

SpursEngine™による ネット配信動画の高画質化技術

Image Quality Enhancement Technology for Online Contents Utilizing SpursEngine™

中村 誠一

菊池 義浩

田中 明良

金子 敏充

■ NAKAMURA Seiichi

■ KIKUCHI Yoshihiro

■ TANAKA Akira

■ KANEKO Toshimitsu

近年、ネットワークインフラの高速化に伴い、ユーザーがホームビデオで撮影した動画などを気軽に配信するためのシステムが急速に普及してきた。これら、ネットワーク配信（以下、ネット配信と略記）される動画の画質は、DVDなどに比べるとあまり良い状態ではない。これまでDVDなどを高画質化する技術が様々な方面から提案されてきたが、これらのネット配信動画に対しても、高画質化を切望する声が多く聞かれるようになってきた。

東芝は、このようなニーズに応えるために、既に実用化しているDVDなどの高画質化技術を発展させ、ネット配信動画に特化した新しい高画質化技術を開発した。

The wide dissemination of high-speed Internet access in recent years has led to the increasing popularity of content distribution systems that allow contents such as homemade videos to be easily distributed via the Internet. However, the image quality of such online contents distributed by these systems is often not as good as that of digital versatile disc (DVD) contents. Demand has therefore been increasing for the development of a technology to improve the image quality of these online contents to a level equivalent to that of standard definition (SD) video contents such as DVD contents.

To meet these requirements, Toshiba has developed a new real-time image quality enhancement technology that enables Internet users to watch online contents with high-quality images utilizing the advanced video processing performance of the SpursEngine stream processor.

1 まえがき

東芝は、当社のAV技術とパソコン(PC)技術を融合させたAVノートPC Qosmio™を2004年に発表して以来、様々な映像技術を搭載したQosmioシリーズを発表してきた。更に2008年からは、当社製4コア搭載のメディアストリーミングプロセッサSpursEngineを内蔵したQosmioを発表した。このように、当社はAVノートPCに新しい方向を示し、SpursEngineとの連携による新たな高画質化技術に取り組んできた。

近年、ネットワークインフラの高速化に伴い、ユーザーがホームビデオなどを気軽に配信するためのシステムが急速に普及してきたが、それらで配信される動画は比較的画質である。当社は、これらの低画質動画を高画質化するため新たな技術開発に取り組み、今回その技術をSpursEngine上に実装して、ネット配信動画をリアルタイムで高画質化するアプリケーションとして製品化した。

ここでは、ネット配信動画に対する課題、その解決方法、及びこの新しい技術を組み込んだアプリケーションの構成について述べる。

2 ネット配信動画の課題

ネット配信動画は、デジタルノイズ、動き、色彩、低解像度な

どに課題がある。

2.1 デジタルノイズ

ユーザーは、カメラ又はPCで映像を圧縮し、配信業者が管理しているサーバにアップロードする。そのとき、配信されるまでに別の圧縮方式に変換されることがあり、変換によるデジタルノイズが発生しやすい。

2.2 動画の滑らかさ

ネット配信動画では、同じフレームの繰り返し(リピートフレーム)が含まれていることがあり、フレームレート(1秒間に表示されるフレーム数(単位:fps))が一定にならないことがある。このような状態が発生すると、動きがごこちなく感じられる。

2.3 色彩

ネット配信動画をPCで視聴すると、全体的に暗くなったり、明るすぎたり、鮮やかさに欠けることが多い。

2.4 低解像度

手軽に動画配信を楽しんでいるユーザーは、低解像度で小さな動画ファイルを作成し、配信を行っている。これらの動画を再生すると、ぼやけて、デジタルノイズが多い動画となる。

