

動き補償型フレームレート変換における 視覚特性を考慮した映像処理技術

荻野昌宏[†] 高野橋健太[†] 福田伸宏[†] 中嶋満雄[†] 浜田宏一^{††}

概要: 動き補償型フレームレート変換では、高品位な動画画質を得るための鍵となる高精度な動きベクトル検出の演算量を減らすことが大きな課題となっている。本論文では、動きベクトル検出高精度化アプローチに加えて、動きベクトル誤検出による映像ノイズ(破綻)の抑圧に焦点をあて、人間の動画視聴シーンにおける効果的な破綻抑圧手法を検討する。提案手法により、回路規模の増大を抑え、高品位な動画表示を実現することが可能となる。実験において、PSNR, SSIM, 及び動画の主観評価において、本技術の優位性を確認した。

キーワード: 画像処理, 動きベクトル, 動き補償, フレームレート変換

Image Processing Technology in consideration of the Visual Characteristics in Motion Compensated Frame Rate Conversion

MASAHIRO OGINO[†] KENTA TAKANOHASHI[†] NOBUHIRO FUKUDA[†] MITSUO NAKAJIMA[†]
HAMADA KOUICHI^{††}

Abstract: In motion compensated frame rate conversion, how to realize the high quality motion image in low computational complexity is one of the big issues. In this paper, we focus the suppression of image artifacts by false motion vector detection and propose the effective image artifacts suppression method in motion image viewing in consideration of human property in addition to the approach of high accuracy of estimating motion vector. The proposed technology realizes coexistence with the low computational complexity and the high quality motion image. In examination, the proposed technology realizes better PSNR, SSIM and subjective picture quality than the conventional method.

Keywords: image processing, motion vector, motion compensation, frame rate convertor

1. はじめに

動き補償処理とは、動画像におけるフレーム間の動き情報を同定する技術である。例えば符号化やフレームレート変換(Frame Rate Conversion: FRC)へ応用されており、DTVやカメラ等多くのアプリケーション[1]-[3]に活用されている。動きの検出方法としては、ブロックマッチング法、画素マッチング法、階層型マッチング法等多くの手法が提案[4]-[6]されているが、共通する課題は、二律背反の関係にある精度と処理量(回路規模)である。つまり、システムを組む場合には、この2つのバランスを十分に考えた処理が重要となる。本論文では、動き補償型フレームレート変換(Motion Compensated FRC: MC-FRC)において、視覚特性の観点から好適な映像補償により、このバランスの最適化を試みる。具体的には、処理量を抑えた MC-FRC における動きベクトル検出高精度化アプローチに加えて、動きベクトル誤検出による映像ノイズ(破綻)の抑圧に焦点をあて、特に動き物体の周囲に発生する映像破綻を軽減させることにより、人間の動画視聴シーンにおける効果的な破綻抑圧手法を検討する。つまり、必要な領域は高精度化、視覚特性

上クリティカルでない領域は抑圧という考え方を重視することで、低処理量、且つ高視認な動画像表示を実現する。

以下、2章では、関連する研究について述べ、3章では解決すべき課題を説明する。4章で提案アルゴリズムを詳説し、5章で画質に関する評価、及び実験結果について述べる。最後に6章でまとめる。

2. 関連研究

MC-FRC では、高精度な動きベクトル検出をいかに少ない演算量で実現するかという研究が行われている。

一つは MPEG, H.264 等の映像圧縮時に求められる動きベクトル情報を利用するというアプローチ[8]がある。映像圧縮時に用いる動きベクトルは本来の動きを表していない(表す必要がない)場合があるが、最も演算量に影響する動き探索範囲をある程度最初から絞ることができるメリットが考えられる。また、階層型マッチング法の研究も進化しており、Gaussian や Laplacian Pyramid を用いてより高精度な Coarse-to-Fine 探索を実現する取り組み[5]が研究されている。ただし、一般的に映像圧縮は複数フレームから動きベクトルを検出するが、MC-FRC では映像処理の遅延時間を最小化するために前後2フレームの情報から補間フレームを作り出すその原理上から、正確な動きベクトルを求めることが難しい映像シーンが存在する。そうしたシーン

[†](株)日立製作所 横浜研究所
Yokohama Research Laboratory, Hitachi, Ltd.
^{††}(株)日立製作所 中央研究所
Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

に対しては、ベクトルメディアンフィルタ[9]や、周囲ベクトルによる補正処理[8]等が研究されている。

また補間フレーム画質評価には、オリジナルフレームとの PSNR, SSIM[7]の測定が一般的である。

3. 解決すべき課題

MC-FRC では、ある特定の映像シーンにおける動きベクトル誤検出が映像破綻を引き起こす。この映像破綻の見え方が MC-FRC の性能指標の一つである。そのような映像シーンの代表的なものを表 1 にまとめる。これらの映像破綻への一般的な対応方法は、動きベクトル探索範囲を拡げる、双方向や階層型検出を行う、といった動きベクトルの精度を高めることである。しかしこれらの手法は処理量増大につながり、加えて画質的にも改善の見込めないシーンや、逆に映像破綻が増加するシーンが出てくると考えられる。

