

映像の高画質化を実現した超解像技術

Super-Resolution Technology for Video Quality Enhancement

熊谷 明 井田 孝 田中 明良

■ KUMAGAI Akira

■ IDA Takashi

■ TANAKA Akira

近年、デジタルハイビジョン放送が身近な存在になり映像の画質に対する関心が高まるなか、ノートPC（パソコン）でも液晶画面の大型化に伴い、SD（Standard Definition）映像を拡大表示したときの画質の粗さやぼやけた画像に対する改善要求が高まっている。

東芝は、これまでAVノートPCのQosmio™において、独自のカラーコントロール技術により映像の高画質化を実現してきたが、このような大型画面での映像品質への要求に応えるために、メディアストリーミング処理プロセッサSpursEngine™を搭載するとともに、“超解像技術”を開発した。

Digital high-definition broadcasting has disseminated in recent years. With the increasing emphasis on high picture quality, demand has been increasing for better video quality in the upscaling of standard-definition (SD) video contents on notebook PCs equipped with a large liquid crystal display (LCD).

Toshiba has released the Qosmio™ series audiovisual (AV) notebook PCs featuring enhanced video quality using proprietary color control technology. We have developed a new technology that allows users to experience SD video contents with high-definition quality on a large PC LCD, utilizing a high-performance stream processor named SpursEngine™ and a newly developed super-resolution technology.

1 まえがき

“超解像”とは、低解像度の画像から高解像度の画像を生成する技術である。この超解像処理は、画素ごとの数値演算を繰り返す必要があるため非常に演算量が多く、PCへの適用は不向きであった。東芝は、既存の超解像方式に比べ演算量が少ない新たな方式を開発するとともに、超解像処理をメディアストリーミング処理プロセッサSpursEngine™向けに最適に設計することにより、SpursEngine™を備えたPCでの超解像処理を可能にした。

また、超解像技術をPC用アプリケーションへ適用するにあたり、フレーム内処理による超解像方式の“高画質モード”と、リアルタイム処理を可能にする“高速モード”の二つの超解像モードを開発した。

ここでは、開発した超解像技術の方式、ソフトウェア、及びアプリケーションへの応用について述べる。

2 画像の超解像技術

2.1 従来技術

画像データの画素数を増やすには、共一次内挿法などの補間フィルタを用いることが多い。しかしこれらの手法では、画素が増えた画像で表現が可能になる高い周波数成分は生成されず、出力画像はぼやけたものになってしまう。

これに対し、入力画像の解像度の限界を超えるという意味で超解像と呼ばれる画像の高解像度化技術の開発が進められている。超解像の方式としては、事例ベース方式、フラクタル方式など様々あるが、その一つである再構成方式は被写体本来の輝度を再現できる特長があり注目されている。

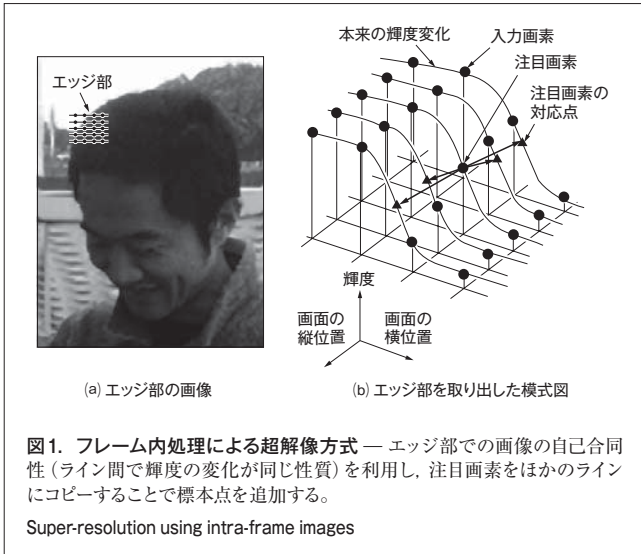
再構成方式では、動画像のフレームを高解像度化する際に前後のフレームを参照する。カメラや被写体にわずかでも動きがあれば、参照フレームの画素値は、処理フレームとは異なる位置で同じ被写体の同じ輝度変化を標本化した値になっている。そこで、フレーム間の動きを検出し、その動きに合わせて参照フレームの画素値を処理フレームの標本値として追加する。このようにして処理フレームにおける標本点の密度を高めた後に、凸射影法や事後確率最大化法といった再構成処理によって高解像度画像の画素値を算出する。

