

平面ディスプレイのための動き補償映像信号処理

杉山 賢二^{*1}, 相良 直哉^{*2}, 山田 義之^{*3}, 横山 和彦^{*3}, 小畑 裕康^{*3}

Motion Compensated Video Signal Processing for Flat Panel Display

Kenji SUGIYAMA, Naoya SAGARA, Yoshiyuki YAMADA, Obata HIROYASU

Abstract : Recently, flat panel display such as liquid crystal display becomes popular. In these display, new video signal processing are required. De-interlacing which convert from interlaced scanning to progressive scanning is necessary. Frame rate conversion is required to reduce a motion blur. In this paper improvement of these video processing are discussed. About a de-interlacing, motion compensated inter-frame interpolation is effective. We apply spatial direction adaptive method for motion compensated inter-frame interpolation. The processing for inter-frame interpolation is discussed, furthermore optimization of processing and effect of this processing are considered. In a frame rate conversion, motion compensated inter-frame interpolation is also used. However, it causes block artifacts at edge of different motion objects. To avoid this problem, we discuss in the determination of interpolation mode which has different motion vector, we use inter-block smoothness to evaluate interpolation modes. In examination, we use 60 frame per second (fps) progressive scanning picture as reference for the both conversion. Interlaced scanning picture is used for de-interlacing and 30 fps picture is used for frame rate conversion. The proposed conversion methods give better PSNR and subjective picture quality than the conventional method.

key words : de-interlacing, frame rate conversion, motion compensation, motion estimation, adaptive interpolation

(Received September 28, 2007)

1. まえがき

映像ディスプレイにおいては、プラズマや液晶など平面ディスプレイがブラウン管(CRT)に代わって普及してきている。しかし、映像信号はCRTで表示されることを前提に作られており、平面ディスプレイで表示する際には、映像信号の変換処理が必要とされる。その必須技術として、伝送用として一般的なインターレース走査からプログレッシブ走査への変換(デインターレース)がある。また、Motion Blur(動きぼけ)を改善するため、1フレームの時間を短くするフレームレート変換が使われつつある。

デインターレースでは、動き領域をフィールド内補間、静止領域をフィールド間補間とする動き適応型の処理が用いられてきた。そこでフィールド間補間に動き補償を適用することで、動領域でもフィールド間補間が適用でき、解像度が改善できる。^{[1]-[3]}

そこで、我々は順次走査への変換の済んだフレーム画像を参照画像として動き推定を行い、動き補償補間は前

後の入力フィールドのみを用いる手法が有効なことを示してきた。^{[4]-[6]}

本報告では、この動き補償フィールド間・フィールド内適応補間へ空間方向適応処理を適用する方法を検討とする。具体的な処理手法を提案し、フィールド内補間のみならずフィールド間補間へも適用する。^[7]

一方、フレームレート変換では、動き補償を用いて前後の既存フレームから補間を行うのが基本となるが、補間処理では符号化とは異なり対象フレーム画像が存在しないので動き推定が容易でなかった。^{[8]-[10]}

これに対し、我々は前後の複数フレームを用いた適応補間手法を提案してきたが、動きが異なるオブジェクトのエッジ部分などでブロック歪を生じ易かった。^{[11]-[13]}

本報告では、ブロック歪を軽減するため、動きベクトルの異なった補間モードの判定方法において、画像間マッチングのみならず、隣接ブロックとの画像連続性に付いても評価する手法を検討する。^[14]

処理実験はいずれも毎秒 60 フレームのプログレッシブ走査画像(60p)を元画像とし、インターレース走査(60i)と毎秒 30 フレーム(30p)へ変換された画像を元に戻す形で行う。元の画像と各変換で得た画像を比較して、客観評価尺度である PSNR と主観画質で評価する。

^{*1} : 理工学部 情報科学科教授 (sugiyama@st.seikei.ac.jp)

^{*2} : 理工学部 情報科学科助手 (sagara@st.seikei.ac.jp)

^{*3} : 工学研究科 電気電子専攻

2. 平面ディスプレイ用信号処理の概要

2.1 映像信号処理の全体構成

受信または再生された映像信号は、60i の信号形態でディスプレイに供給される。平面ディスプレイは、適正なインターレース走査での表示が困難なので、プログレッシブ走査(60p)に変換してから表示する必要がある。さらに、Motion Blur を改善するため、フレームレート変換で 60p を 120p に変換する。このような処理の流れを図1に示す。

