のコントラスト低減のために考案された LCIS [3] は、この性質を満たす帯域分解が可能である。例えば、図3に示すような輝度変化があった場合、Gaussian フィルタでは、輝度差の大小にかかわらず、急激な変化はすべて高周波成分に分類される。これに対し LCIS では、輝度差の大きなエッジは低周波成分に、輝度差の小さな表面テクスチャは高周波成分に、それぞれ分類される。しかし、LCIS ではパラメータの意味が不明確であり、また反復計算が必要なために計算時間がかかる。

そこで、これと似た効果を得るために、Gaussian などの平滑化フィルタを用い、そのフィルタサイズを輝度分散に応じて可変とする新手法 [4] を提案する。平滑化フィルタを適用した場合、適用後のある画素値と、その画素値を求めるために用いた原画

像の画素値との差分の2乗和を、その画素の輝度分散と定義する。この輝度分散は画素ごとに異なり、またフィルタサイズが大きくなると増加する。そこで、輝度分散が一定値 ϵ となるように、画素ごとにフィルタサイズを変えて、平滑化を行う。 ϵ を何段階かに変えて平滑化を行うことにより、高解像度から低解像度までの帯域分解ができる。

3.2 理論

原画像を $f(x, y)$ とする。

また、線形平滑化フィルタを $w(u, v; s)$ とする。ただし、 s は影響範囲の大きさ(フィルタサイズ)であり、 w は次の条件を満たすものとする。

$$1. \iint w(u, v; s) du dv = 1$$

→ 重みの総和が1であること

2. 任意の k に対して、

$$w(u, v; s) \geq w(ku, kv; s)$$

→ フィルタの中心から外側に行くとき、重みは同じか小さくなる

3. 任意の $k > 0$ に対して、

$$w(ku, kv; ks) = 1/k^2 \cdot w(u, v; s)$$

→ s を変化させると、フィルタは相似形のままサイズが変わる

ここで用いた線形平滑化フィルタ $w(u, v; s)$ を原画像 $f(x, y)$ に適用することにより、平滑化画像

$$F(x, y; s) = \iint W(u, v; s) f(x+u, y+v) du dv$$

を得る。

このとき、フィルタ内の各点での平滑化結果からの偏差を

$$F(x, y; s) - f(x+u, y+v)$$

とすると、偏差の重み付き2乗和が

$$D(x, y; s) = s^2 \iint \{w(u, v; s)(F(x, y; s) - f(x+u, y+v))^2\} du dv$$

と定まる。

偏差の2乗和が ϵ であるような s を求める逆関数

D^{-1} を求める.

$$D^{-1}(x, y; \varepsilon) = s$$

すなわち,

$$D(x, y; s) = \varepsilon$$

である.

ここで, 定数 ε を定め, 画像ごとに D^{-1} によってフィルタサイズを変えることにより, low-pass に相当する画像

$$L(x, y; \varepsilon) = F(x, y; D^{-1}(x, y; \varepsilon))$$

が求まる.

ここで, 逆関数 D^{-1} が存在することを証明する. そのためには, $D(x, y; s)$ が s に関して単調増加 (非減少) であることを示せばよい.

最初に, $k > 1$ のときに

$$D(x, y; s) \leq D(x, y; ks)$$

であることを示す. まず,

$$G = \iint W(u, v; s) (E - f(x+u, y+v))^2 duds$$

において, E を変化させたときに G が極小となる必要条件是,

$$\partial G / \partial E = 0$$

である. ここで,

$$\begin{aligned} \partial G / \partial E = 2E - 2 \iint \{ & w(u, v; s) \\ & \cdot f(x+u, y+v) \} duds \end{aligned}$$

であるから,

$$E = \iint W(u, v; s) f(x+u, y+v) duds$$

となる. これにより, E は一意に求められるから, このとき G は最小値となる. すなわち,

$$\begin{aligned} & s^2 \iint \{ w(u, v; s) (F(x, y; s) - \\ & f(x+u, y+v))^2 \} duds \\ & \leq s^2 \iint \{ w(u, v; ks) (F(x, y; ks) - \\ & f(x+u, y+v))^2 \} duds \end{aligned}$$