表 1 映像破綻シーン

Table 1 Scenes of image artifacts

No.	内容	対応方法
1	複数の動きが混在	動きベクトル探索精度向上
2	物体交差(オクルージョン)	動きベクトル探索精度向上
3	高速な(大きな)動き	動きベクトル探索範囲拡大

一般的な MC-FRC の処理構成を図 1 に示す。現在と過去の 2 フレーム画像から動きベクトル検出を行う動き推定部(Motion Estimation)、得られた動きベクトルを平滑化するなどの処理で特異点を除去する動きベクトル補正部(Motion Correction)、動きベクトルを用いて補間フレームを生成する補間フレーム生成部(Interpolation)である。従来手法では、映像破綻への対応として、上記した動きベクトルの精度向上のために、動き推定部の高精度化へ向けた工夫がなされている。表 1 の No.1.に関しては様々な Coarse-to-Fine 探索のアプローチ[5], No.2.に関しては、双方向動きベクトル探索[10], No.3.に関してはサブサンプルを利用した探索範囲拡大[6], 3 フレーム以上による探索[8], などである。しかしどのアプローチも処理量は増大する方向であり、映像シーンによっては必ずしも改善ができる保証はなく破綻可能性が残る。

本提案では、表 1 の映像シーンを解析し、No.1.に関しては、効率的な動きベクトル探索手法と、動きベクトルヒストグラム解析による破綻抑圧処理による対応を検討する。No.2.に関しては、オクルージョン領域を抽出し、破綻抑圧処理を検討する。No.3.に関しては、人間の視覚特性上捉えられないような早い動きには追従せず、映像破綻抑圧方法に注力する。以上のような戦略により、低処理量で評価に用いた全ての映像シーンに対して安定的に高視認な動画画質を実現する MC-FRC 処理を目的とする。

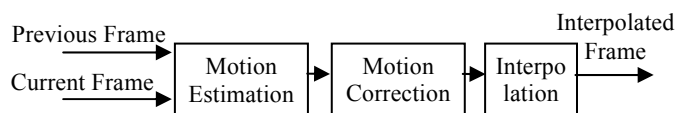


図 1 MC-FRC 処理構成

Figure1 Processing Flow of MC-FRC

4. 提案アルゴリズム

本章では、提案手法の詳細について述べる。

4.1 全体処理構成

本提案による MC-FRC の処理構成を図 2 に示す。図 2 に示すように、本提案では、独自の高精度な動きベクトル検出部(Motion Estimation)に加え、従来の補間フレーム生成部を動的に制御するマイコン(Microcomputer)を配置し、また破綻抑圧部(Artifacts Suppression)を装備している点が特徴である。本構成により、最適な破綻抑圧方法を実現し、高視認動画画質を得ることができる。以下、それぞれの処理における本提案の特徴部分について説明する。

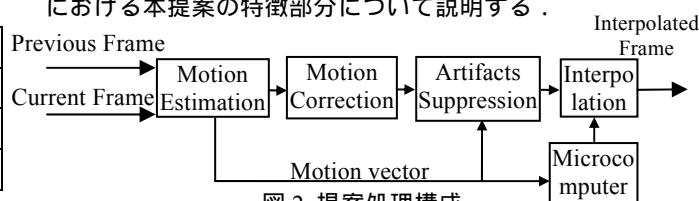


図 2 提案処理構成

Figure2 Processing Flow of proposed method

4.2 動きベクトル検出処理

先に述べたように、MF-FRC で最も重要な処理である。但し、最も処理量を必要とする部分でもあり、高性能、低処理量を両立する手法が望まれる。本提案では、ブロック 3 次元相関方式を考案し、採用した。動きベクトル検出の一般的な手法としては、ブロックマッチング法[6]が知られている。また、我々はピクセル単位でマッチング処理を行う独自の 3 次元相関方式を考案しており、図 3 にそれぞれの概念図を示す。特徴として、図 3(a)では例えば 5x5 pixel といったブロック単位でマッチングを行うため、周囲情報を含めた動きを捕えることができ、精度が高い。但し、ブロック歪みの発生や、ブロック化処理が必要等により回路規模が大きくなるといった課題がある。一方、3 次元相関方式(図 3(b))は精度の高い動き情報を得ることができ、ブロックマッチング法と比較し回路規模を小さく抑えることが可能であるが、画素単位でマッチングを行っているため、ノイズ等に弱いという課題がある。本提案のブロック 3 次元相関方式は、これら 2 つを組み合わせた手法である。図 4 に示すように、補間画素を中心として点対称の位置に存在する画素間の絶対値差分に加え、1 画素おいた上下左右の画素間でも絶対値差分をとり、これらの合計によって相関を求める方式である。