これらの処理は、輝度信号と色差信号の両方について行われるが、動き補償のための動き推定は、輝度信号についてのみ行われる。そして RGB 信号に変換されて表示デバイス(プラズマや液晶パネル)に供給される。

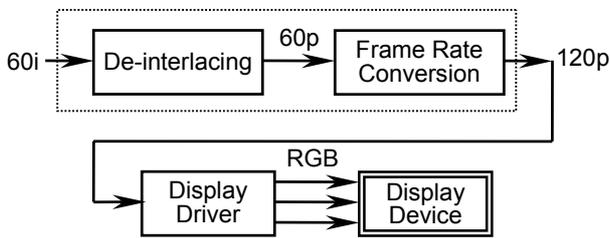


図1 ディスプレイ用映像信号処理

2.2 デインターレース

デインターレースは、図2に示されるようにインターレース走査画像で間引かれて走査線を補間し、プログレッシブ走査画像に変換するものである。

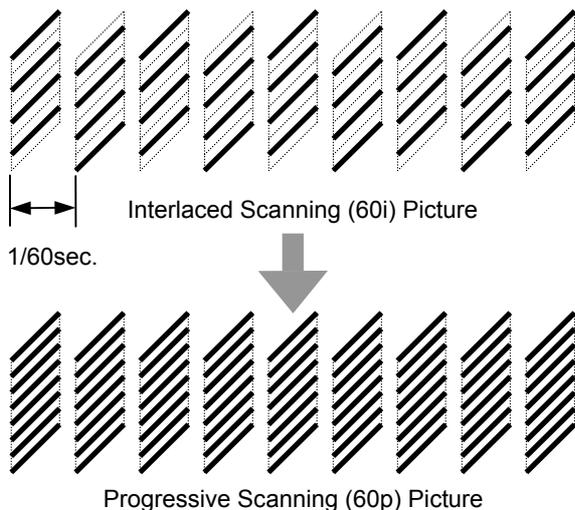


図2 デインターレース

デインターレースの補間処理は、特に簡易なものを除いてフィールド内補間とフィールド間補間の適応処理

となる。動き補償を適用する場合も、フィールド間補間への適用となり、フィールド内補間との適応処理はそのまま使われる。

適応処理の構成を図3に示すが、補間画素 P_i は、フィールド間補間 P_i とフィールド内補間 P_r から、動領域(フィールド間補間が困難な領域)検出で得られる加算係数 $k_m(0-1)$ により次式で与えられる。

$$P_i(x,y,t) = k_m P_i(x,y,t) - (1-k_m) P_r(x,y,t) \quad (1)$$

x, y, t : 画素の水平, 垂直, 時間位置

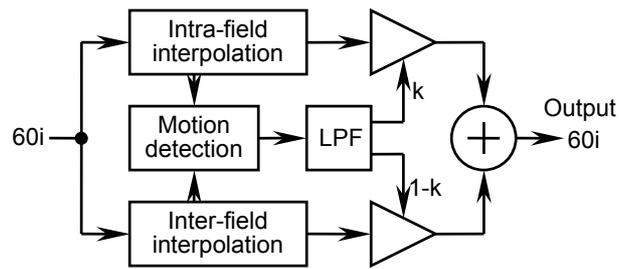


図3 デインターレース用の適応補間処理

2.3 表示フレームレートと動画像の見え方

ブラウン管の発光時間は非常に短いのに対し、液晶ディスプレイは基本的に常時発光であり、映像が画面上に常時存在する。この結果、動いている映像を見た場合、視点が動きに追従していると、画面上で同じ位置に表示されている映像は、相対位置が移動することになる。これにより、1フレームの表示(発光)時間に比例してMotion Blurを生じる。この様子を図4に示す。

この問題を解決する方法としては、常時発光を止め発光時間を短くする方法と、フレームレートを上げ1フレームあたりの時間を短くする方法がある。前者は、平均輝度の低下となり望ましくない。後者の場合、60fpsを120fpsに変換すると時間蓄積は半分になりMotion Blurも半分になる。ただし、中間フレームの画像を動き補償して正確に形成する必要がある。

