

画像処理汎用LSIチップセット—高速2次元コンボルバ、 メディアンフィルタおよびヒストグラマ^{*1}

山崎 雅夫^{*2}

General Purpose LSI Chip Set for Image Processing—High Performance Two-dimensional Convolver, Median Filter and Histogrammer

Masao Yamazaki

1 はじめに

画像処理は、その応用分野によって適用されるアルゴリズムやシステムの構成が異なる。システムの柔軟性が重視される場合はソフトウェア処理が利用される。しかし処理速度の面で限界がある。より高速な処理はハードウェア化によって達成されるが柔軟性は低くなる。そこで汎用性の高いアルゴリズムを選択し、これをLSI化してシステムに組み込めば柔軟性と高速性を両立することができる。このような視点に立って開発を進めたLSIが「高速2次元コンボルバ」「メディアンフィルタ」および「ヒストグラマ」である。いずれもCMOSプロセスを適用した。以下にこれらのLSIを紹介する。

2 製品紹介

2.1 高速2次元コンボルバ(HSP 48908/48901)

2種類的高速2次元コンボルバを開発した。2次元コンボルバは2次元信号に対する2次元インパルス応答のたたみ込み積分(コンボリューション)を実行する。ディジタル画像処理では信号もインパルス応答も離散化されたデータであるため、コンボリューションは積和演算となる。積和演算を行う範囲は、回路規模を現実的な範囲内に納めるため有限とする。この積和演算範囲を規定するためにウィンドウを設定する。HSP 48908/48901ではウィンドウのサイズを3×3とした。ウィンドウサイズ3×3の2次元コンボリューションは次のように表せる。

$$\begin{aligned} P(m,n) = & A \cdot D(m+1, n+1) + B \cdot D(m, n+1) + C \cdot D(m-1, n+1) \\ & + D \cdot D(m+1, n) + E \cdot D(m, n) + F \cdot D(m-1, n) \\ & + G \cdot D(m+1, n-1) + H \cdot D(m, n-1) + I \cdot D(m-1, n-1) \\ & \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

この式で $D(m, n)$ は2次元空間上の座標 (m, n) で表される画素に対応するディジタルデータ、 $A \sim I$ はウィンドウ係数(2次元インパルス応答)、 $P(m, n)$ は処理された後の画素を表すディジ

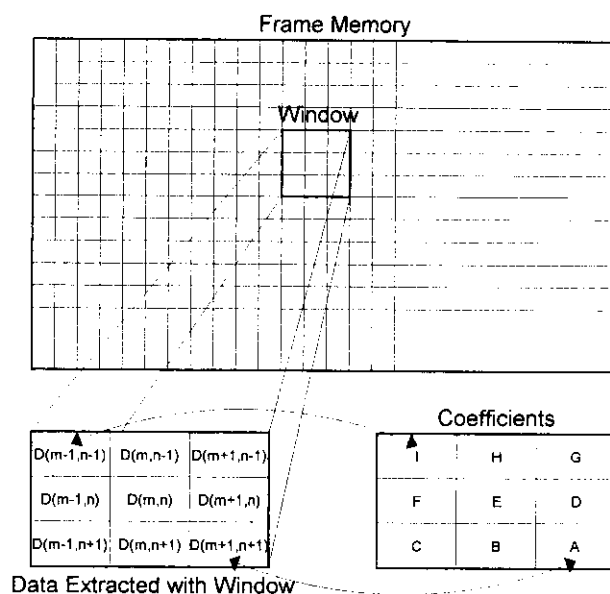


Fig. 1 Two dimensional convolution

タルデータである。Fig. 1に示すようにフレームメモリ(1枚の画像を構成する画素データを格納したメモリ)内の座標 (m, n) で与えられる画素と、その近傍の8個の画素を表すデータをウィンドウで切り出して、それぞれに異なるウィンドウ係数を乗じた後、それらの積の総和を求める。

(1)式を演算するためにHSP 48908/48901で採用した回路のブロック図をFig. 2に示す。通常この式に示される演算を直接実行しようとすると、一つの結果を得るためにフレームメモリを9回アクセスして9個のデータを読み出さねばならない。HSP 48908/48901では、ウィンドウレジスタと2ライン分のラインバッファでパイプラインを構築し、データの読み出しを高速化した。すなわち、1クロックごとにフレームメモリ内を左から右へ、上から下へ順番にスキャンしてデータを読み出し、このレジスタ群に入力する。 $D(n)$ は n 番目に読み出されるデータである。3ライン目の3番目のデータまで入力すると、ウィンドウレジスタの中には1回の演算に必要なデータがそろふ。以降、画素データの一つを入力するこ

*1平成6年2月23日原稿受付

*2LSI事業部 開発・設計部商品開発室 主査(課長)

