

カラー画像を対象とした近似加算器を用いた 画像鮮鋭化ハードウェアの評価

請園智玲[†] 福田結菜[†] 佐藤寿倫[†]

福岡大学[†]

1. はじめに

労働人口減少の対策として人工知能 (AI: Artificial Intelligence) の活用が注目を浴びている。特にトラックドライバーの人材不足が物流に影響を及ぼし、将来的な経済成長の妨げが懸念されるなか、ディープラーニングによる画像認識によって、既存の自動運転技術を洗練させる研究に期待が集まっている。ディープラーニングの一つである畳み込みニューラルネットワーク (CNN) は高い画像認識能力をもつことが知られている。しかしながら、CNN の畳み込み層では、特徴マップを生成する際に必要とされる畳み込み演算で相当の計算量が必要とされる。蓄電池で駆動する電化自動車などにとっては、この畳み込み演算で消費する電力は将来的に問題となる可能性がある。このことから、本研究は畳み込み演算の消費電力に着目した。

2. 先行研究

本研究には関連性が高い先行研究がある [1]。先行研究は低消費電力化が可能である可変精度の近似加算器を畳み込み演算に適用した場合の電力消費を評価している。先行研究のなかで、評価対象とした畳み込み演算を用いる画像処理アルゴリズムが画像鮮鋭化処理である。

画像鮮鋭化処理は入力画像に後述するガウスぼかし処理を施した後に、そのぼかし画像と元画像の差分値を元画像の画素値に足し合わせることで、入力画像の輪郭部を濃く表現し、より鮮明な印象の画像を出力できる。ガウスぼかし処理はガウシアンカーネルと呼ばれるガウス分布を離散的に表現した 2 次元の重みテーブルを用いて、入力画像の 2 次元の画素値配列に対して畳み込み演算を実行する。この演算出力は、ある画素値がその周囲の画素値に合わせて加重平均化される効果をもつため、この処理の出力画像はぼけた状態となる。

先行研究は画像鮮鋭化処理内のガウスぼかし

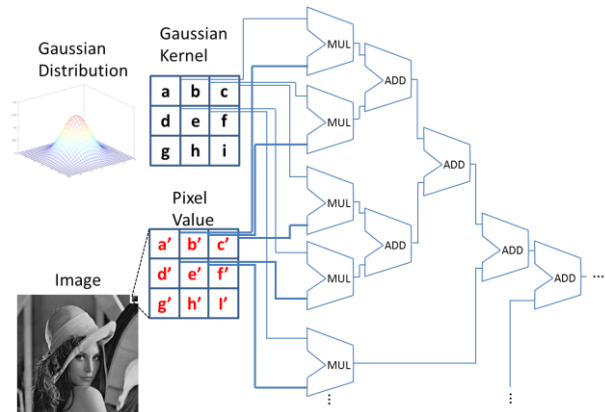


図 1 モノクロ画像処理時の回路の概要。

処理の畳み込み演算部に近似演算器を適用した。ガウシアンカーネルは線形のガウス分布を近似の離散値として設定しているため、演算の近似化を実現する前から、先行研究の鮮鋭化処理は既にガウスぼかし処理の段階で近似計算が適用されているといえる。このため、近似値であるガウシアンカーネルを用いた畳み込み演算を近似演算器で計算することは、計算の省略化を深化させるという観点から相性が良いといえる。

先行研究は専用回路として画像鮮鋭化処理を布線論理で実現した。このとき、回路の入力画像をモノクロ画像に想定したため、先行研究で評価した近似加算器の誤差が、カラー画像に適用した場合に、出力画像の品質にどのように影響を及ぼすのか不明であった。このため、本稿は先行研究の提案した画像鮮鋭化処理専用回路をカラー画像が処理できるように改善し、近似加算器の誤差の影響を評価する。また、消費電力削減効果への変化の有無を検証し、先行研究をカラー画像化した場合の有効性を議論する。

3. カラー画像の鮮鋭化処理と近似演算器

本節では、評価に使用する近似演算器とモノクロ画像処理のハードウェアの概要を示す。図 1 に先行研究で設計したハードウェアの概要図を示す。図 1 では、簡略化のためにガウシアンカーネルと画素値配列がともに 3×3 で示されるが、実際は 5×5 で実装している。図 1 で示される

Evaluation of Image Sharpening Hardware for Color Images using Approximate Adders

Tomoaki UKEZONO[†], Yuna FUKUDA[†], Toshinori SATO[†]

[†]Dept. of Electronics Eng. & Computer Sci, Fukuoka Univ.

8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, JAPAN

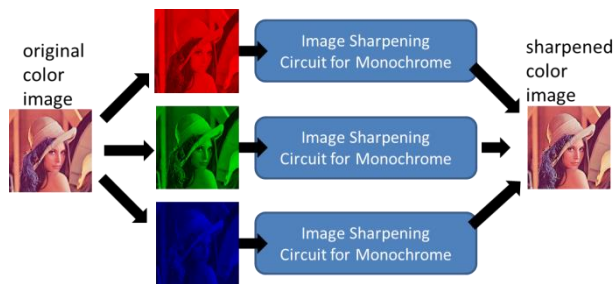


図 2 カラー画像の鮮鋭化処理の概要.