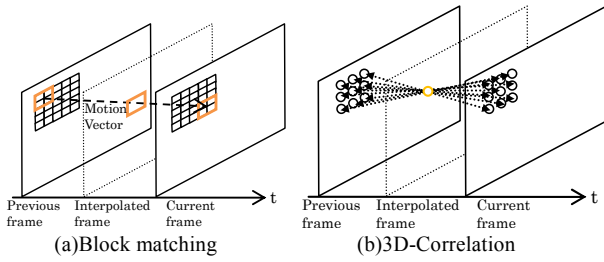


図 3 従来手法

Figure3 Conventional Method

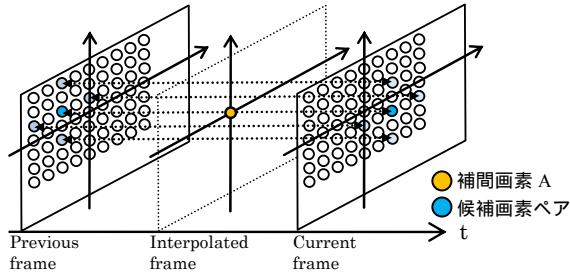


図 4 ブロック 3 次元相関方式

Figure4 Proposed Method

補間画素 A(i,j)に対して,前フレームにおいて(p,q)だけずれた(現フレームにおいては(-p,-q))候補画素ペア相関演算値(Corr(p,q))は,式 1 によって表される.

$$Corr(p, q) = \sum_{i=1}^5 D_i$$

$$D_1 = |f_{t-1}(i+p, j+q) - f_t(i-p, j-q)|$$

$$D_2 = |f_{t-1}(i+p+2, j+q) - f_t(i-p+2, j-q)| \cdots (式 1)$$

$$D_3 = |f_{t-1}(i+p, j+q+2) - f_t(i-p, j-q+2)|$$

$$D_4 = |f_{t-1}(i+p-2, j+q) - f_t(i-p-2, j-q)|$$

$$D_5 = |f_{t-1}(i+p, j+q-2) - f_t(i-p, j-q-2)|$$

ここで, f_t, f_{t-1} はそれぞれ現フレーム, 前フレームにおける輝度値を表す.

動き探索範囲を R とし, Corr(p,q)が最小となる(p,q)を (pm,qm)とすると, 求める動きベクトル(pm,qm)は以下式 2 で表される.

$$(pm, qm) = \underset{(p,q) \in R}{\operatorname{argmin}} Corr(p, q) \quad \cdots (式 2)$$

本手法によって, 3 次元相関方式 (図 3(b)) と比較し, 大幅に性能が向上する. 図 5 に同一シーンでのブロック 3 次元相関方式(c), 5x5 画素ブロックマッチング方式(b), 3 次元相関方式(a)それぞれの動きベクトルヒストグラムを示す. ブロック 3 次元相関方式は, 3 次元相関方式とは異なり, 5x5 画素ブロックマッチング方式と相関が高いことがわかる. 具体的には, 例えば探索範囲中心部分から離れた位置の動きベクトル(A)もしっかり検出できている. つまり, 本手法により演算量を約 1/5 に抑えながら, 5x5 画素のブロックマッチング同等以上の動きベクトル検出精度を得ることができる. 次に図 6 の映像に対する上記 3 手法による補間結果を図 7 にそれぞれ示す. 複数の動きが存在する難しい映像であるが, 例えば左側歩行者の手の再現力において, 指の爪もしっかり表現できており, 3 方式の中で最も良い画質が得られていることがわかる.

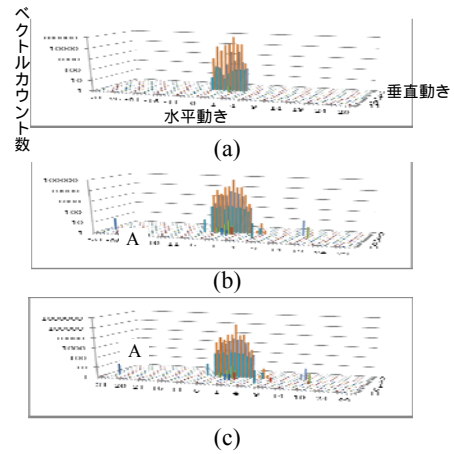


図 5 動きベクトルヒストグラム (a)3 次元相関方式, (b) ブロックマッチング方式, (c)ブロック 3 次元相関方式

Figure5 Vector histogram (a) 3D-correlation, (b)Block matching, (c) Block 3D-correlation



図 6 対象映像 (Crowded_Crosswalk)

Figure6 Target image

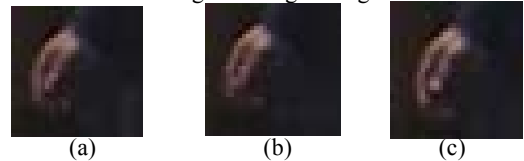


図 7 補間映像 (交差点) (a)3 次元相関方式, (b)ブロックマッチング方式, (c)ブロック 3 次元相関方式

Figure6 Interpolated Image(Crosswalk) (a) 3D-correlation, (b)Block matching, (c) Block 3D-correlation

4.3 破綻抑圧・フレーム補間処理

次にフレーム補間処理について説明する.

前節で求められた動きベクトルを用いて, 補間フレームを作成する処理である. 本提案においては, ローカルベクトル, オクルージョンマスク処理による精度の高い補間フレームを生成する. 以下順に詳述する.