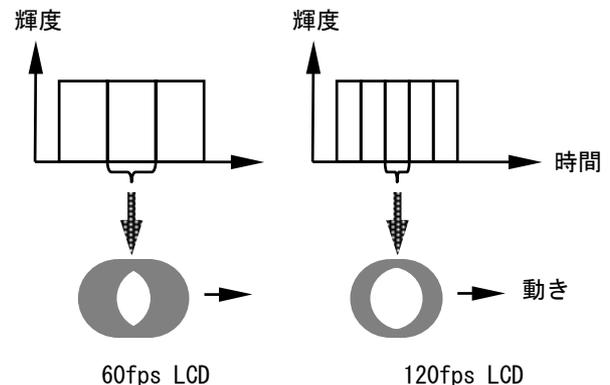


図4 表示方法と動き像の見え方

2. 4 フレームレート変換

フレームレート変換は、実存フレームを動き補償して補間フレームを形成し、それを実存フレーム間に内挿することで実現できる。フレームレートを2倍にする場合の例を図5に示すが、この場合、実在フレームの中間に補間フレームを形成する。以降この場合について検討する。

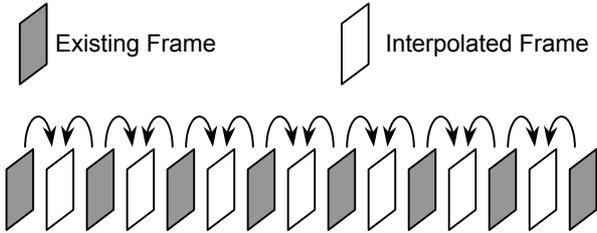


図5 フレームレート変換

3. デインターレースの改良

3. 1 動き補償フィールド間補間

動き補償フィールド間補間処理の様子を図6 (a)に示す。補間画素 P_i は、入来画素 P から次式で与えられる。

$$P_i(x, y, t) = \frac{P(x-dx, y-dy, t-1) + P(x+dx, y+dy, t+1)}{2} \quad (2)$$

ただし、 dx, dy は動きベクトル水平とフィールド基準の垂直成分である。 $dy=0, \pm 1.0, \pm 2.0 \dots$ となるので、精度は劣るが、前後するフィールドを加算することで動きベクトルのずれが相殺され、画像の位置ずれにはならない。この処理により、均一動き部分において、適正な補間を行うことができる。

3. 2 フィールド内補間

フィールド内補間処理の様子を図6 (b)に示す。最も基本的な補間は、上下走査線の平均であり、補間画素 P_r は、次式で与えられる。

$$P_r(x, y, t) = \frac{P(x, y+1, t) + P(x, y-1, t)}{2} \quad (3)$$

この処理はオーバサンプル処理であり、上下補間は周波数特性が良くない。そこで4~8タップのフィルタが用いられる。その場合の処理は次式のようになる。

$$P_r(x, y, t) = \sum_{dy=-N}^N k(dy)P(x, y+dy, t) \quad (4)$$

この補間処理は、動きの影響なく補間可能であるが、基本的に解像度が低い。フィールド画像のエリアス成分が除去されず、斜め線でギザギザが目立つ。

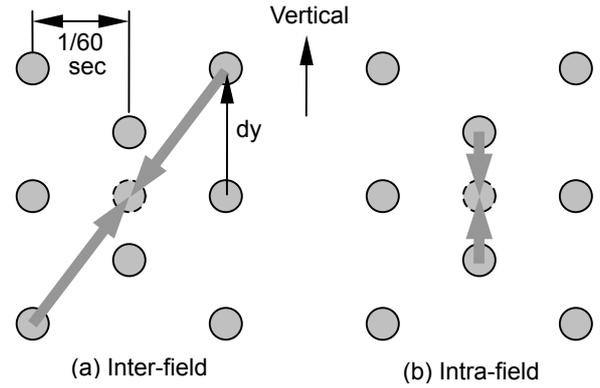


図6 フィールド間補間とフィールド内補間

3. 3 方向適応フィールド内補間

空間方向適応補間の基本的な処理の様子を図7に示す。フィールド内の局所形状から適切な補間方向を推定し、その方向により上下走査線の使用画素を水平方向に移動する。補間画素 P_i は移動 mx により次式で与えられる。