3 課題の解決方法

課題を解決するための動画処理は、一般に非常に多くの計算量を必要とし、リアルタイム処理を行うことは困難である。

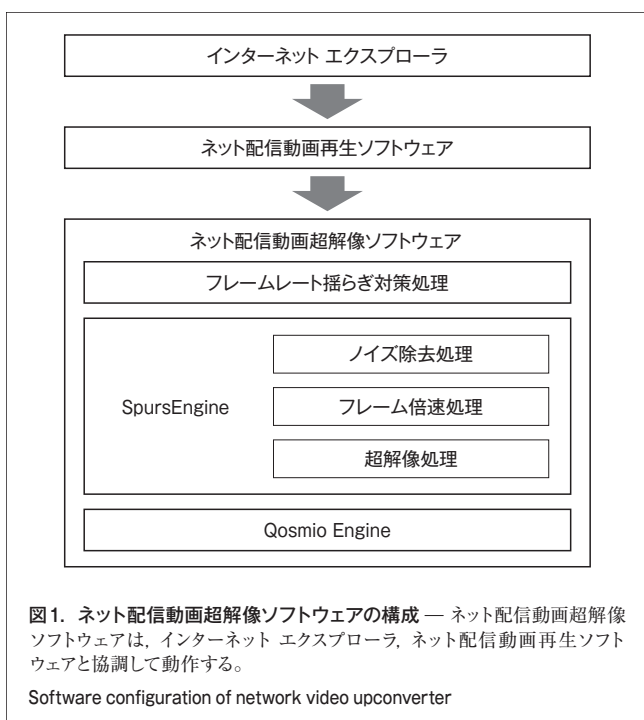
しかし、ユーザーのニーズを考慮すると、高画質化された動画をリアルタイムで視聴できる必要がある。今回、この高画質化による計算負荷の増大とリアルタイム性という二律背反に対して、二つの対策を実施した。

- (1) 高画質化アルゴリズムの効果とアルゴリズムの負荷を測定し、低負荷でありながら高画質化が可能なアルゴリズムの組合せを選定
- (2) リアルタイム性を向上させるため、SpursEngine内でアルゴリズムの実行を並列化

二つの対策を実施した結果、リアルタイム性を維持しながら高画質を実現した。今回実装したネット配信動画超解像ソフトウェアの構成を図1に示す。また、ネット配信された動画の処理順序を以下に述べる。

- (1) インターネット エクスプローラにより、動画配信サイト上のコンテンツを選択
- (2) ネット配信動画再生ソフトウェアによりビデオの再生を開始し、その画像を取得
- (3) フレームレート揺らぎ対策処理により、フレームの繰返しを除去
- (4) ノイズ除去処理により、デジタルノイズを除去
- (5) フレーム倍速処理で、フレーム間を補間
- (6) 超解像処理で画像を分析後、解像度を改善
- (7) 高画質化ソフトウェア Qosmio Engineで色彩などを調整し、めりはりのある画像に変換して表示

