

固有値分解を 特許考案の新手法で

次世代通信システムや画像認識、移動体通信での電波到来方向推定などには固有値分解が用いられます。それを実現する回路構成は分岐が多くて、複雑な演算機構を多数要するため大規模となり、LSIへの実装はなかなか難しいのが実情でした。当社は、固有値分解の演算機構をシンプルかつ高速な回路構成を実現する新しい回路方式に関する特許を取得（出願中）し、組み込み機器での実現に弾みをつけています。今後、さらなる高速化・小型化に取り組み、高速通信、大規模画像認識、音声方向推定、音声認識などへの応用に注力していきます。

用途拡がる 固有値分解回路

固有値分解とは、膨大な離散時間の電磁波、音波、画像などのデータを統計処理後、特徴を抽出するもので、さまざまな分野で用いられています(図-1)。

時に同じ周波数を用いて並列送信できるため、高速・大容量な情報伝送を実現できます。ここでも固有値分解の活躍が期待されています。

しかし、固有値分解のアルゴリズムは演算器が多く、三角関数、開平、乗算、除算などが複雑に絡み合う回路です。また、使用

画像認識では主に実対称行列を扱いますが、通信、音波などはエルミート行列を扱います。電波、音波の到来方向推定でのMUSIC法は、認識物体の解像度を上げた場合アンテナの本数が増えますが、将来の現実的範囲としてアンテナ8本の8行8列までであると思われます。現在、WiFi、WiMAXでのMIMO通信の主流は2行2列で、将来、移動体通信を含め4行4列になります。画像認識は医療、セキュリティ関連からエンターテインメント用途と応用範囲が広い市場です。例えば、マンション住人の入館管理で1,024人の顔を登録し固有値分解で住人の顔認識を行う場合、1,024行1,024列のサイズが必要となります。



図-1 固有値分解の用途

例えば、移動体通信では、直接波や遅延波、干渉波などが混在した複雑な多重波の伝搬構造となり電波ノイズに関する情報から本来の情報を得るために、受信信号の相関行列を計算し、その固有値分解が行われます。車載レーダーでは、走行中に変化する他車との相対距離の計算や障害物の有無の判定に、電波の反射波の到来方向判定で固有値分解が必要となります。画像認識では主成分分析による特徴比較などに用いられます。

また、次世代通信技術として注目されているMIMO(Multiple-Input Multiple-Output)は、送信と受信の双方に複数のアンテナを使うことで、異なるデータを同

用途により行列サイズの変更や多くのバリエーションも必要となります。図-2にアプリケーションごとの固有値分解のタイプと必要行列規模を示します。固有値分解の行列タイプは大きく分けて、実対称行列とエルミート(共役複素対称)行列があります。

画像認識での 応用例

2007年度のESEC(組み込みシステム開発技術展)に出展したデモの内容を紹介

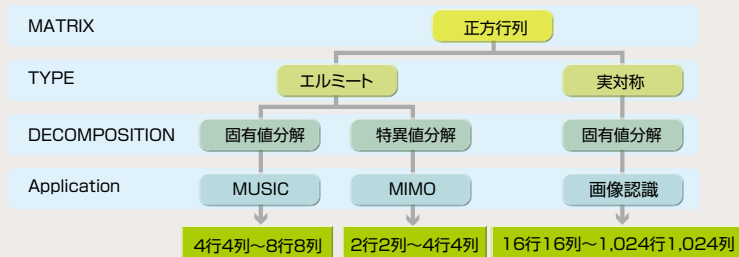


図-2 応用別、固有値分解行列サイズ

します。

16枚の画像を用意して、似ている画像を判別しようとするものです。ここでの固有値分解の行列規模は16行16列の実数行列です。

画像認識の処理方式はKL (Karhunen-Loeve)変換法を採用しました。パターン認識で用いられる手法で、ベクトルの分布を最もよく近似する部分空間を求める方法です。端的に表現すると、元のデータの特徴を残し、あまり特徴と関係ないであろう部分を消し去る方法です。図-3のとおり、まず左と右に同じ画像らしきものを用意します。この画像全体を16分割し16枚の画像に対してKL変換を施し、残した特徴からお互いのユークリッド距離の差を出します。このユークリッド距離が0であれば、画像が一致しているわけです。画像区画の⑨番目と⑪番目の赤丸内のバ