$$P_r(x, y, t) = \frac{P_i(x+mx, y+1, t) + P_i(x-mx, y-1, t)}{2} \quad (5)$$

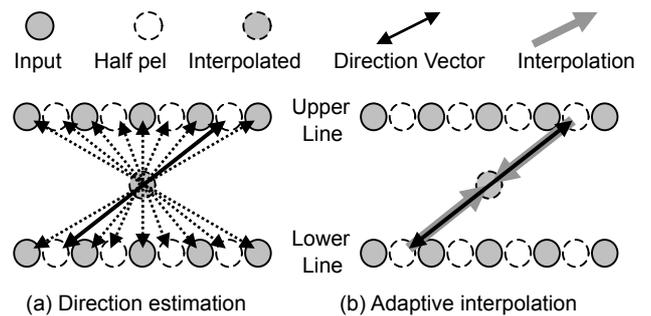


図7 空間方向適応補間の基本処理

上下からの補間であるので、方向探索は、図7 (a)の形で行うのが基本であるが、上下とも移動させると適切な方向が求まらない。そこで、方向探索は、図8に示されるように片方を固定して行う。その場合のマッチング演算は、次式となる。

$$SAD_l(x, y, mx) = \sum_{m=-N}^N |P(x+m+mx, y+1) - P(x+m, y-1)| \quad (6)$$

$$SAD_u(x, y, mx) = \sum_{m=-N}^N |P(x+m, y+1) - P(x+m+mx, y-1)| \quad (7)$$

ただし、 m はマッチングブロックの水平画素位置、 N はブロックサイズを決めるもので、2~4とする。これにより上下各画素に対応する補間方向が求まる。

最終的な方向(mx)は、補間対象画素の最も近くを通過するベクトルとする。ただし、エッジ部以外では不必要に斜め補間としないため、垂直($mx=0$)を優先する。

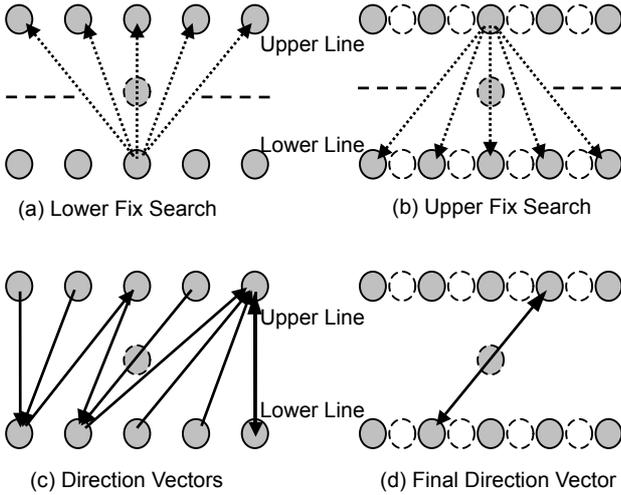


図8 空間方向適応補間の基本処理

3. 4 方向適応フレーム間補間

動き補償フィールド間補間において、動きベクトルの垂直成分が入来走査線位置と異なる場合、実際に補間で行われるのは入来走査線なので、実効的に主直方向補間が行われることになる。この程度は0.5ライン分のとき最大で、フィールド内補間と等価になる。この様子を図9に示す。

従って、動き補償フィールド間補間においても、局所形状に従った空間方向適応補間が有効となる。この場合、補間画素 P_i は(2)式に mx が追加され、次式で与えられる。

$$P_i(x, y, t) = \frac{P_i(x - dx - mx, y - dy, t - 1) + P_i(x + dx + mx, y + dy, t + 1)}{2} \quad (8)$$

動き推定は従来と同じであり、ブロック単位で決められた動きベクトルの空間移動量に対して、方向適応処理が画素単位で行われる。(6)(7)式の各入来画素は、異なったフィールドのものとなる。

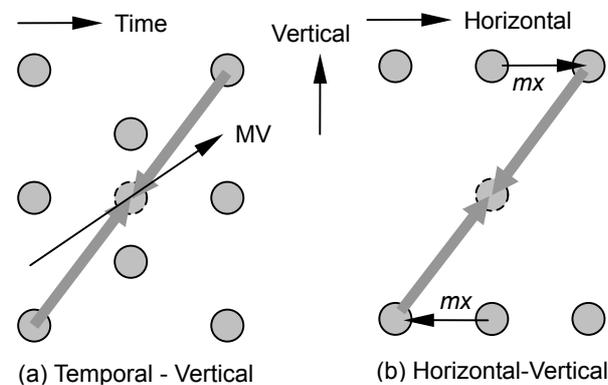


図9 フィールド間補間での空間方向適応補間

4. フレームレート変換の改良

4. 1 実在フレーム基準の動き推定・動き補償補間

動画像符号化などで用いられる一般的な動き推定は、被符号化フレームのブロックを基準に、参照フレームを空間的に移動させる。フレーム補間でこれを用いた場合の様子は図10(a)で示され、順方向補間(過去が参照フレーム) P_f と、逆方向補間(未来が参照フレーム) P_b は次式で与えられる。