4.3.1 ローカルベクトル

補間フレーム生成の際に, 周囲や前フレームの動き情報を考慮した処理は多く研究されている[8][11]が, 本提案では, それらに加えて, 前フレームの動き情報を 1 フレーム全体 (一般的にフレーム内で支配的な動きベクトル: グローバルベクトル) ではなく, 補間対象画素の周囲に限定するローカルベクトルを採用した. グローバルベクトルを用いる手法では, 映像の大部分が同じような方向に動いているケースでは効力を発揮するが, 映像中に複数の動きが存在する場合には, 破綻を引き起こすことが多い. 例えば図 6 のシーンでは背景の動き (動き 0) に対して人物が異なる

動きをしているが、背景の動き方向に重みがかかり、中央女性の足付近で図 8 のように映像破綻が発生する。



図 8 グローバルベクトルによる破綻

Figure8 Image artifact by Global Vector

提案手法を図 9 にて説明する。対象補間画素 P に対して、前フレームの同一ライン上水平 ± 7 画素のエリア H を設定する。上下ライン方向にエリアを拡張する考えもあるが、本提案においては、ローカルベクトル算出用の SARM(Static Random Access Memory)を極力減らすため、上記のようなエリアに選定している。性能に大きな差がないことは実験的に確認しており、今回は回路規模を優先した。

図 9(b)に示すように前フレーム上のエリア内動きベクトルをカウントし、図 9(c)を得る。前記カウント値にて所定閾値以上であるベクトルに対して重みを加える構成とする。具体的には、図 9(c)において例えば閾値を 5 とした場合には、動きベクトル検出部(4.2 節)で得られる候補ベクトルのうち、図 9(c)の黄色の動きベクトルを優先選択するような処理を行う。図 10 は図 8 と同一シーンに対して本提案のローカルベクトルを使用した映像である。破綻が軽減していることがわかる。

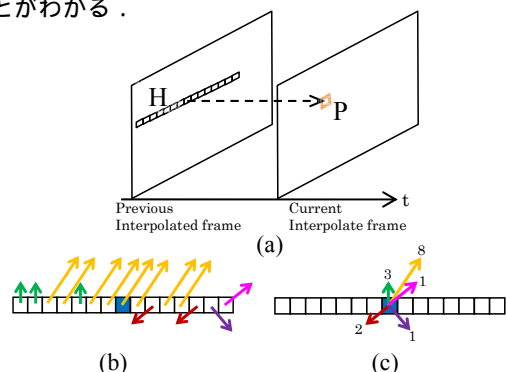


図 9 ローカルベクトル (a)ローカルベクトルエリア、(b)(c)ローカルベクトル生成

Figure9 Local Vector (a) Local Vector Area, (b)(c)Process of Local Vector generating



図 10 ローカルベクトルによる改善

Figure10 Improvement by Local Vector

4.3.2 オクルージョンマスク

映像中、動いている物体の周囲が破綻することが多い。この原因を図 11 を用いて説明する。補間フレームに対して時間的に前後の 2 枚のフレームを用いて動き補償を行う場合、動き物体の周囲には、片方のフレームにしか現れない

領域(オクルージョン領域 A, B)があることがわかる。オクルージョン領域は、図 11 を見てもわかる通り、正確な動きベクトルが存在しないため、映像が破綻する。

本提案では、オクルージョン領域を検出してその領域の動き補償処理を止めることで破綻を解決する。オクルージョン領域は物体が交差する領域であるため、その付近の動きベクトルには必ず差分が発生することに着目する。隣接する動きベクトルの差分が大きい領域をオクルージョン領

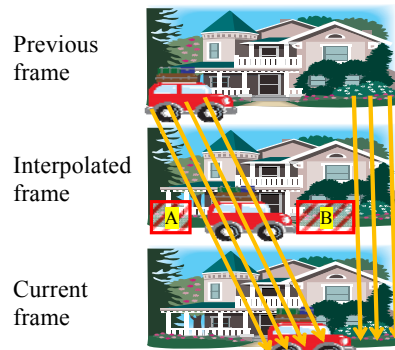


図 11 オクルージョン領域

Figure11 Occlusion Area

域とみなし、非動き補償処理(具体的には前後フレームによる線形フィルタ補間)に切り替える。本処理のフローを図 12 に示す。以下、各処理ステージを簡単に説明する。



図 12 オクルージョンマスク処理フロー

Figure12 Flow of Occlusion Mask

ブロック化/平均化：画素単位に求められた動きベクトルを所定ブロックサイズに分割し、ブロック毎に動きベクトルを平均化する

マスク計算：式 3、図 13 に基づき、動きベクトルの差分量である Mask を計算する。

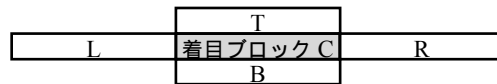


図 13 ブロック化

Figure 12 Blocking

$$Mask(x, y) = norm(|C_x - T_x| + |C_x - B_x| + |C_x - L_x| + |C_x - R_x| + |C_y - T_y| + |C_y - B_y| + |C_y - L_y| + |C_y - R_y|)$$

・・・(式 3)

