

1 ビジョンシステムの実用化に関する研究開発（第2報）

佐野 誠，武田幹雄，石津任章，馬場祥宏，土井貴広*，神長大輔**

Research and Development about Utilization of Vision System (2nd Report)

SANO Makoto, TAKEDA Mikio, ISHIZU Hideaki, BABA Yoshihiro, DOI Takahiro* and KAMINAGA Daisuke**

Members of Iwata project in Hiroshima Prefectural Institute of Industrial Science and Technology have studied the research on the intellectual advanced features of image processing for three years since 2000. They developed image processing IP (Intellectual Properties), wide dynamic range CMOS image sensor, matching processor, and so on. So we utilize these results of Iwata project for several years. Especially we have studied image processing IP in this research.

We have two results in this paper. One is that we invented the structure of image processing pipeline circuit. Using this structure, we developed the image processing board equipped with our image processing IP. Another is that we developed the support function system of making the image processing algorithm.

キーワード：画像処理，IP，パイプライン回路，最適化，遺伝的アルゴリズム

1 緒 言

広島県産業科学技術研究所・岩田プロジェクト（「リアルタイム物体・空間認識」プロジェクト）（平成12年度～14年度）の成果の一つである画像処理IPを成果普及する目的で、昨年度から研究開発を進めてきた。

本年度は、画像処理IP利用を促進する目的で、パイプラインの段数を意識することなく容易に画像処理IPを組み合わせ可能とする画像処理パイプライン回路を考案した。また、画像処理アルゴリズム作成の際の支援機能を開発した。

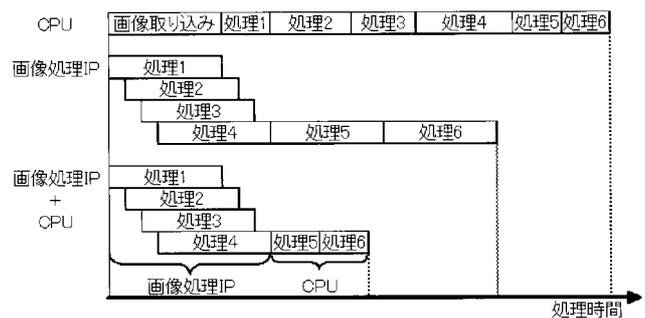


図1 画像処理IPのパイプライン構成

2 画像処理パイプライン回路

2.1 構成法

図1に示すように、CPUによる画像処理の場合は、各単機能の処理時間は速いが逐次的に処理される。また、画像取り込みが終了してから処理が開始される。これに対して画像処理IPの場合は、画像を取り込む過程で処理を施すことができ、その単機能処理をつなげてパイプライン構成とすることで、並列処理が可能となる。そのため、パイプラインの段数が増えるほど、CPUに対して相対的に高速になる。加えて、ハードウェアをFPGAで実現すると、画像処理IPの柔軟性と再利用性という特徴が活かされ、高速で柔軟性がある画像処理を短期間で構築できる^{1),2)}。

しかし、画像処理IPの追加、削除および順序の変更を行うと、画像処理IP以外に周辺回路の設計変更が必要になるという問題がある。さらに、画像処理IPには、注目画素を処理するために、例えば3×3の近傍画素データを必要とするものがある。この場合、次ラインの近傍画素データが得られてから処理するので、それまで結果が求められない。つまり、画像処理IPが水平方向だけでなく垂直方向にも遅延を持つことになる。

このように水平方向にのみ遅延を持つ画像処理IPの段数が増えると、有効画像領域がフレームの範囲を超えて右にはみ出し、また、垂直方向にも遅延を持つ画像処理IPの段数が増えると、図2のように下にもはみ出してしまうことになる。これらの場合、正常な処理が行われなため、画像処理パイプラインの段数に制約が生じてしまうという問題が発生する。