これらの処理のうち、SpursEngineではノイズ除去処理、フレーム倍速処理、及び超解像処理を行っている。



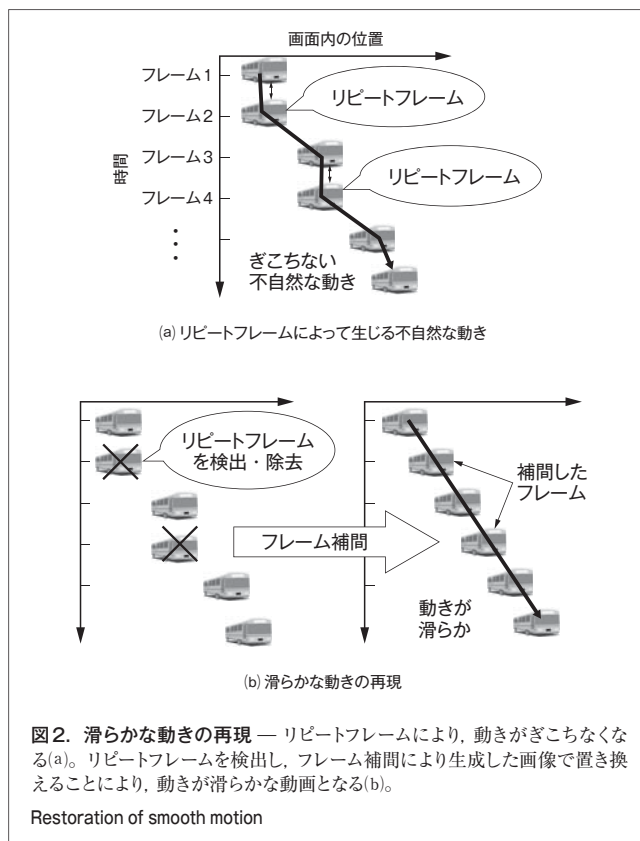
4 高画質化技術

4.1 フレームレート揺らぎ対策処理

ネット配信動画は、フレームレートが30 fpsのデータであってもリピートフレームが含まれていることが多く、実質のフレームレートは30 fpsよりも低い(図2(a))。例えば、2フレームに1フレームの割合でリピートフレームが含まれている場合は、実質15 fpsのフレームレートしかなく、動きがぎこちなく感じられる。また、不規則にリピートフレームが挿入されているため見た目のフレームレートが揺らいでしまい、動きを不自然に感じることも多い。

このようなリピートフレームにより生じる不自然な動きを除去して、元の自然な動きを再現するために、リピートフレームを検出して除去し、代わりに、動きを滑らかにする画像を合成して挿入する処理を行っている(図2(b))。

リピートフレームの検出は、二つのフレーム間の相違度に対するしきい値処理によって行う。しきい値は、動きの少ない場面では小さな値に、動きの大きい場面では大きな値になるように制御している。これにより、動きの小さいシーンでの未検出と、動きの激しいシーンでの誤検出を抑制することができる。また、リピートフレームの代わりに挿入する画像の合成には、フレーム補間技術であるFrameBoosterTM(¹)を用い、4.3節のフレーム倍速処理を実現している。



4.2 ノイズ除去処理

ネット配信動画は、一般に高い圧縮率でデータが圧縮されているため、デジタル画像の圧縮に特有なブロックノイズ^(注1)やモスキートノイズ^(注2)が発生する。そこで、画像のエッジやテクスチャ(模様)をぼかさずにノイズを除去するため、適応的な平滑化処理を行う。

まず、入力画像の各画素の輝度値をラスタスキャン順に並べた列ベクトルを \mathbf{y} 、同様に出力画像を \mathbf{x} とする。このとき、エネルギー関数 E を次の(1)式により定義する。

$$E(\mathbf{x}) = \|\mathbf{y} - \mathbf{x}\|^2 + \lambda \|\mathbf{H}\mathbf{x}\|^2 \quad (1)$$

エネルギー関数の第1項は、入力画像と出力画像の差分に対するペナルティである。また、第2項は画像を平滑化してノイズを除去するための正則化項であり、二つの項の重みはパラメータ λ によって調整される。エネルギー関数を最小にする画像 \mathbf{x} を算出することにより、入力画像を大きく変えることなくノイズを除去することができる。エネルギー関数の最小化は、以下の更新式(2)を繰り返すことにより行う。ただし、 $\mathbf{x}^{(n)}$ は更新処理を n 回繰り返したときの出力画像、 β は更新の速度を調整するパラメータである。

$$\mathbf{x}^{(n+1)} = \mathbf{x}^{(n)} + \beta \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}} E(\mathbf{x}^{(n)}) \quad (2)$$

エッジやテクスチャのようにぼかしたくない領域では、隣接する画素間での輝度差が大きくなっている。一方、ノイズの目だつ平坦領域では、隣接画素間の輝度差は小さい。そこで、隣接画素間の輝度差に応じて平滑化の強度を制御するため、行列 \mathbf{H} を(3)式のように定める。

$$\|\mathbf{H}\mathbf{x}\|^2 = \sum_{(i,j) \in N} \exp\left(-\frac{(y_i - y_j)^2}{2\gamma}\right) (x_i - x_j)^2 \quad (3)$$

ここで、 y_i, y_j は \mathbf{y} の要素、 x_i, x_j は \mathbf{x} の要素である。また、 N は隣接画素の集合であり、 $(i,j) \in N$ は二つの画素、 y_i, y_j 及び x_i, x_j が隣接していることを表している。 γ は隣接画素の輝度差に対する平滑化の強さの変化を決定するパラメータであり、画像の小領域ごとに、その領域内の輝度のばらつきを評価して決定する。このように \mathbf{H} を定めることにより、画像のエッジやテクスチャを損なうことなく、ブロックノイズやモスキートノイズを除去することが可能になる。