となり, また,

$$\begin{aligned} k^2 s^2 w(u, v; ks) &= s^2 w(u/k, v/k, s) \\ &\geq s^2 w(u, v; s) \end{aligned}$$

であるから,

$$\begin{aligned} & s^2 \iint \{ w(u, v; s) (F(x, y; ks) - \\ & f(x+u, y+v))^2 \} duds \\ & \leq (ks)^2 \iint \{ w(u, v; ks) (F(x, y; ks) - \\ & f(x+u, y+v))^2 \} duds \end{aligned}$$

となる.

$$D(x, y; s) \leq D(x, y; ks)$$

が言えたので, 逆関数 D^{-1} が存在することが証明された.

3.3 計算機における実装

逆関数 D^{-1} は, 簡単には求められない. そこで, 平滑化画像 $F(x, y; s)$ を離散的に変えて求めておき, ε との評価から線形補間によりフィルタサイズを求める. 具体的には, 平滑化フィルタを適用したある画素の画素値を $F(x, y; s')$ (ただし, s' は未知である) として, 次のような式によって求める.

$$F(x, y; s') = (1-l)F(x, y; s_i) + lF(x, y; s_{i+1})$$

ただし, i は i 番目の平滑化画像を示す添字であり, フィルタサイズ s_i は i に関して単調増加になるように定める. なお,

$$l = \frac{\log \varepsilon - \log D(x, y; s_i)}{\log D(x, y; s_{i+1}) - \log D(x, y; s_i)}$$

である.

3.4 結果

図 5 に, 帯域分解の過程を示す. 植え込みのテクスチャが主に高解像度成分に入っているのに対し, 輝度差の大きい建物上部のエッジは中程度の解像度に多く含まれている. 図 1 ではこれらが共に高解像度成分に入っていたことから, 図 5 では輝度分散による違いが反映されていることがわかる.

輝度成分に依存した多重解像度解析を用いてペン画調 CG を作成した結果を, 図 6 に示す. 2.3 節で述べた図 2 の欠点は解消され, 暗部も輝度変動の少ない部分も共に改善されていることがわかる.

4. 低周波強調による水墨画調表現

2, 3章とは逆に, 低周波成分を強調して再合成する場合について, 考察する.

輝度分散に依存した帯域分解を行い, 低周波ほど重みを大きくして再合成した画像の一例を, 図7に示す. これは, 太いストロークで濃淡をつけて描かれる点が, 水墨画と似ている.

人が水墨画を描くとき, まず明確なエッジをシャープに描き, 次に細かいテクスチャなどは大雑把に描くという傾向がある. このため, Gaussian フィルタよりも, 輝度分散に依存したフィルタを用いることが, より自然と考えられる. Gaussian フィルタの場合, 低周波域は平滑化フィルタの大きいサイズが適用されているので, 細かいテクスチャ部分もちろん, 段差の大きいエッジでさえも重みの値によっては失われてしまい, 識別が難しくなる. これに対し, 輝度分散に依存してフィルタサイズを変えた場合, 細かいテクスチャ部分は情報が無くなるにしても, 段差の大きいエッジなどの重要な部分は, 小さいフィルタサイズを適用することで, 情報がしっかりと保存される.

ただし, どちらのフィルタを使った場合でも, 結果は重みの設定次第で大きく変化する. このため現時点では, 適切な重み付けの方法も, フィルタの違いによる結果の優劣も, まだ十分な結果が得られていない.

5. おわりに

ストロークを使わずに, 多重解像度解析を用いて非写実的画像生成を行った.

ペン画調において, 単純な Gaussian フィルタによる手法では, 詳細な濃淡情報と明暗部分でのテクスチャが一度に表現できないのに対し, 提案した輝度分散に依存した低域通過フィルタを用いることに, 画像全体を明瞭に表現することができた.

また, 低周波強調を行うことで, 完全ではないが水墨画風の画像を生成した.

