

圧縮符号化情報を利用した HDTV 映像の高速画面結合手法 A Fast HDTV Stitching Method Using Compressed-Domain Information

清水 智行[†] 米山 暁夫[†] 滝嶋 康弘[†]
Tomoyuki Shimizu Akio Yoneyama Yasuhiro Takishima

1. まえがき

地上デジタル放送や HDV カメラなど、民生向け映像機器の HDTV 化が急速に進んでいる。また、プロ向け映像装置においても、デジタルシネマやスーパーハイビジョン (SHV) など、更なる高解像度化が進んでいる。

既に SHV コーデックの実装方式が提案されている [1]。これは、SHV 映像を入力し、構成した後、 $2 \times 2 = 4$ 個の MPEG-2 HDTV ストリームとして並列に符号化し、多重化することによって、SHV 映像のリアルタイム生成を実現するものである。一方、4 個の独立した MPEG-2 エンコーダを同期させる必要があるため、エンコーダ、デコーダ双方において専用の高価な装置が必要となる。

そこで本稿では、MPEG-2 で符号化された複数の HDTV 動画像を空間方向に高速結合して 1 つの高解像度 MPEG-2 ストリームとして出力する手法を提案する。本手法では、結合にあたって必要最低限の符号化情報の再符号化を行い、それ以外の多くの符号化情報を保持したまま結合処理を行うことによって、ソフトウェア実装でも高速なストリーム結合を実現する。

2. システム概要

本稿では、撮影範囲が隣接する 2 つのカメラ動画像を入力として、横方向に結合して入力の 2 倍の解像度を持つ MPEG-2 ストリームを出力する方式について述べる (図 1)。なお、本方式では、理論的には HDV カメラの台数を増加させることによって、任意の倍数の解像度に拡大させることが可能である。

入力動画像の符号化条件は以下の通りとする。

- 入力映像は、同一機種種の HDV 1080i カメラで撮影されたものとする。(1440×1080 画素、インタレース、ピクチャ構造(M, N) = (3, 15)、30fps、約 25 Mbps)
- ピクチャタイプ (I, P, B) は 2 入力間で完全に同期しているものとする。

3. ストリームの画面結合

本稿では、2 つの MPEG-2 動画像を高速に画面結合するために、ビットストリームの情報をなるべく保持したまま、位置の並べ替えおよび関連するパラメータの統合・修正によって画面結合を行う。MPEG-2 ビデオのビットストリームは、以下に示すレイヤで構成されている。

- シーケンス
- ピクチャ
- スライス: 連続するマクロブロックの列
- マクロブロック: 16×16 画素単位のブロック



図 1: 高速画面結合の概要

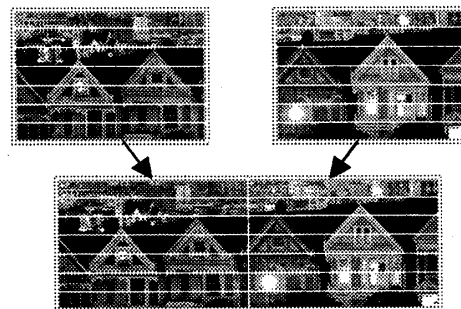


図 2: スライスの並べ替え

各レイヤはそれぞれのヘッダ情報を保持しているため、シーケンスレイヤおよびピクチャレイヤでは、複数の入力のヘッダ情報を一つのヘッダ情報として統合する。これに伴う矛盾が発生しないように、適宜ストリーム中のデータを書き換えながら、スライスとマクロブロックの並べ替えを行うことで、高速な画面結合を実現する。

3.1 シーケンスレイヤ

シーケンスレイヤでは、画面サイズを横 2 倍に書き換え、V BV バッファサイズを入力ストリームの合計値で置き換える。

3.2 ピクチャレイヤ

入力動画像の符号化条件は同一であるため、ほとんどのピクチャヘッダの情報は 2 入力間で同一となるが、撮影対象の違いによって、下記のパラメータがピクチャ毎、および入力毎に異なる。

- f_code : ピクチャ内の動きベクトル(MV)の範囲を表す。画面内の動きに応じて値を調整することによって、MV の符号量を削減することができる[2]。

[†](株)KDDI 研究所, KDDI R&D Laboratories, Inc.