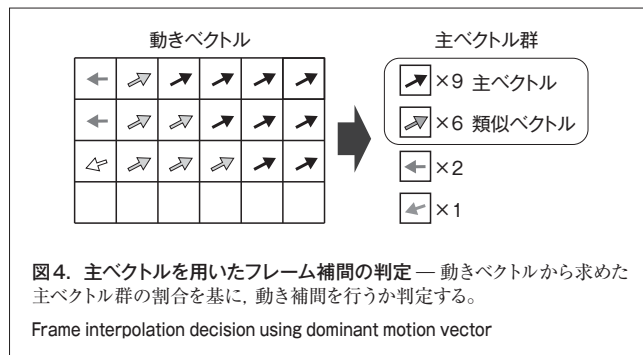
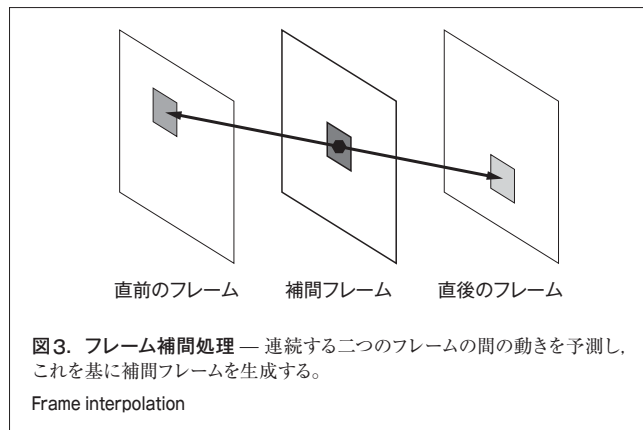
4.3 フレーム倍速処理

ネット配信動画は30 fps以下だが、Qosmioのディスプレイは60 fpsの表示能力を持つ。そこで、フレーム数が倍になるように補間処理を行い、4.1節のフレームレート揺らぎ対策処理と組み合わせて滑らかな動画再生を実現している。

フレーム倍速処理では、連続する二つのフレームの間の動き

(注1) 画像がモザイク状に見える現象。

(注2) 画像の輪郭部分などに、まどわりつくようにもやもやが現れる現象。



を予測し、これを基に補間フレームを生成する(図3)。しかし、このような動き予測と補間は膨大な処理量を必要とするだけでなく、動きがうまく求められない場合に無理に補間を行うと、補間画像に乱れを生じ、かえって画質が劣化することがある。そこで、以下のような場合は動き補間を行わないよう判定処理を導入した。

- (1) 動きがまったくない(静止した画像)
- (2) 動きに連続性がない(動きの予測が困難)
- (3) 支配的な動きが多数ある(動きの境界の再現が困難)

まず、静止領域判定を行い、動きがまったくないと判断された場合(上記(1))は、むだな処理を省くため動きの予測と補間を行わない。次に、ブロックごとに求めた動きベクトルを基に、フレーム内にもっとも多く存在するベクトル(主ベクトル)を算出する。主ベクトルとこれに類似するベクトルを合わせた主ベクトル群が、フレーム内に占める割合が一定以下の場合には上記(2)、(3)と判定し、動き補間を行わない(図4)。

以上の判定処理により、SpursEngine内の一つのSPE(Synergistic Processor Element)でフレーム倍速処理を実現した。

4.4 ソフトウェア並列処理

ネット配信動画に対する高画質化技術として超解像を含むアップスケール処理が行われている。これは、本来 640×360 画素の解像度の画像を縦及び横ともに2倍の拡大伸長を行い $1,280 \times 720$ 画素にするとともに、フレーム内超解像となる再