今後の課題として, 帯域通過フィルタと重みの相関関係の詳細な分析と, それ以外の絵画調表現の作成が挙げられる.

参考文献

- [1] G.Winkenbach, D.H.Salesin. Computer-Generated Pen-and-Ink Illustration, Proc.SIGGRAPH 94, pp.91-100, (July 1994).
- [2] M.P.Salisbury, S.E.Anderson, R.Barzel, D.H.Salesin. Interactive Pen-and-Ink Illustration, Proc.SIGGRAPH 94, pp.101-108, (July 1994).
- [3] J.Tumblin, G.Turk. LCIS: A Boundary Hierarchy For Detail-Preserving Contrast Reduction, Proc.SIGGRAPH 99, pp.83-90, (August 1999).
- [4] 瀬川大勝, 斎藤隆文. ダイナミックレンジ圧縮のための階層的画像表現, 画像電子学会ビジュアルコンピューティングワークショップ, (September 1999).

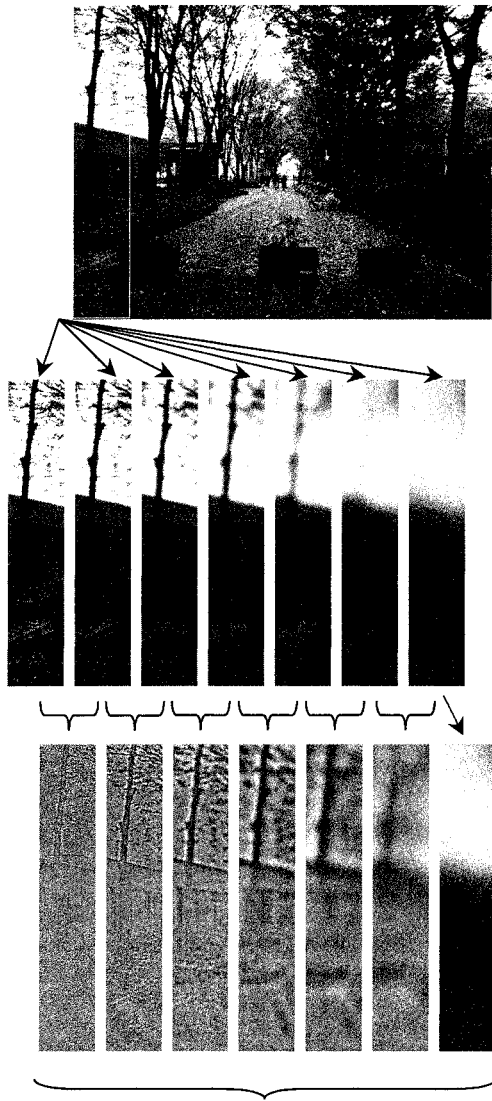