イクがあるかないかの違いで、ユークリッド距離が25になっており画像の違いが判明します。その他の画像区画は、必ず他のいずれかの自分以外の画像と一致しているのでユークリッド距離0を返しているのが分かります(例Pic1とPic3)。

図-4はユークリッド距離を閾値(Threshold)でコントロールする例です。閾値でコントロールすると、画像特徴の距離に応じて類似画像の出力をコントロールできます。閾値10で、ユークリッド距離10以内の画像(女性オペレータ)が抽出されます。次に閾値を11~12までとすると、水色の女性画像が抽出されます。このように各画像の特徴がユークリッド距離で表され、似ている画像のユークリッド距離は近

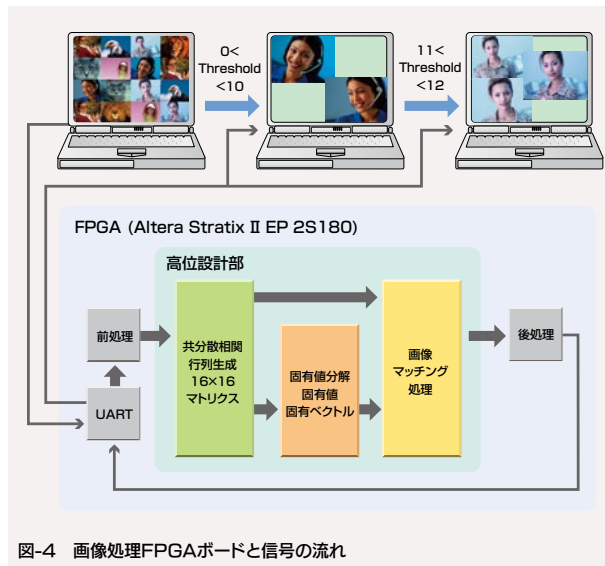


図-4 画像処理FPGAボードと信号の流れ

いという前提で図-4のように閾値を設定することにより類似画像を抽出できます。

回路情報をプログラミングすることができ、LSIをFPGA(Field Programmable Gate Array)と言います。FPGAはアルテラ社のStratix IIEP2S180を利用しています。FPGAには、パソコンとの通信のためのUART(Universal Asynchronous Receiver Transmitter)、相関行列生成部、固有値分解部、画像ユークリッド距離計算のマッチング処理部のハードウェアが実装されています。トータルASIC換算で120万ゲート規模です。

LSIに適した回路方式で 特許を出願

固有値分解回路がLSIでハードウェア化されなかった第一の理由は、固有値分解を利用する応用では、ソフトウェアによる処理で間に合っていたことと、演算器リソースを多く使うためLSIの実装には向いてないことの2点が挙げられます。

ところが、ここ数年で高速通信、大規模画像認識、車の安全確保(レーダー)のニーズが高まり、ソフトウェア処理での固



図-3 間違いさがし

有値分解の処理時間が間に合わなくなってきました。また、LSIの大規模化で、固有値分解の演算回路を搭載しても製品化できるだろうというところまできました。当社でも固有値分解を応用とする画像認識システムをFPGAへ実装するなどをやってきました。現在は、通信用の固有値分解回路を開発中です。以下に、通信用の固有値分解の開発経緯を紹介します。

固有値分解には、ヤコビ法やべき乗法、QR分解、二分法などさまざまな手法があり、それぞれに長所・短所があります。その中で、LSIのハードウェア向きの手法として、QR分解と二分法に絞り込みました。