$$P_f(x, y, t - 0.5) = P(x + dx, y + dy, t) \quad (9)$$

$$P_b(x, y, t - 0.5) = P(x + dx, y + dy, t - 1) \quad (10)$$

その際マッチング演算は、順方向差分 D_f と逆方向差分 D_b から、次式で与えられる絶対値と SAD で評価される。

$$D_f(x, y, dx, dy) = P(x + 2dx, y + 2dy, t - 1) - P(x, y, t) \quad (11)$$

$$D_b(x, y, dx, dy) = P(x + 2dx, y + 2dy, t) - P(x, y, t - 1) \quad (12)$$

$$SAD(x, y, dx, dy) = \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{M-1} |D(x + m, y + n, dx, dy)| \quad (13)$$

ただし、 m, n はブロック内画素位置、 M, N はブロックサイズである。この場合、実存フレームと補間フレームでは時間が異なるので、実際の動きベクトルと異なった位置のベクトルを用いることになり、ベクトルの位置ずれが問題となる。

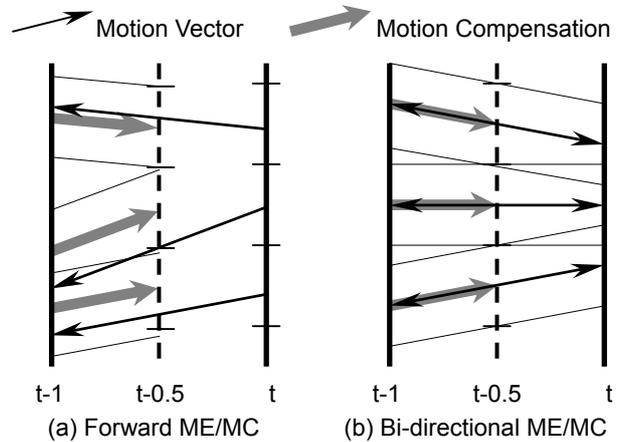


図10 動き推定と動き補償補間

4. 2 補間対象フレーム基準の動き推定・動き補償補間

一方、図10(b)のように動きベクトルの基準位置を補間対象フレームとすると、ベクトルの位置ずれはなくなる。この場合、双方向補間 P_i は次式で与えられる。

$$P_i(x, y, t - 0.5) = \frac{P(x + dx, y + dy, t - 1) + P(x - dx, y - dy, t)}{2} \quad (14)$$

その際マッチング演算に用いる双方向差分 D_i は次式で与えられる。

$$D_i(x,y,dx,dy)=P(x+dx,y+dy,t-1)-P(x-dx,y-dy,t) \quad (15)$$

この場合、前後のフレームが参照となり空間的に移動するので、本来の動きとは無関係な動き(誤ベクトル)を検出しやすい。空間アクティビティで正規化することである程度防ぐことができる。

4.3 今回用いた補間方法

今回のフレームレート変換では、前後2フレームのみを用い、補間は(14)式の双方向型を常時を用いる。その際の動きベクトルについてのみ(11)式の順方向、(12)式の逆方向、(15)式の双方向のもの3種類を用いる。

(7)式の双方向探索は、誤ベクトルを生じやすいので、片方向の動きベクトルを基準にした周辺再探索で行う。その際、基準となる片方向の動きベクトルは、補間ブロックの中心の最も近くを通過する動きベクトルとする。この様子を図11に示す。

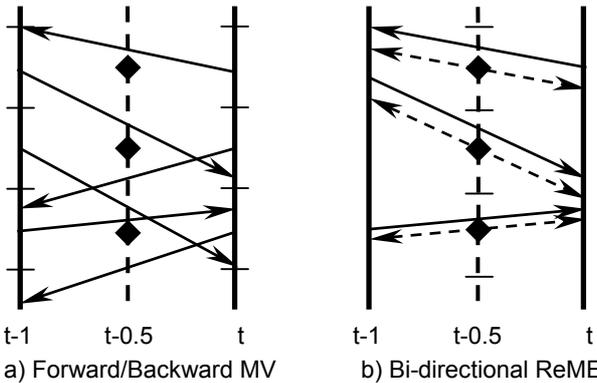


図11 片方向動きベクトルと双方向再探索

4.4 補間モード判定の改善

符号化における予測モードは、各動き補償ブロックの SAD_{min} で評価できるが、補間の場合には対象フレームが存在しないので、 SAD_{min} の信頼性が低い。そこで、補間画素 P_i の隣接ブロックとの連続性を用いる。図12に示される上下左右のブロック差分 $SHD_l, SHD_r, VDU_u, SVD_b$ の合計が求められる。例として SHD_l は次式で求められる。