構成法を用いた超解像処理により、従来課題となっていた拡大によるボケのない、鮮鋭感の高い画像にする高画質化処理である。また、この超解像を含むアップスケール処理において、当社独自のマルチコア向けソフトウェア技術を応用したソフトウェア並列処理を実装した。ここで並列処理とは、1フレームのアップスケール処理対象画像領域を水平に7分割し、分割された領域単位で複数のSPEコアを割り当てて処理することである。

超解像を含むアップコンバート処理は、大きく二つの処理ステップに分割されている。第1ステップは、超解像処理に必要な元画像のエッジ情報、テクスチャ情報、及び平坦部情報の検出処理とアンシャープマスク処理^(注3)である。第2ステップは、元画像を2倍にアップスケール(拡大伸長)する処理と第1ステップで検出した情報を利用した超解像処理である。ここで、超解像を含むアップスケール処理にはSPEを2個割り当てて実行する構成となっている。

今回のソフトウェア並列処理では、7分割された画像領域のそれぞれについて前述の2段のステップを行う処理を、正しい順序で効率よく2個のSPEに割り当てられるようにしている。例えば、超解像処理に必要なエッジ成分やテクスチャ成分、平坦部検出など画像情報取得の処理負荷は、ある1フレームにおいても、分割された七つの画像領域ごとに異なる可能性がある。

計算時間の異なる複数の処理を、正しい順序を維持しながら適応的に二つのSPEに割り当てないと、SPEの利用効率が悪くなるため十分な性能を得ることができない。そこで、ソフトウェア並列処理を使えば、分割した領域ごとの二つのステップの実行順序を正しく維持しながら、実行時間の負荷変動に適切して各ステップを二つのSPEに割り当てることができる。これにより、並列化のためのSPEの利用効率損失を低く抑えることができ、二つのSPEによる実行で一つの場合に比べてほぼ2倍の性能を得ることができる。また、単純に1フレームにつき一つのSPEを割り当てて並列化する方法と比べて、必要なメモリ使用量を削減でき、入力フレームが到着してから出力フレームを出力するまでの遅延時間を1/2に短縮することができた。

5 画質の評価

鮮鋭感、動画の滑らかさ、ノイズの少なさ、及び色合いを主観評価した。3段階評価で、「効果がわからない」を1、「効果が少しわかる」を2、「効果がはっきりわかる」を3として、50タイトルの平均点を求めた。その結果、色合いは約2.6、鮮鋭感約1.8、動画の滑らかさは約1.9、ノイズの少なさは約1.2とな

(注3) 画像を鮮鋭化(輪郭など変化の激しい部分を強調)する処理。

り、すべての項目において良い結果を示した。

鮮鋭感、超解像処理で画像のエッジを保ったまま拡大処理を行うことにより効果を得ている。また、動画の滑らかさは、フレームレート揺らぎ対策処理とフレーム倍速処理により、ノイズの少なさは、ノイズ除去処理によりそれぞれ効果を得ている。更に、色合いについては、Qosmio Engineにより、いっそう鮮やかな色彩の効果を得ている。

6 あとがき

ここでは、SpursEngineの高い処理能力を生かしたネット配信動画の高画質化技術について述べた。

ノイズ除去処理では、平滑化強度の局所的な制御により、画像をぼかさずにノイズを除去できるようにした。しかし、符号化ブロックの境界で輪郭線の方向が変化してしまうなど、平滑化だけでは対応できない部分も残されている。今後は、エッジやテクスチャといった性質に合わせて画像の局所的な構造を推定することで、ノイズを強力に除去しながら画像本来の構造を復元する技術の開発を進めていく。

文献

- (1) 伊藤 剛, ほか. 液晶テレビの動画高画質化技術—ソフトウェア処理からハードウェア処理へ. 東芝レビュー. 62, 8, 2007, p.26-30.



中村 誠一 NAKAMURA Seiichi

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主務。PC向けソフトウェアの開発に従事。
PC Development Center



菊池 義浩 KIKUCHI Yoshihiro

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技術開発部グループ長。コーデック・映像音響処理の開発に従事。
Core Technology Center



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



金子 敏充 KANEKO Toshimitsu, D.Eng.

研究開発センター マルチメディアラボラトリー主任研究員、工博。画像高画質化技術の研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。
Multimedia Lab.