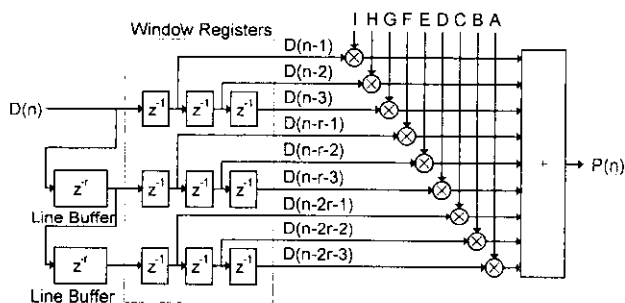


Fig. 2 Detailed block diagram of two-dimensional convolver

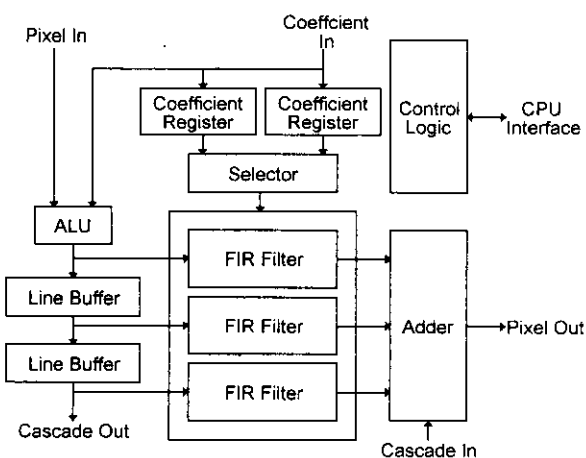


Fig. 3 Block diagram of HSP48908

とに内容が更新される。つまり、1回の演算に必要なデータを得るためのフレームメモリへのアクセスは1回ですむことになり、大量データに対する全処理時間が短縮される。読み出されたデータは、積和演算回路で処理され、結果が得られる。乗算器を9個内蔵しているため、(1)式に示される9項すべての乗算が同時に行われる。

Fig. 3にHSP48908のブロック図を示す。1行分のウィンドウレジスタと3項分の積和演算回路はFIR (finite impulse response) 型の1次元フィルタを構成しており、これを2個のラインバッファを介して3個並べ、最終段の加算器で総和を求めることで2次元コンボルバを構成している。なお、HSP48908ではラインバッファを内蔵したのに対し、HSP48901ではこれを外付けとした。

2次元コンボルバは、係数の設定によりランダムノイズを除去するための平均化処理や、画像の輪郭を抽出するラプラシアン処理等に適用できる。例えばA～Iまでの全ての係数を1と設定すれば、ウィンドウ内のデータの総和を求めることになるので、結果を9で割れば平均化される。一般に自然画像のデータは局所的には強い相関を示すので、ノイズが混入しても平均化することにより周辺との相関の強い信号が出力され、結果的にノイズの影響が緩和される。

2.2 メディアンフィルタ (KL5A20015)

2次元コンボルバを使用して平均化によるランダムノイズ除去を行うと、画像の輪郭も若干不明瞭になってしまう。輪郭をなるべく保存したまま効果的にノイズの除去を行うためにメディアンフィル

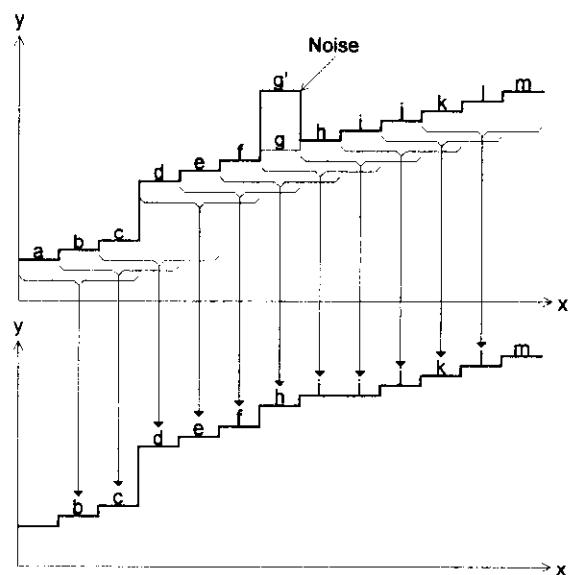


Fig. 4 Noise rejection by median filter

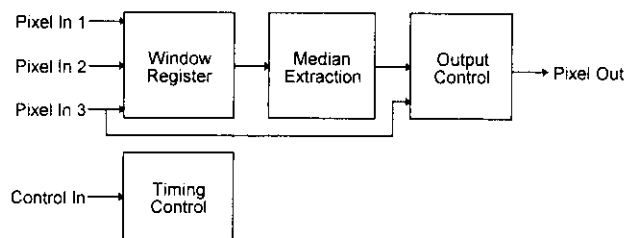


Fig. 5 Block diagram of KL5A20015

タが利用される。

前述のように画像データは局所的には強い相関を示す。しかし輪郭の部分では輝度が急激に変化する。同じように、ノイズが存在するときも輝度が急激に変化する。しかしこの二つは区別することができる。すなわち、輪郭である場合はその変化点の前あるいは後ろの領域には相関性の高いデータが並ぶ。ノイズである場合は急激な変化点が幾つも観測される。そこで、着目する画素とその近傍の画素を表すデータを読み出し、相関の強いデータを残せばノイズを除去することができる。相関の強いデータを残す手段として、読み出した複数個のデータの中央値 (メディアン) を選ぶようにしたものがメディアンフィルタである。