再構成方式は、動きを正確に検出できれば、高周波数成分が復元され、鮮鋭な高解像度画像が得られる。しかし、多くのフレーム間で動き検出を行うために膨大な演算とメモリが必要であった。

2.2 フレーム内処理による超解像方式

フレーム間の動きを利用する従来の再構成型超解像方式に対して、当社は、フレーム内処理による再構成型超解像方式を開発した⁽¹⁾。

フレーム間方式では、同じ輝度分布を異なる位置で標本化した画素が、処理フレームとは別のフレームにあることを利用



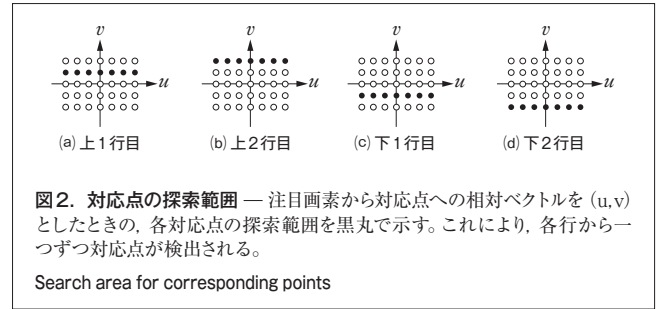
している。一方、フレーム内方式では、同じ輝度分布がフレーム内においても空間的に被写体の輪郭などのエッジに沿って存在する自己合同性と呼ぶ性質を利用する。

図1(a)のエッジ部を取り出した模式図を図1(b)に示す。スキャンラインごとの輝度変化を曲線で、低解像度の入力画素を●で表す。エッジ部の画素値はラインごとに異なるが、それらは同じ輝度変化を異なる位置で標準化したものになっている。そこで、各ラインの画素を一つずつ注目画素とし、エッジに対する相対的な位置が同じになる点をほかのラインから算出する。算出した点を注目画素の対応点と呼び、ほかのライン上にコピーする(▲点)。この例では、隣接する4ラインにそれぞれ対応点を追加している。ほかの画素についても同様に処理することで標本点を増やし、その後、再構成処理により高解像度画像の画素値を復元する。

この方式は、フレーム内での図柄の類似性を利用するだけなので必要な画像は1枚で済み、演算量とメモリ量がフレーム間方式の数分の一〜数十分の一と少ない。

この方式のアルゴリズムを以下に示す。

- (1) ステップ1 変数 $m = 1$ に設定する。
- (2) ステップ2 低解像度画像の第 m 画素がエッジ部にあるか否かを判定し、エッジ部にあればステップ3に、そうでない場合はステップ5に進む。
- (3) ステップ3 第 m 画素でのエッジの方向(上下方向あるいは左右方向)を判定する。
- (4) ステップ4 エッジが上下方向であれば、図2のように、第 m 画素をもとに上下の所定数の行からそれぞれ対応点を検出する。エッジが左右方向であれば、左右の列から同様に検出する。
- (5) ステップ5 低解像度画像のすべての画素の処理が終わっていればステップ6に進み、そうでない場合は、 m を一つ増やしてステップ2に戻る。



- (6) ステップ6 低解像度画像に補間フィルタを用いて高解像度画像を生成する。
- (7) ステップ7 低解像度画像の画素とそれぞれの対応点を用いて、凸射影法により再構成処理を行う。

3 超解像度化ソフトウェア

3.1 超解像処理におけるSPEの活用

今回 SpursEngine™ に実装したフレーム内超解像方式は、複数のフレームを用いる方式と比較して演算量を削減することができる。しかし、現在PCで使われている一般的なCPUを用いると、SDサイズからHD (High Definition) サイズに変換した場合に、フレーム内超解像の処理時間は映像再生時間の10倍以上になる。