図 1 Gaussian フィルタによる多重解像度解析

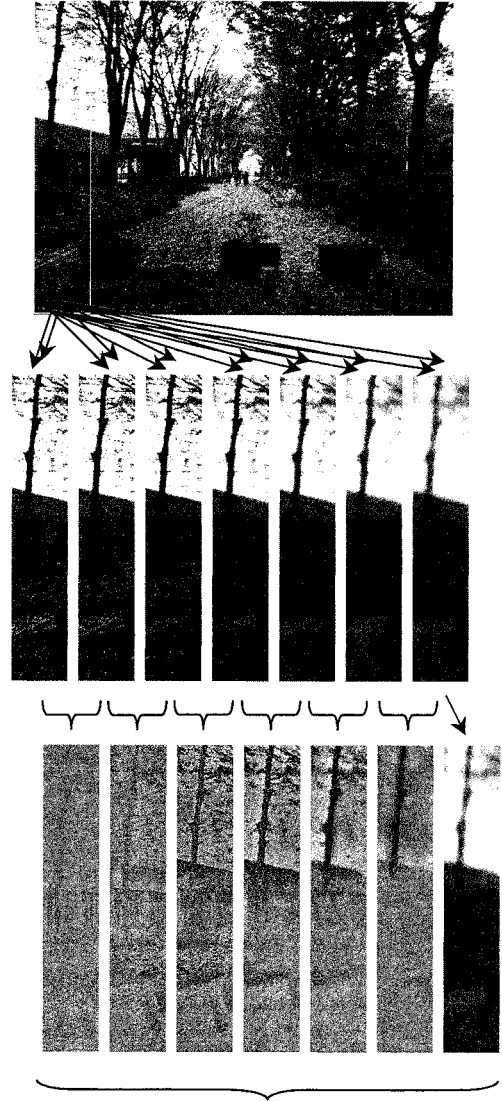


図 5 輝度分散に依存した低域通過フィルタによる多重解像度解析

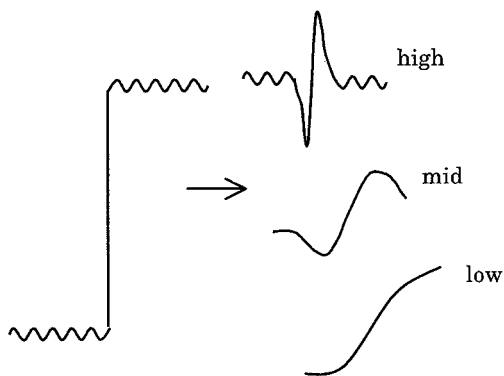


図3 Gaussian フィルタによる帯域分解

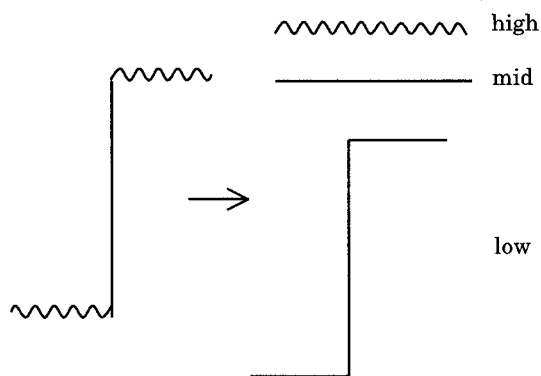


図4 LCIS による帯域分解



(a) 重み: $2^{5.5}, 2^5, 2^{4.5}, 2^4, 2^{3.5}, 2^3$

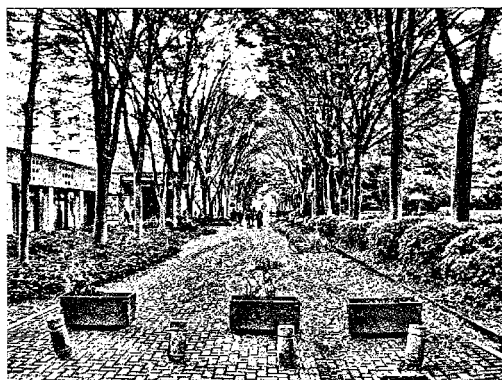
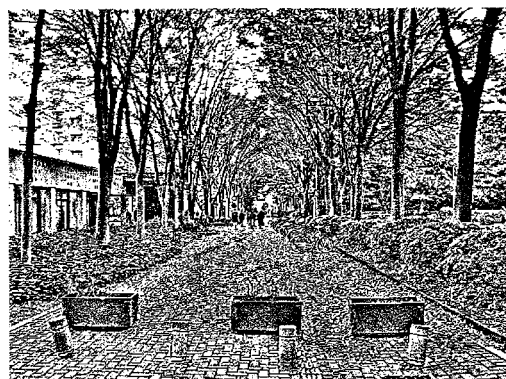


図6 輝度分散に依存した手法によるペン画調 CG
重み: $2^7, 2^6, 2^5, 2^4, 2^3, 2^2, 2^1, 2^0$



(b) 重み: $2^7, 2^6, 2^5, 2^4, 2^3, 2^2$

図2 Gaussian フィルタによるペン画調 CG



図7 輝度分散に依存した手法による水墨画調 CG
重み: $2^1, 2^2, 2^3, 2^4, 2^5, 2^6, 2^7, 2^8$