通信分野では、受信感度を上げるためのスマートアンテナのダイバーシティやMIMOでQR分解の手法が最も多く使われています。現状はアンテナ2本から3本で、行列規模は3行3列までです。このQR分解は、2行2列や3行3列でCORDIC手法が頻繁に使われています。CORDIC手法はベクトル回転の演算手法で、加減算のみで三角関数、開平の演算を実現するものです。しかしながら、計算終了までのサイクル数は通常の三角関数、開平を直接計算するよりも多くの時間を要します。3行3列から4行4列では演算量は100倍以上多くなります。

将来の高速通信、高速移動通信に向け、アンテナは4本の4行4列が主流になるでしょう。そうすると、このCORDIC手法では、将来の高速通信に対応できない可能性があります。そこで当社は、4行4列固有値分解にCORDIC手法を使わない直接計算（三角関数、開平）のQR分解を開発し、大幅にサイクル数を削減しリアルタイム処理を実現しました。

しかし、直接計算のQR分解は面積

（ゲート数）が多いため、同程度のサイクル数で実現できる方法がないかを模索し、二分法を試みました（図-5）。すると二分法はQR分解と同等サイクルにて面積がQR法より30%～40%削減されるという結果が得られました。

二分法とは、固有値を求めるために取りうるであろう固有値の最大値と最小値の初期値を与え、名前の通り初期値を二分しながら目的の固有値に近づけていくものとするものです。しかし、この初期値の与え方を間違えると、目的の固有値に収束するのにサイクル数が多くなり、まったくの的

法の改良部分の特許出願しています。

さらなる高速化・軽量化に注力

今、MIMOが引き金になって固有値分解回路が注目されています。当社にも固有値分解回路関係でデモの依頼が数多く来ていますが、各社とも電波を拾うのに苦労しているからだと思われます。MIMO電波の市場は大きく、積極的に取り組んでいきたいと考えています。

また、将来的には車載レーダーへの応用も有望であり、レーダーのモジュールが

低価格で実現できればこれまた大きな市場が期待されます。実際、数社からレーダーモジュールのコンパクト化、低価格版が2009年にも登場する予定です。

画像認識での応用は、入館時の人物特定、不審人物進入感知などセキュリティ関連で有望です。課題は大規模な行列を扱い、面積と処理時間をいかに減らすか、ということになります。

音声の応用は、MUSIC法による音声到来方向推定、KL変換による音声認識などが挙げられます。今後、音声関連も調査を開始する予定です。

当社では、各応用分野に適応

した固有値分解について、今後さらに高速化とゲート規模を削減することに取り組んでいます。

当社のLSI設計技術を活かし、前述のような用途への応用に向けた回路の実現のために一層の研究開発に取り組んでいます。

（第二LSIソリューション事業部

大黒 昭宣）

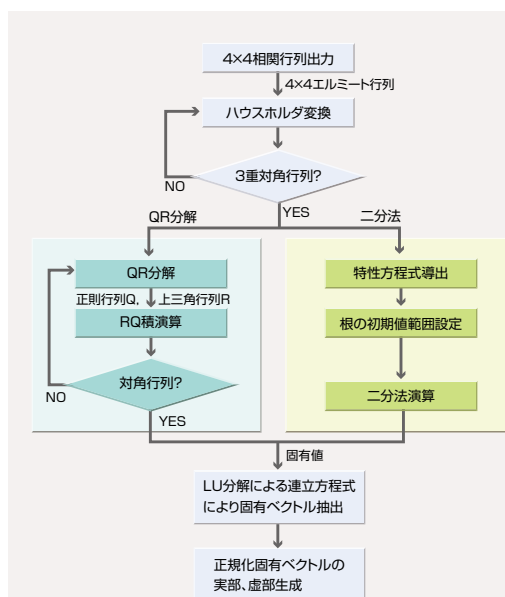


図-5 二分法とQR分解の処理フロー

外れだと固有値自体が求められなくなる問題があります。実際初期値により、QR分解よりもサイクル数が少ない場合や多くなる現象が見られました。

そこで当社は、LSIに適した回路方式で二分法を改良し実装しました。すると一定のサイクルで固有値分解処理を行うことができるようになり、QR分解と同等かそれ以下のサイクル数になりました。この二分