そこで、SpursEngine™ に内蔵された複数のSPE (Synergistic Processor Element) (注1) を利用し、超解像処理をSPE向けに最適化することにより、処理時間を大幅に短縮した。コプロセッサ(注2)であるSpursEngine™ が超解像処理を受け持つことにより、メインプロセッサはPCのほかのタスク処理に専念できる。例えば、メインプロセッサでDVDプレーヤを動かしながら、SpursEngine™ で超解像による映像生成が可能になる。

3.2 ソフトウェア構成

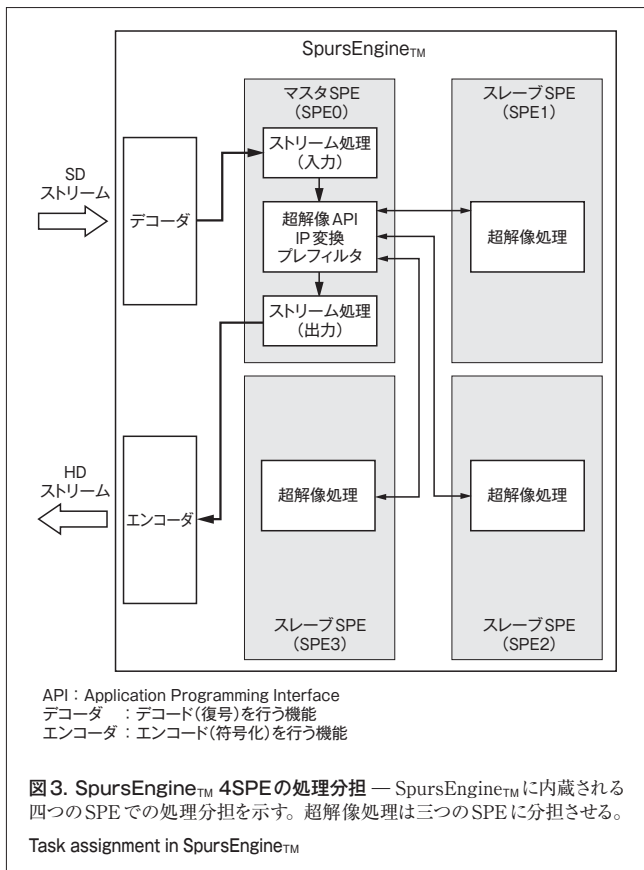
超解像ソフトウェアは、SpursEngine™ の映像処理の中で映像の解像度を変換(アップコンバート)する機能を提供する。

超解像ソフトウェアがSpursEngine™ に内蔵する四つのSPEでどのように実行されているかを図3に示す。SPE0をマスタSPE、マスタSPE以外のSPE1, SPE2, SPE3はスレーブSPEと呼ぶ。

SpursEngine™ における映像処理と超解像ソフトウェアのインタフェースをマスタSPEが分担する。インタフェースを介して投入された各映像フレームに対して、マスタSPEはIP (Interlace Progressive) 変換とノイズ除去を行い、スレーブ

(注1) 高性能な浮動小数点演算機能を持ち、独自の命令セットアーキテクチャを備えて、様々なメディアアプリケーションを効率的に処理可能なプロセッサコア。

(注2) 補助プロセッサ。



SPEは超解像処理を行う。

3.3 超解像処理のSPE向け最適化

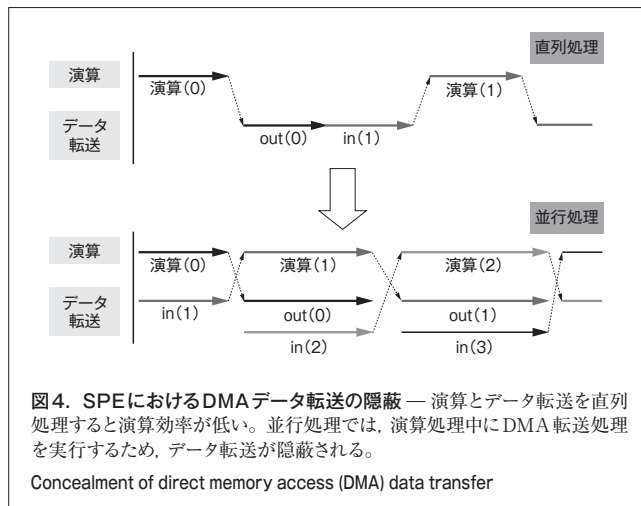
超解像処理は、前述のとおり非常に演算量の多い処理である。2.2節のアルゴリズムでは、特にステップ4の対応点に関する演算及びステップ7の凸射影法による再構成処理が、もっとも演算処理を必要とする。このような演算量の多い処理を、SpursEngine™内蔵のSPEへ実装する際の最適化手法について述べる。