*株式会社サタケ，**株式会社インタフェース

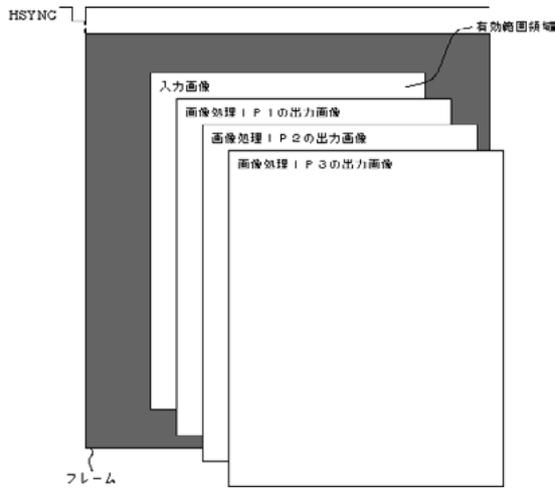


図2 フレームと有効範囲領域の対応の課題

このような問題点を解決するために、画像処理 IP の追加、削除および順序の変更を、画像処理 IP と接続 IP のみで行い、パイプライン段数に制約のない画像処理パイプライン回路を構成する方法を考案した。

一般にパイプライン処理では、入力画像データは画像入力部から画像処理 IP₁、IP₂、IP₃、…へ順次送られて処理され、最終の結果が画像出力部へと送られるので、出力画像データは入力画像データに対して画像処理 IP₁~IP₃、…が持つ全遅延量分の遅れが生じる。この全遅延量分を考慮して、フレームと有効範囲領域のずれを制御しようとする回路が複雑になるとともに、画像処理 IP を追加、削除する度に回路変更が生じる。

そこで、図3に示すように本画像処理パイプライン回路では、画像処理 IP_n (n=1, 2, 3, …) が後段の画像処理 IP_{n+1} に対して相対的に持つ遅延量分のみを付加した同期信号を接続 IP_n で生成し、それを画像処理 IP_{n+1} と接続 IP_{n+1} に供給する。

このようにすれば、接続 IP_n は画像処理 IP_n と画像処理 IP_{n+1} 間の相対的な情報のみを利用するので、新たに画像処理 IP を追加する場合は、画像処理 IP と接続 IP を1つずつ追加するだけで良い。また、接続 IP によって垂直および水平同期信号を遅延させるため、図4に示すようにフレームと有効範囲領域の相対位置関係が維持されるので、画像処理 IP の段数には制限がなく、パイプラインを容易に構成できる。

2.2 本研究の成果

本画像処理パイプライン回路では、接続する2つの画像処理 IP_n と IP_{n+1} を指定すれば、接続 IP_n が自動的に生成されるような機構を開発した²⁾。パイプラインの構成法と接続 IP の自動生成機構に関して特許を出

願した。画像処理 IP の成果は、県内企業の図5に示す選別機能を持った卓上型穀粒判別器や図6に示す濃淡画像処理 PCI ボードおよび CompactPCI ボードに活用されている。

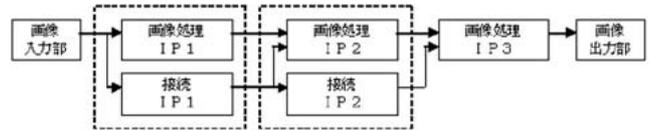


図3 画像処理パイプライン回路

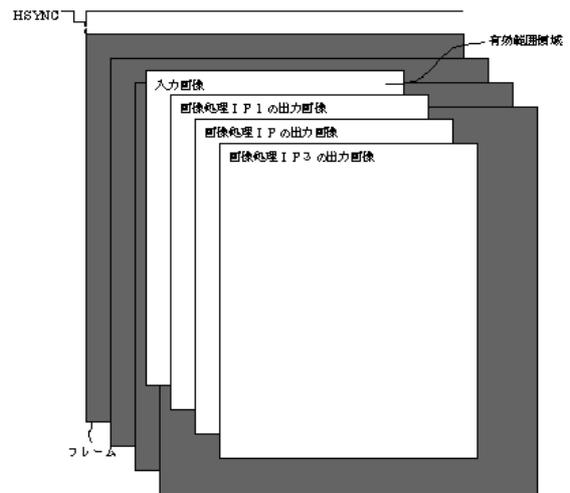


図4 フレームと有効範囲領域の対応



図5 選別機能を持った卓上型穀粒判別器



図6 濃淡画像処理 PCI ボード

3 アルゴリズム作成支援機能

3.1 背景

一般に画像処理は人が処理プログラムをコンピュータに与えることにより行われるので、その処理は特定の目的のためだけに有効な場合が多く、処理対象が変わると望むような結果が出ないということがほとんどである。空間フィルタやヒストグラム処理など、個々の処理の有効性は認められるが、それを組み合わせて画像処理アルゴリズムを開発する段階で、実用的で汎用性のある処理の組み合わせや一般的な開発手法といったものがほとんどないのが現状である。