式 3 において、下付添字は動きベクトルの成分、norm は正規化関数である。図 11 で説明したとおり、オクルージョン領域では正確な動きベクトルが検出できないため、検出される動きベクトルはその周囲のベクトルとは異なるものが検出される。Mask はその周囲との差分量を捉えるものである。

マスク境界平滑化：ブロック歪み対策として，Mask をピクセル単位で平滑化し，破綻 Mask とする．

補間処理切り替え：破綻 Mask に応じて，動き補償 / 非動き補償を切り替える．

本処理において，におけるブロック単位は大き過ぎると使用メモリサイズが大きくなり且つ，正しく補間された領域まで非動き補正処理されてしまい，逆に小さければメモリ消費は減らせるが，小領域のベクトルの乱れに敏感に反応してしまう．我々は実験的に水平 8 ピクセル，垂直 1 ピクセルのブロックサイズがコスト，性能両面において最適であることを確認した．

また，ブロック単位で求めたマスクをそのまま用いた切り替えを行うと，その境界部分においてブロック歪みが発生してしまう．そこで，図 14，及び式 4 に示すように，対象画素を含めた周囲 16 画素にて移動平均処理による平滑化を行うことにより，ブロック歪みを軽減している．



図 14 ブロック境界平滑化

Figure14 Boundary smoothing

$$P1 = \frac{\sum_{i=1}^{16} Si}{16} \quad \dots (式 4)$$

図 15 に本処理の適用例を示す．図 15(b)は，動きベクトルの差分からオクルージョン領域を推定した結果である．差分が大きいほど白く表示している．図 15 は中央女性が画面右から左へ歩いているシーンであり，女性の周囲を中心に，オクルージョン部分が推定できていることが分かる．次に，マスクに応じてピクセル単位で非動き補償処理へ切り替えを行った結果を図 16 に示す．周囲との輝度差が平滑化され，映像破綻が視認され難くなっていることがわかる．また，図 15(b)を見てもわかる通り，背景部分等へは本処理が適用されないため，MC-FRC による動画のなめらかさの効果は維持されている．



図 15 オクルージョン領域抽出

Figure15 Detect of Occlusion area

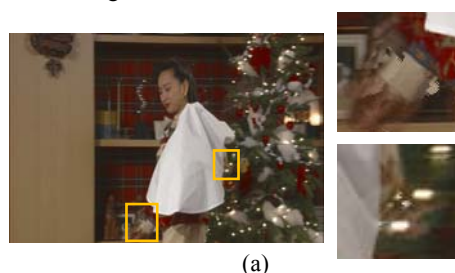


図 16 オクルージョンマスク効果

Figure16 Effect of Occlusion Mask

4.4 時間方向制御処理

次に，MC-FRC におけるフレーム補間処理を時間方向に制御することによって破綻を抑圧する処理（以下，動的制御）に関して説明する．

本処理では，図 2 に示した構成にて動きベクトル検出部からの動きベクトル情報をマイコンへ渡し，マイコン側で動きベクトル情報を解析，判定したのち，各映像に適したフレーム補間処理をフレーム単位に動的に切り替える．上記動きベクトル情報の解析には，動きベクトルヒストグラムを利用した．

4.4.1 探索範囲適応可変

動きベクトル探索範囲について，広範囲モード (Wide-mode) と狭範囲モード (Narrow-mode) を設け，動きベクトルヒストグラムの分散傾向に応じて，図 17 のように遷移させる．映像中小さな動きしかない場合には，Narrow-mode とすることで，動きベクトル検出時のマッチングミスを軽減する．一般的に MC-FRC では対象画素の動きベクトル決定の際に，周囲や前フレームの動きベクトル情報に重みをつける処理がされるため，一度誤検出が起これば広範囲に影響が及ぶ可能性がある．本処理により，こうした動きベクトル誤検出を軽減し，映像破綻の伝搬を回避することが可能となる．

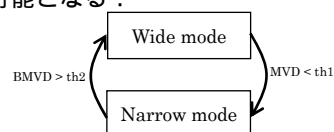


図 17 探索範囲適応切り替え

Figure17 Adaptive switching of search area

なお，動きベクトルの分散量 (Motion Vector Distribution : MVD) は，所定閾値以上のカウント数を持つ動きベクトルの数で定義する．MVD の値が所定閾値以下の場合には，小さな動き (Narrow-mode) へと遷移する．また，図 18 に示す Narrow-mode の周囲四方境界部分の MVD (Boundary MVD : BMVD) を定義し，BMVD の値が所定閾値以上となった場合に大きな動き (Wide-mode) へと遷移する．

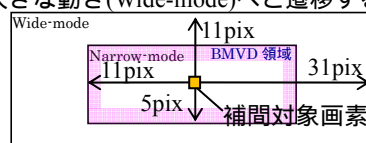


図 18 BMVD

Figure18 BMVD

本研究においては、ニュースやスポーツ、映画、バラエティ等いくつかのテレビ放送ジャンルに分けて約 200 種類の映像調査を行った結果、図 18 に示すように Wide-mode