Gaussian Kernel と Pixel Image にはそれぞれの位置で $a \sim i$, $a' \sim i'$ のアルファベットが示されている. ガウスぼかし処理の回路は, 最初に同位置の Gaussian Kernel と Pixel Value を乗算する. これを $a \sim i$ と $a' \sim i'$ の全てに対して実行し, その後, それらの乗算結果をすべて足し合わせる. 図 1 では, 乗算を示す回路を MUL, 足し合わせの部分の回路を ADD と表現している. ADD は CMA[2] と呼ばれる精度可変の近似加算器を使用する. Gaussian Kernel が定数であり, また専用回路設計が対象であることから, MUL は一般的な変数と変数を演算する乗算回路ではなく, 定数乗算の回路となる. 定数乗算のための加算器も同様に CMA を使用した.

図 2 にカラー画像に先行研究を適用する場合の鮮鋭化処理の概要を示す. カラー画像を鮮鋭化するためには, 画像の中の三原色要素を個別に取り出し, それぞれをモノクロ用の鮮鋭化回路に入力し, 最後にそれぞれの出力を合成することで処理できる. このため, 本研究では先行研究の回路を 3 つ並列に用意した. 図 2 で示される Image Sharpening Circuit for Monochrome は図 1 で概要を示した画像鮮鋭化回路である.

4. 評価

本稿評価は図 1 と 2 で示した回路構成を Verilog HDL で RTL 設計し, Synopsys 社の Design Compiler を用いて NanGate 45nm のオープンセルライブラリを入力して論理合成し, Synopsys 社の Power Compiler を用いて電力評価した. このとき入力周期は 0.5GHz とした. また, テストベンチは合成後のカラー画像を生成し保存できるようにし, CMA のマスク設定により指定可能な近似精度を変更し, 画像品質変化を PSNR(Peak Signal Noise Ratio)の指標で評価した. 消費電力を図 3 に, PSNR を図 4 に示す. 横軸の msk_x の x は CMA のマスクビット数を示す. x が大きいほど近似精度は低く消費電力が小さい. 図 3 の消費電力低下はモノクロ画像処理の特性と同様の結果が得られた. しかしながら, 図 4 の PSNR 評価では, msk_5 までの品質の低下は先

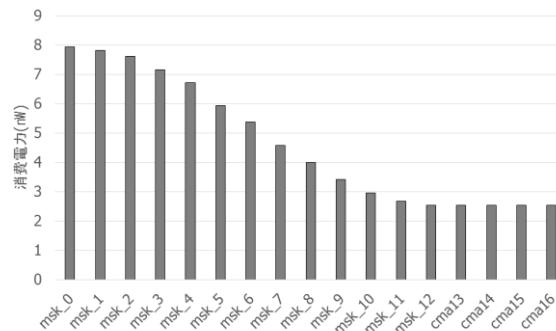


図 3 消費電力評価.

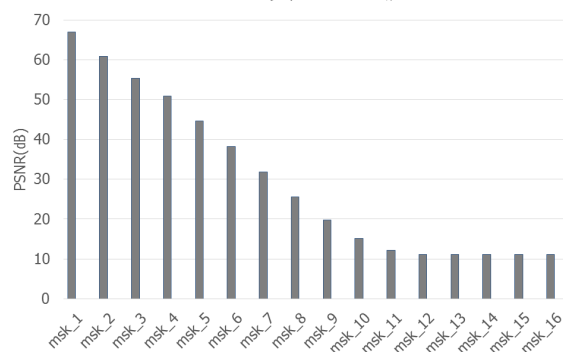


図 4 PSNR 評価.

行研究と同じ特性を示したが, それ以降の近似精度低下による画像品質低下の下限値はモノクロ画像処理よりも大きく下回った. モノクロの場合は下限が 30dB 近辺であったが, 本研究では 10dB 近辺まで低下した.

5. おわりに

本研究は, 先行研究で示された精度可変近似加算器 CMA を用いたモノクロ画像用の画像鮮鋭化処理回路をカラー画像に対応させ, 電力削減効果の変化と近似精度の画像品質への影響を評価した. 評価の結果, カラー画像を処理した場合に電力削減の特性に目立った違いはないが, PSNR の下限値が大きく下回ることが確認できた. この特性を考慮し, カラー画像を扱う場合は近似精度設定を慎重に設定する必要がある.

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP17K00088 の助成を受けた. 本研究は東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通し, シノブシス株式会社の協力で行われたものである.

参考文献

- [1] 田島 加織, 井上 晶仁, 馬場 裕之, ヨウ ドウキン, 諸園 智玲, 佐藤 寿倫, "CMA を用いた画像鮮鋭化処理専用回路の低消費電力化", 電子情報通信学会 技術研究報告, 信学技報 Vol.117, No.377, VLD2017-68, pp.37-42, 2018.
- [2] Tongxin Yang, Tomoaki Ukezono, and Toshinori Sato, "A Low-Power Configurable Adder for Approximate Applications", Proc. of 19th International Symposium on Quality Electronic Design (ISQED 2018), 4B-4 pp.347-352, Santa Clara, CA, USA, 2018.