従って画像処理アルゴリズムを開発する場合、開発者の知識や経験といったものが大きく影響してくる。また、熟練した開発者であっても、作成アルゴリズムや開発手法にはその人の個性（癖）があり、知識や経験がかえって実用解、最適解を求めることを困難にする場合さえある。

本研究では図7に示すように、画像処理アルゴリズムの開発作業を個々の画像処理IPの組み合わせ最適化問題として捉え、最適解を遺伝的アルゴリズムによって求めるプログラムを開発した。ただしこの場合の最適解とは、適応度の高い解を見つけるという意味であり、画像処理機能として最適であることを保証するものではない。しかし得られた解は、個人の知識や経験とは関係のない、いわば個人の常識に囚われない全く新しい発想である可能性があり、開発経験が未熟な人はもちろん、熟練者にも新しい処理手法を提示することでアルゴリズム開発を支援する。

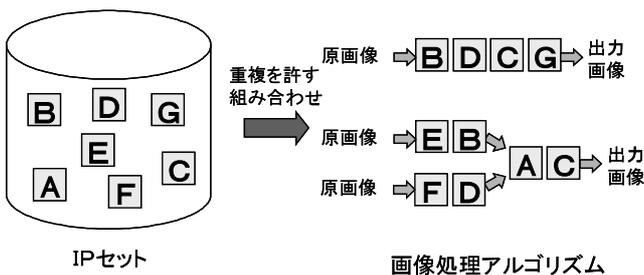


図7 組み合わせ最適化問題への定式化

3.2 遺伝的アルゴリズム (GA) について

遺伝的アルゴリズムは、J. H. Holland によって確立された最適化・探索アルゴリズムである。このアルゴリズムは生物進化のプロセスから着想されたアルゴリズムで、染色体を持つ仮想生物の集団の進化シミュレーションを通して、与えられた問題の実用解、最適解を速やかに得る手法である。不連続な探索空間でも適

用できるのが特徴である。反面、数学的定義と理論的考察が不十分であること、プログラミングに明確な規範がないこと、指定すべきパラメータが多いことなどの短所も挙げられる³⁾。

3.3 GA への適用

まず、原画像と目標画像を用意する。本研究では、目標画像は原画像を基にして、イメージエディタを使い手動で作成した。原画像と目標画像が学習用の画像セットとなる。これを GA によって学習させる。出力画像と目標画像の差分から適応度を求め、適応度の高い組み合わせに優先度を与え最適解を求めていく。より妥当な適応度を求め易くするために、必要に応じて重み画像を利用する。

GA の動作原理を簡単にまとめる。

○初期個体群の生成

画像処理 IP の組み合わせ情報を遺伝子として持つ複数の個体から構成される初期個体集団を生成する。個体の染色体はランダムに設定する。

○各個体の適応度の計算

画像処理 IP の種類が遺伝子に相当するので、遺伝子情報が表す組み合わせに原画像を入力して出力画像を得る。目標画像と出力画像（および重み画像）から適応度を計算する。最も単純な適応度の定義としては次のようなものが考えられる。

$$\text{Fitness} = 1 - \frac{\sum_{x=1}^{\text{Width}} \sum_{y=1}^{\text{Height}} W(x, y) |G(x, y) - H(x, y)|}{N \times \text{Width} \times \text{Height}}$$

ただし、適応度を Fitness、画像サイズを Width × Height、階調値を 0 ~ N、目標画像を G(x, y)、出力画像を H(x, y)、重み画像を W(x, y) としている。

○次世代の個体の決定

現世代の親個体からその特徴を引き継いだ子個体を生成するために淘汰処理を行う。本研究ではルーレットルールを用いた。適応度の高い親個体を選ばれる可能性が高いが必ず選ばれるとは限らない。