3.3.1 メモリ管理

SPEでプログラムを実行するためには、プログラムやデータを外部メモリからSPEのローカルメモリへ転送する。ローカルメモリの容量は256 Kバイトに制限されているため、プログラムをSPEで実行するためには、ローカルメモリへのデータ配置を考慮する必要がある。

超解像処理の場合には、SDサイズ及びHDサイズの画像データを処理するが、SDサイズの画像は約500 Kバイト、HDサイズの画像は約3 Mバイト(それぞれYUV420方式^(注3)の場合)となるため、ローカルメモリに配置するためにはデータの分割が必要となる。そこで、SDサイズの画像の場合には、1フレームの画像データを縦に60分割、横に15分割して、900個

(注3) 色の表現方法であるYUV方式の一つで、2×2の4ピクセル(画素)の中から輝度情報(Y)を4サンプル、最初のラインの2ピクセルから輝度と青色成分の差(U)を1サンプル、次のラインの2ピクセルから輝度と赤色成分の差(V)を1サンプル採る方式。



のブロックを適宜ローカルメモリに配置することにした。HDサイズの画像データについても、同様に900個のブロックに分割して処理を行う。

ブロック単位で画像処理を行い、処理が完了したブロックを外部メモリへ書き戻した後に、新たなブロックをローカルメモリへ読み込む。このような処理を繰り返しながらプログラムを実行する。

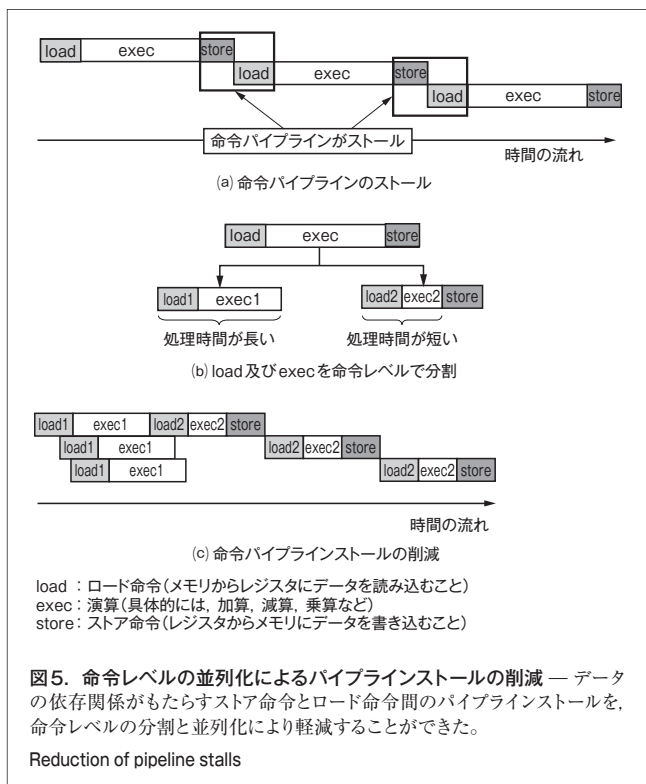
3.3.2 DMA転送

外部メモリとローカルメモリ間のデータ転送にはDMA (Direct Memory Access) を用いる。外部メモリとローカルメモリ間のDMA転送処理時間は、画像データのブロック分割数に比例する。もし、演算処理とDMA転送を直列に実行すると、DMA転送のオーバーヘッドが処理性能に与える影響が大きくなる。そこで、SPEにおける演算処理とDMA転送を時間的にオーバーラップさせて並列に処理することで、DMA転送のオーバーヘッドを軽減できる。