：水平 ± 31 ，垂直 ± 11 ，Narrow-mode：水平 ± 11 ，垂直 ± 5 の探索範囲を設定した．また，BMVD は Narrow-mode 範囲の内側 1 画素領域とし，Wide-mode と Narrow-mode の切り替えを行うマイコン上プログラムを構成した．また，Wide-mode と Narrow-mode の遷移にはヒステリシスを持たせる構成とし，頻繁な切り替えが起きることを防止している．図 19 に本手法の効果の一例を示す．また，図 20 にそれぞれの動きベクトルヒストグラムを示す．本シーンにおいては，特に大きな動きはないが，Wide-mode で探索した場合，マッチングミスや周囲情報影響により，図 20(a) に示すように動きベクトルが大きく分散してしまう．その結果図 19(a)のように男性の顔の部分にて目立つ映像破綻が発生する．本手法適用により，Narrow-mode 探索によって動きベクトルの分散を抑制(図 20(b))することで，図 19(b)に示すように顔の破綻を改善している．



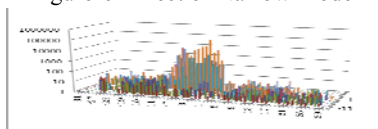
(a)



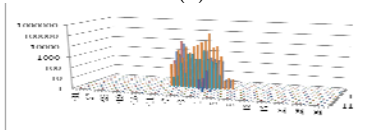
(b)

図 19 Narrow-mode 効果

Figure19 Effect of Narrow-mode



(a)



(b)

図 20 動きベクトルヒストグラム

Figure20 Vector Histogram

4.4.2 混合補間モード

混合補間モードについて，図 21 に示す 24Hz→60Hz (2.5 倍)MC-FRC 処理を例に説明する．24Hz→60Hz MC-FRC 処理では，3 枚のキーフレームから 4 枚の補間フレームを生成する．混合補間モードでは，この 4 枚の補間フレームのうち，2 枚を線形補間フレーム（時間方向重心位置を考慮）に置き換えて構成する．つまり，設定した探索範囲では捉えきれないような巨大な動き，高速な動きを含む映像の場

合に本モードを適用することで，破綻の見え方を軽減する．動き補償による補間フレームも 2 枚は残していることにより，全ての補間フレームを線形フィルタ処理で生成した画像と比較して，動画画質改善効果を保つことが可能である．図 21 において，線形補間フレームを挿入する位置に関しては，時間方向の重心ずれが少なくなる位置に挿入することで，より視覚的に違和感のない動画画質を得る事に貢献している．

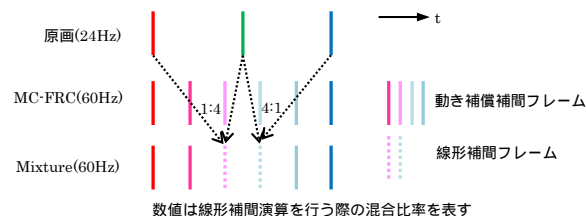


図 21 混合補間モード

Figure21 Mixture mode

4.4.3 動的制御

4.4.1，4.4.2 で説明した制御を動的に切り替える．状態遷移ダイアグラムを図 22 に，またそれぞれの状態説明を表 2 に示す．

Full-MC mode においては，4.4.1 記載の Narrow と Wide の 2 モードが存在する．

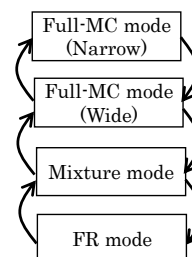


図 22 動的制御

Figure22 Dynamic Control

表 2 遷移状態

Table2 Status

状態	説明
Full-MC mode (Narrow)	全ての補間フレームを動き補償型で生成 (狭範囲探索モード)
Full-MC mode (Wide)	全ての補間フレームを動き補償型で生成 (広範囲探索モード)
Mixture mode	補間フレームの所定フレームを線形補間で生成
FR mode	同一フレーム繰り返しによる FRC

状態遷移の一例を図 23 を用いて説明する．図 23 において，横軸は時間，縦軸は動きベクトル分散量(MVD)である．また，図の下部には FRC の動作状態を示している．MVD が閾値 TH1 未満の場合，つまりあまり大きな，もしくは複雑な動きがないシーンでは Full-MC mode の Narrow-mode，MVD が TH1 以上，もしくは BMVD が所定閾値以上の場合（図示せず），つまり大きな動き，複雑な動きが見られるシーンにおいては Full-MC mode の Wide-mode へ移行する．

そしてさらに MVD が閾値 TH2 を超える、大きな、高速な動き物体が多数存在する場合には混合補間モードへ移行し、さらに閾値 TH3 を超える、探索範囲を大きく超える動き、シーンチェンジ等においては FR-mode(フレームリピート)へ遷移する。閾値 TH1~TH3 を独立に設定することで、映像破綻の少ない最適な動画画質を実現する。