- `intra_dc_precision`: イントラ符号化されたマクロブロックの DC 係数のビット精度を表す。

いずれのパラメータについても、ヘッダ書き換えにより、影響し得るマクロブロック内の情報に対して、値の制限との矛盾が発生しないようにするため、入力中に含まれるパラメータのうち、最大値を結合後のヘッダに採用することとする。

3.3 スライスレイヤ

スライスレイヤでは、入力画像のスライスの並べ替えを行う。具体的には、左側の入力画像と右側の入力画像のスライスを左右に並べ、これらを全てのマクロブロック列において繰り返す(図2)。すなわち、入力画像のスライスの形状は保持されたままとなる。

3.4 マクロブロックレイヤ

3.2 節および 3.3 節のヘッダ情報書き換えに伴い、マクロブロックレイヤ中のいくつかのパラメータに対して影響が及ぶ。

まず、スライスの並べ替えに伴い、マクロブロックアドレスの修正が必要となる。これは、図2に示す並び方に合わせて再び番号を順番に振り直す。

MV およびイントラ DC 係数については、`f_code` および `intra_dc_precision` の書き換えによる矛盾を解消するため、関連するパラメータを元のヘッダ情報で一旦復号し、統合後のヘッダ情報に合わせて再度符号化する必要がある。

MV は、 $\text{motion_code} \times 2^{(f_code-1)} + \text{motion_residual}$ の形で成分毎に符号化される。従って、まず元の `f_code` に従って MV を復号してから、統合後の `f_code` に合わせて再度 `motion_code` と `motion_residual` を符号化する。

イントラ DC 係数は、`intra_dc_precision` によって指定されたビット精度で表現した値を `dct_dc_size` と `dct_dc_differential` の2つのパラメータに変換したものが符号化される。従って、まず DC 係数を復号した後、統合後の `intra_dc_precision` でのビット精度表現に修正してから、再度 `dct_dc_size` と `dct_dc_differential` を符号化する。

3.5 画質および符号量への影響

2 入力画像間の境界はスライスによって区切られているため、MV の予測符号化に対する影響は発生せず、入力と同じ MV を保持できる。また、DCT 係数についても、入力画像と全く同じ値として復号可能な状態を保つように、結合後のストリームのデータを生成する。従って、完全に入力画像と同じ復号画像を再現できるため、本手法による画質の劣化は一切発生しない。

ただし、MV やイントラ DC 係数の再符号化、ヘッダの統合が発生するため、符号量の変化が生じる可能性がある。

4. 実験

提案手法による結合処理を PC 上で実装し、実験によって性能検証を行った。2 章で述べた符号化条件に準拠した2つの MPEG-2 (HDV) ストリームを入力として用い、フレーム数は 1606 (53.5 秒相当) である。なお、入力画像は三脚で固定されたカメラを利用して、屋内で撮影した。

表1に、入力ストリームを復号して得られた非圧縮画像を結合して再符号化した時の処理時間と、提案手法によって画面結合を行ったときの処理時間を示す。提案手法によると、復号してから結合処理を行う場合に比べて約 5.17 倍

表1: 処理速度比較 [sec]

復号+結合+再符号化	提案手法
931.36	180.32

表2: ストリーム符号量比較

	符号量 [byte]	ビットレート [Mbps]
(1) 入力画像(左)	167,367,874	25.011
(2) 入力画像(右)	167,358,107	25.010
(1)+(2)	334,725,981	50.021
(3) 提案手法	335,477,505	50.134
(3)-(1)+(2)	751,524	0.112

表3: フレーム平均符号量増加 [bit/frame]

ピクチャタイプ	I	P	B
フレーム全体	2,034.168	2,812.804	4,426.363
MV		784.808	2,399.621
MV 以外	2,034.168	2,027.996	2,026.742

の速度での画面結合が可能である。

符号量の変化を検証するため、ストリーム全体の符号量の変化、およびピクチャタイプ別に 1 フレームあたりの平均符号量増加を調べた。結果を表2,3に示す。

表2によると、提案手法による画面結合の結果、入力ストリームに対する符号量増加が約 112kbps であり、元の符号量の約 0.22% となっている。

表3より、双方向フレーム間予測を行うために MV の符号量の大きい、B ピクチャにおける符号量増加が最も大きくなっている。MV を除いた符号量については、どのピクチャタイプにおいても、マクロブロックアドレスの変更に伴う符号量増加が同程度発生している。

なお、本実験で使用した入力画像においては `intra_dc_precision` の書き換えが発生しなかったが、撮影に利用した HDV カメラでは、ごく稀に異なる値を示すフレームが発生することが確認されている。

5. 結論

本稿では、MPEG-2 で圧縮符号化された2つの動画像を高速に画面結合する手法を提案した。本手法によると、ヘッダの統合に伴う矛盾解消のためのパラメータ補正を行いつつ、書き換え不要なデータを保持して画面結合を行うため、画質劣化を伴わずに画面結合が可能である。

また、2つの入力を別々に復号して画面結合したものを再符号化する場合に比べて約 5 倍の処理速度で画面結合が可能である。一方、本手法による符号量増加は 0.22% 程度である。

今後の課題として、ピクチャタイプが非同期の場合に関する検討を行う予定である。

参考文献

- [1] K. Nakamura, et al, "Super High Resolution Video Codec System with Multiple MPEG-2 HDTV Codec LSI's," *IEEE Proc. ISCAS 2004*, vol. III, pp.793-796, 2004.
- [2] 大塚、内藤、猪股、「HDTV 高圧縮技術～MPEG-2 低ビットレート化の検討～」、映像情報メディア学会技術報告 Vol.26, No.31, BCS2002-12、2002年3月