Fig. 4に1次元関数 (関数値をa, b, c, ...とする) に混入したノイズを除去する様子を示してメディアンフィルタの動作を説明する。緩やかな右上がりの関数であるが、途中で輪郭に相当する急激な変化点 (cからdへの変化) がある。そして、本来gであるはずのデータがノイズの影響でg'になってしまったものとする。そこで、着目する点とその前後の点を表すデータを読み出してその中央値を選択するとb, c, d, e, f, h, i, i, ...となり、輪郭は保存されたままノイズが除去されることがわかる。

データを大小関係でソートし中央値を選択するというアルゴリズムは一種の非線形処理である。しかし、着目画素とその近傍の画素のデータをフレームメモリから読み出してくるため、2次元コンボルバと同様なパイプライン構造の採用で効果的に高速化を図ることができる。Fig. 5にKL5A20015のブロック図を示す。パ

パイプライン構造の詳細は省略した。ラインバッファは外付けとなっている。

2.3 ヒストグラム (HSP 48410/KL 5 A 20016)

2種類のヒストグラムを開発した。これらは1枚の画像を構成する画素を表すデータの輝度ごとの出現度数(ヒストグラム)を計数するLSIである。一般的に、自然画像のヒストグラムでは暗い部分と明るい部分に目立った分布が見られる。この分布を平滑化して最も暗い領域から最も明るい領域まで平均的にデータが存在するようにすると、コントラストの強い(明暗差の大きい)くっきりとした画像が得られる。このようなコントラストの補正はヒストグラムの典型的な応用である。また、画像各部の閉じた領域を抽出し、それぞれの領域内のデータのヒストグラムを取ると各部の面積を求めることができる。このような画像計測にも応用される。

2.3.1 高機能ヒストグラム HSP 48410

HSP 48410は10ビットデータよりなる最大 $4096 \times 4096 (= 2^{12} \times 2^{12})$ のサイズの画像のヒストグラムを求めることができる。すなわち、0から1023までの値を取り得る総数 $16777216 (= 2^{24})$ 個のデータの分布を求めることができる。したがって24ビットのカウンタが1024個必要になり、このままでは規模の大きな回路になってしまう。そこで、一度に全データの分布を見るのではなくフレームメモリから一つずつ読み出してその属性を調べようによれば、カウンタを構成する要素のうちインクリメントは共有可能となり回路が小規模化される。さらに、カウント値を格納するレジスタ群をRAMに置き換えることでも回路の小規模化が図れる。Fig. 6にHSP 48410のブロック図を示す。フレームメモリから読み出した画像データをPixel Inから入力し、これをアドレスとしてRAMからデータを読み出し、それに1を加えた後、同じアドレスに戻す。この処理をフレームメモリ内の画像データ全体に対して実行するとRAMの中にヒストグラムが生成されている。

なお、HSP 48410はヒストグラム生成の他に累積度数分布の生成、データ累積、ルックアップテーブル、ディレイメモリ、非同期等のモードで動作させることもできる。さらに、新たな画像に対す

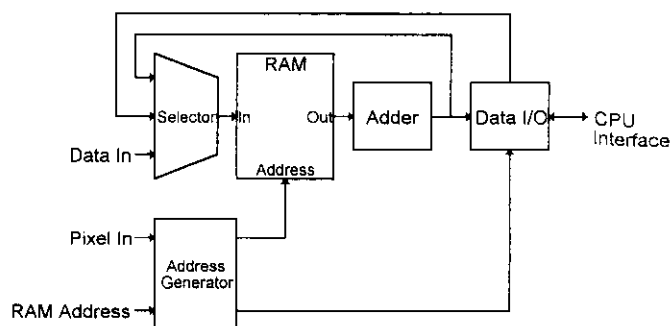


Fig. 6 Block diagram of HSP48410

る処理を行う前に古いヒストグラムを一括してクリアする機能(フラッシュクリア)も持っている。

2.3.2 単機能ヒストグラム KL 5 A 20016

KL 5 A 20016は工業用カメラ等を入力装置として使用することを目的として開発したヒストグラムであり、8ビットデータより成る最大 512×512 のサイズのフレームに対するヒストグラム生成処理のみを行う。また、自動クリア機能を持っており、新たな画像に対する処理を行う前に古いヒストグラムが自動的にクリアされる。

3 まとめ

画像処理用のLSIを高速化するには二通りのアプローチがある。一つはプロセスの微細化を目指すことである。もう一つはより高速なアルゴリズムを開発することである。特にハードウェアに適したアルゴリズムの開発が高速化の鍵となる。ここで紹介したLSIはどれも、パイプライン構造や並列処理アーキテクチャを採用することにより高速化を実現した。今後は機能の複合化やより高い柔軟性を実現し、高性能な画像処理システムをより容易に構築するのに有効なLSIを開発したい。

〈問い合わせ先〉

川崎製鉄株式会社 新事業本部 LSI事業部 営業部
〒100 東京都千代田区内幸町2-2-3(日比谷国際ビル)
TEL 03-3597-4619