尚、状態遷移の際には、時間ヒステリシスを持たせており、各モード間の頻繁な切り替わりを抑制している。

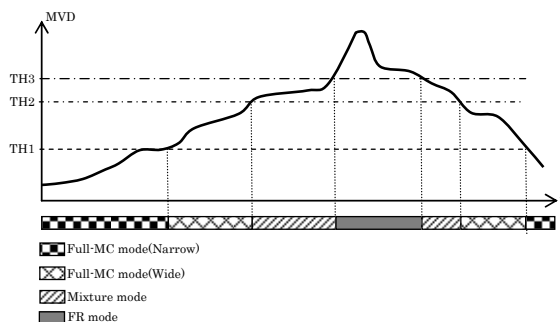


図 23 状態遷移例

Figure23 Status Example

5. 実験結果

5.1 画質に関する評価

本手法を用いて、複数のサンプル画像[12]による以下の評価を行った。

- (1) PSNR 測定
- (2) SSIM[7]測定
- (3)動画画質評価

(1)(2)は生成された補間フレームと基準画像との PSNR 値、SSIM 値の平均値をそれぞれ算出する。(3)に関しては、MC-FRC の効果である動画画質の指標化を試みる。一般的な 5 段階尺度主観評価を実施し、(1)(2)との相関性を検証する。

5.1.1 PSNR, SSIM 測定

表 1 に示した代表的な破綻シーンに該当するサンプル画像 3 種類に関して、本提案と従来手法(動きベクトル検出にブロックマッチングを用いた図 1 の構成)の算出値を表 3 に示す。なお、値は 100 フレームの平均値である。

従来手法と比較して微差であるが上回っている。

表 3 PSNR, SSIM 測定値

Table3 PSNR,SSIM performance comparison

Contents	PSNR[dB]		SSIM	
	Conventional	Proposed	Conventional	Proposed
Crowded_Crosswalk	29.36	29.90	0.969	0.970
Streetcar	31.69	32.19	0.970	0.976
Woman_with_Bird_Cage	33.67	34.52	0.976	0.977

5.1.2 動画画質評価

次に図 24, 25 に、5.1.1 で測定した 2 つのシーンに対し、PSNR, SSIM 値を時系列(20 フレーム分)に並べたものを示す。線形フィルタ処理による結果も併記している。また、本シーンを動画で評価した際の主観評価(被験者 5 名)結果を図 26 に示す。主観評価の際には映像に違和感のある部分を別途コメント頂く形式とした。主観評価尺度は表 4 に、評価コメントは表 5 にそれぞれ示す。

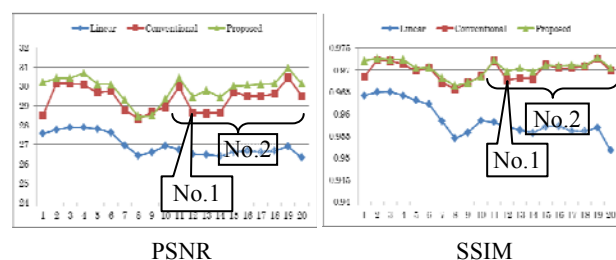


図 24 時系列データ(Crowded_Crosswalk)

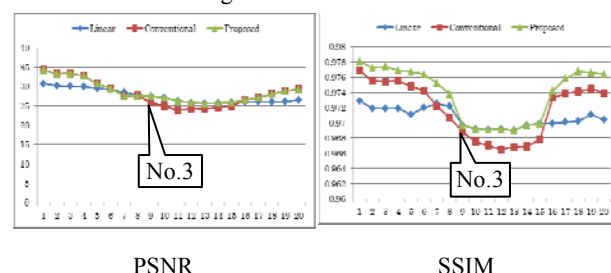


図 25 時系列データ(Streetcar)

Figure25 Time-series data

表 4 5 段階尺度評価

Table4 Evaluation words

尺度値	映像品質(破綻の見え方)
+2	分からない
+1	目立たない
0	やや目立つ
-1	目立つ
-2	非常に目立つ

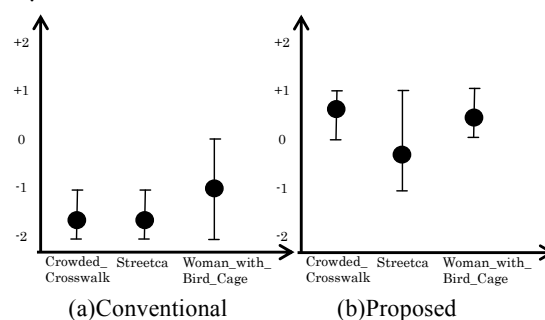


図 26 主観評価結果

Figure26 Subjective evaluation

表 5 映像破綻シーンに関するコメント例

Table5 Comments of image artifacts scenes

No.	Contents	映像破綻が目立つシーン
1	Crowded_Crosswalk	手前女性が入ってくる時
2		手前女性の周囲
4	Streetcar	横切っていく車

まず、図26の主観評価の結果より、表3の結果と比較し、提案手法の優位性がより明らかとなっている。被験者からのコメントと時系列データ図24,25を見ると、映像の中で動きの変化があった場合における見え方の差が出ていることが分かる。例えば図24のシーンNo.1付近は、女性が手を振りながら画面中央に入ってくるシーンである。実際のシーンにおいては、提案手法ではFull-MC mode(Wide)で動作しており、主にオクルージョンマスク機能の効果が表れていると考えられる。