○染色体の交叉

淘汰された親個体から子個体を生成するために染色体の交叉を行う。本研究は 1 点交叉を用いた。

○遺伝子の突然変異

交叉の後、全子個体の遺伝子に対して、ある生起確率でランダムに突然変異を発生させる。

○ 個体集団の評価

個体集団を評価して、評価基準を満たしていれば処理を終了する。本研究では世代数を終了条件とした。組み合わせに使用した画像処理関数を表1に示す。

表1 使用した画像処理関数

フィルタ群	フィルタの種類
空間フィルタ	ラプラシアン, 鮮鋭化, 移動平均, メディアン
差分型エッジ検出フィルタ	Prewitt, Sobel
濃度変換フィルタ	2値化 (しきい値50, 100, 150, 200の4種類) 最大 (3×3近傍画素中の最大値), 最小 (3×3近傍画素中の最小値) 明化 (平均階調より暗い画素を0), 暗化 (平均階調より明るい画素を255) NOT (ビット毎のNOT), 反転 (階調値の反転)
モフォロジカルフィルタ	膨張 (1画素), 収縮 (1画素)
2入力差分フィルタ	加算, 減算 最大 (画素毎の最大階調), 最小 (画素毎の最小階調) AND (ビット間のAND), OR (ビット間のOR)

3.4 実施例

図8に実施例を示す。ソースフォロワ回路の原画像から、文字部分を削除する処理をGAにより求めた。適応度をより適切に求め易くするために、重み画像を用いた。出力結果を見ると、トランジスタ名はほとんど削除されていないが、その他の回路定数はほぼ削除されていることがわかる。GAが求めた処理手順は図9のような結果であった。手順を見ると、画像を反転して処理を施しもう一度反転して元に戻すなど、結果的には冗長な処理を行っていると思える部分もある。しかしこれほどの処理工程を人の手で試行錯誤的に求めることはほぼ不可能であり、特徴量や手がかりを見出せない場合には、このプログラムにより実用解を求めてみることも有効であると考えられる。

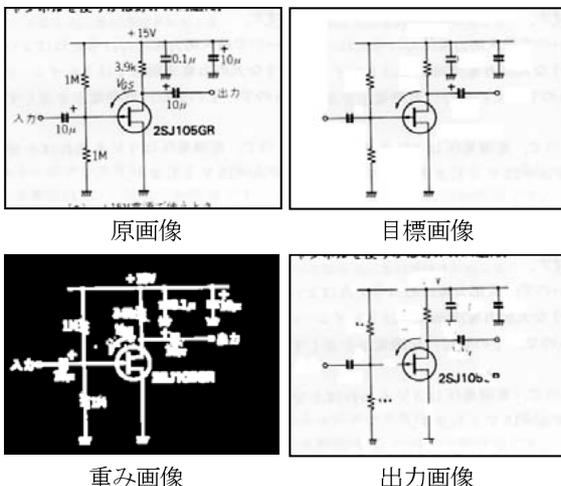
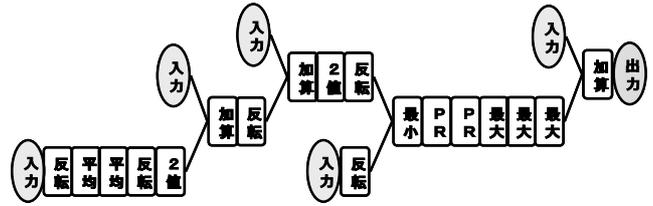


図8 実施例



入力：原画像
出力：出力画像
平均：移動平均
2値化：2値化 (しきい値200)
最小：最小 (画素毎の最小階調)
最大：最大 (3×3近傍画素中の最大値)
PR：Prewitt

図9 GAが求めた処理手順

4 結 言

これまで開発してきた画像処理IPの利用を促進するため、ユーザがパイプラインの段数を意識することなく容易に画像処理IPを組み合わせ可能とするパイプライン回路を開発した。パイプラインの構成法と接続IPの自動生成機構に関して特許を出願した。画像処理IPの成果は、県内企業の選別機能を持った卓上型穀粒判別器や濃淡画像処理PCIボードおよびCompactPCIボードに活用されている。

さらに、画像処理アルゴリズムの作成を、画像処理IPの組み合わせ最適化問題として捉え、遺伝的アルゴリズムを利用して実用解、最適解を求めるプログラムを開発した。これは、ユーザの知識や経験によらずに画像処理アルゴリズムを作成する支援機能を提供するものである。世代数や個体数、染色体長、交叉率や突然変異率などのパラメータが、最適解への収束性に如何に影響を与えるか、また、収束性向上を考慮した自然淘汰アルゴリズムの考案など、いくつかの課題もあり今後検討していきたい。

文 献

- 1) 石津他：平成14年度研究成果報告書，広島県産業科学技術研究所，2003
- 2) 佐野他：広島県立西部工技研究報告, 47(2004), 1
- 3) 長尾：進化的画像処理，昭晃堂，2002