ダブルバッファを利用した演算とDMA転送の隠蔽(いんぺい)方法を図4に示す。ローカルメモリには演算処理に必要なデータのバッファを入力用、出力用にそれぞれ二つ用意する。演算(0)を実行中、演算(1)で利用するためのデータをDMA転送(in(1))によりバッファリングする。演算(0)が終了すると同時に、演算(1)はin(1)により転送されたデータを処理する。このとき、演算(0)の処理済データをローカルメモリから外部メモリへDMA転送する(out(0))。更に、演算(2)で利用するためのデータをDMA転送(in(2))によりバッファリングし、演算(1)が終了すると同時に演算(2)を開始する。このような手法を用いて、DMA転送のオーバーヘッドを隠蔽することができる。

3.3.3 SIMD演算と命令パイプライン

SPEは128ビット×128本の内蔵レジスタを持ち、2本の命令パイプラインを活用したSIMD (Single Instruction Multiple Data) 演算が可能である。ここで、SIMD演算とは、複数のデータに対して一つの命令を実行する演算であり、これにより4並列、8並列、16並列のデータ処理を実現できる。特に、映像データの



場合には、メモリ上に画素データを整列させてSIMD演算を活用することにより、処理速度を向上させることができる。

SPEには、128ビットレジスタに効率よくデータを配置するために、シャッフルと呼ばれる命令が用意されている。前述のとおり、ステップ4の対応点に関する演算処理は負荷が高いが、この処理でシャッフル命令を活用することにより処理効率を上げることができる。すなわち、周辺画素の探索処理において、メモリ上の画素と演算に必要な画素の配置が一致していない場合があるが、このシャッフル命令を用いることで、レジスタ上の画素配置を効率よく変換できる。

また、SIMDにより性能を向上させると、データの依存関係による命令パイプラインのストール(パイプラインが詰まること)が全体性能に与える影響を無視できなくなる。特に、ステップ7の凸射影法による再構成処理において、図5(a)に示すようなロード命令とストア命令によるパイプラインのストールが起り、処理負荷が高くなる原因となっていた。そこで、図5(b)に示すように、演算処理の長い部分と短い部分を分割することにより、パイプラインのストールの影響をできるだけ小さく抑えた(図5(c))。

4 超解像技術のアプリケーションへの応用

当社は、フレーム内処理による超解像方式である高画質モードと、再構成処理などを省略することによりリアルタイム処理を可能とした高速モードの二つの超解像モードを持つ、

“東芝グラフィカルビデオライブラリ”アプリケーションを開発し、デジタルビデオカメラなどから取り込んだ映像の超解像を可能にした。

また、高速モードをDVDプレーヤアプリケーションに適用することで、DVD映像のリアルタイム高画質変換を可能にした。高速モードは高画質モードに比べ鮮鋭感が不足するため、HD QosmioEngineと呼ばれる当社独自のカラーコントロール技術やシャープネス技術を併用することで、次世代DVDに迫る美しく鮮明な映像の再生を実現した。

5 あとがき

ここでは、SpursEngine™の高い処理能力を生かした、超解像による高画質化技術について述べた。

映像のデジタル化とネットワーク化が進み、ネットワークから配信される映像をPCでより鮮明に視聴する要求が高まっているため、今後はネットワークで配信される映像の高画質化を検討していく。ネットワークで配信される映像は、DVDビデオ映像と比べて低解像度でかつノイズが多いため、超解像技術とノイズ除去技術を組み合わせるなどの新たな技術検討が必要である。

今後も、PCで扱うすべてのコンテンツを美しく快適に視聴できるPCの実現を目指していく。

文献

- (1) 井田 孝, ほか. “画像の自己合同性を利用した再構成型超解像”. 電子情報通信学会技術報告. IE2007-135. 名古屋, 2007-12, 電子情報通信学会. 2007, p.135 - 140.



熊谷 明 KUMAGAI Akira

PC&ネットワーク社 PC開発センター PCソフトウェア設計 第二部グループ長。PC向けソフトウェアの開発に従事。 PC Development Center



井田 孝 IDA Takashi, D.Eng.

研究開発センター マルチメディアラボラトリー研究主幹, 工博。画像高画質化のアルゴリズム開発に従事。IEEE, 電子情報通信学会会員。 Multimedia Lab.



田中 明良 TANAKA Akira

デジタルメディアネットワーク社 コアテクノロジーセンター エンベディッドシステムコア技術開発部主務。組込みシステムのソフトウェアの研究・開発に従事。 Core Technology Center