つまり、図24,25,表5により、主観評価において映像に違和感を感じる部分は、オリジナルフレームとの差分値が前後フレームと比較して大きくなる瞬間のシーンと一致する傾向が見えることに着目し、式5で表す変動率平均 (Volatility Average: VA) という新たな指標を導入する。式5において、Nは補間フレーム数、PSNR(i)とはi番目の補間フレームのPSNR値を表す。本指標はオリジナルフレームとの差分のばらつきを示すものである。本提案手法においては、表6に示すようにこのVAの値が従来手法よりも優位な値を示しており、主観評価と一致する。ばらつきの少ない安定的な画質表現が人間の目で感じられる動画画質の差を生み出しているものと考えられる。

図25のシーンNo.3付近は、高速に横切る車が複数台表れるシーンである。この車の動きは探索範囲を超えており、従来手法では映像破綻が非常に目立つ。本提案では、このシーンにおいては線形補間処理へ動的制御されており、結果的にVAの値を低く抑えることに成功している。

表6 VA 値の比較

Table6 VA performance comparison

Contents	Conventional	Proposed
Crowded_Crosswalk	0.521	0.455
Street	0.874	0.674

$$VA = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} |PSNR(i-1) - PSNR(i)|}{N} \quad \dots (式5)$$

5.2 回路実装結果

Full-HD 動画システムへの対応を想定し、本回路を RGB 4:4:4 1920x1080x60p の動画の画素スループットに対応する回路実装おこなった。結果を表3にまとめる。

システム LSI に実装し、リアルタイム動作することを確認した。

表3 回路実装結果

Table 3 Circuit Implementation

項目	内容
回路規模	ロジック:3Mgate, SRAM 3.9Mbit
LSI プロセス	90nm
動作速度	150MHz
対応解像度	RGB 4:4:4 1920x1080

6. おわりに

動き補償型フレーム変換処理において、高精度な動きベクトル検出手法と、映像破綻抑圧手法を開発し、低処理量ながら高品位動画表示システムを実現した。実験結果から静止画レベルでの画質向上に加え、動画視認性の向上が実現できることを確認した。

動き補償型フレームレート変換の品質は、動画画質の指標も重要である。本提案はその可能性の一つと考える。今後、4K2K、スーパーハイビジョン等への MC-FRC 適用へ向け、さらなる研究が望まれる。

参考文献

- 1) 田中, 大村, 岡田, 大塚, 栗田, 合志, 二宮, 西澤, “動き補正型フレーム数変換法を用いた HDTV-PAL 方式変換装置の構成と画質評価,” テレビ誌, vol. J70-D, no. 8, pp. 1535-1545, Aug. 1987.
- 2) 坂, 高村, 八島, “高フレームレート映像の符号化特性に関する考察,” PCSJ, P-1.02, Nov. 2004.
- 3) 青木, 半谷, 杉山, “フレームレート変換による LCD 受像画質の総合改善,” 映像技報, Vol. 29, No. 16, pp. 1-4, Feb. 2005.
- 4) B. T. Choi, S.-H. Lee, and S.-J. Ko, “New frame rate up-conversion using bidirectional motion estimation,” IEEE Trans. Consum. Electron., vol. 46, no. 3, pp. 603-609, Aug. 2000.
- 5) B.-W. Jeon, G.-I. Lee, S.-H. Lee, and R.-H. Park, “Coarse-to-fine frame interpolation for frame rate up-conversion using pyramid structure,” IEEE Trans. Consum. Electron., vol. 49, no. 3, pp. 499-508, Aug. 2003.
- 6) T. Ha, S. Lee, and J. Kim, “Motion compensated frame interpolation by new block-based motion estimation algorithm,” IEEE Trans. Consum. Electron., vol. 50, no. 2, pp. 752-759, May 2004.
- 7) Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh and E. P. Simoncelli, “Image quality assessment: From error visibility to structural similarity,” IEEE Transactions on Image Processing, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, Apr. 2004.
- 8) Shih-Hsuan Yang and Chia-Chi Yang, “FAST FRAME UP-CONVERSION BASED ON MULTIPLE FRAMES”, ICME, page 1-4. IEEE, (2011).
- 9) Suk-Ju Kang, Dong-Gon Yoo, Sung-Kyu Lee, and Young Hwan Kim, “Design and Implementation of Median Filter based Adaptive Motion Vector Smoothing for Motion Compensated Frame Rate Up-Conversion,” Proc. of the 13th IEEE International Symposium on Consumer Electronics, ISCE'2009, May 2009, pp. 745-748.
- 10) B. D. Choi, J. W. Han, C. S. Kim, and S. J. Ko, “Motion compensated frame interpolation using bilateral motion estimation and adaptive overlapped block motion compensation,” IEEE Trans. on Circuit and System for Video Technology, vol. 17, pp. 407-416, Apr. 2007.
- 11) 東, 渡辺, “グローバル動き補償を用いた背景フレーム補間手法に関する検討,” 情報処理学会第 70 回全国大会, 2008.
- 12) “標準テレビジョン方式・システム評価用標準動画像,” 一般社団法人 映像情報メディア学会