$$SHD_l(x,y)=\sum_{n=0}^{N-1} |P_i(x,y+n)-P_l(x-1,y+n)| \quad (16)$$

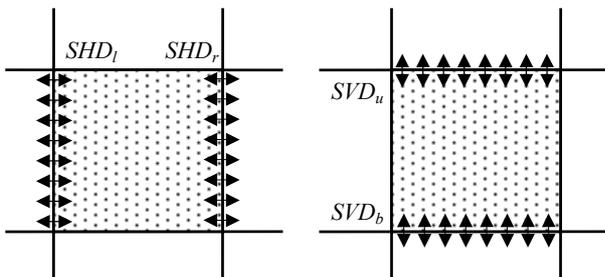


図12 ブロック連続性の検出

4.5 適応ブロック分割

動きが異なるオブジェクトのエッジ部分などでは、動き補償ブロックが大きいと適切に補間できないので、ブロックの分割が望まれる。しかし、小ブロックでは誤ベクトルが生じやすいので、分割するブロックは最小限にしたい。

そこで、基本ブロックサイズで分割されるブロックを選定する。検出基準は次のふたつのパラメータによるが、その様子を図13に示す。

a) 動きベクトルの周辺との距離

対象ブロックと周辺のベクトルの距離 D_i を次式で求める。

$$D(i,j,k,l)=\sqrt{(dx(i+k,j+l)-dx(i,j))^2+(dy(i+k,j+l)-dy(i,j))^2} \quad (17)$$

ただし、 ij はブロック番号 k,l は番号差である。自己ベクトルの大きさ $D(ij,0,0)$ (2.0以下は2.0とする)で正規化された判定パラメータ C_d は次式で与えられる。

$$C_d(i,j)=\frac{\sum_{k=-l}^l \sum_{l=-1}^1 D(i,j,k,l)}{8D(i,j,0,0)} \quad (18)$$

b) ブロック分散

オブジェクト境界を含むブロックは、空間アクティビティが高い。そこで空間アクティビティとしてブロック分散 A を次式により求め、これが所定値より高いブロックを分割する。

$$A(x,y)=\frac{1}{MN} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} \{P(x+m,y+n)-A_c(x,y)\}^2 \quad (19)$$

$$A_c(x,y)=\frac{1}{MN} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} P(x+m,y+n) \quad (20)$$

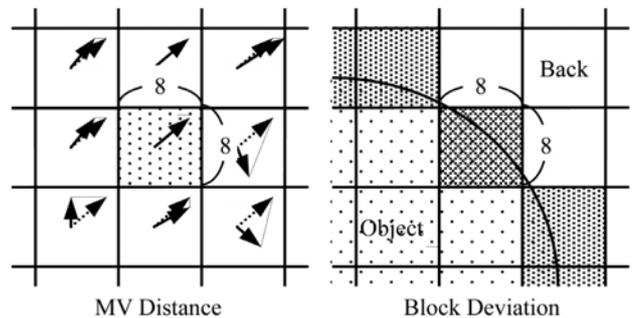


図13 分割されるブロックの選定

分割された小ブロック(4x4画素)での動き推定は、隣接ブロックの3ないし4ベクトルを候補とし、その近傍について再探索する。隣接が分割された小ブロックの場合は、そちらの動きベクトルを使う。なお、再探索範囲は±0.5画素とした。

5. 変換処理実験

5.1 評価実験方法

デインターレース及びフレームレート変換の評価処理構成を図 14 に示す。フレームレート変換は本来 60p から 120p への変換であるが、評価用 120p 画像は存在しないので、60p 画像を用いる。この場合、フレーム間距離が長くなり画像間相関が少なくなるので、実際より厳しい評価となる。

デインターレースの評価では、ライン間引きの前に垂直 LPF(低域通過フィルタ)を用いるが、インターレース走査化として適切な処理となっている。比較は LPF された画像との間で行われる。

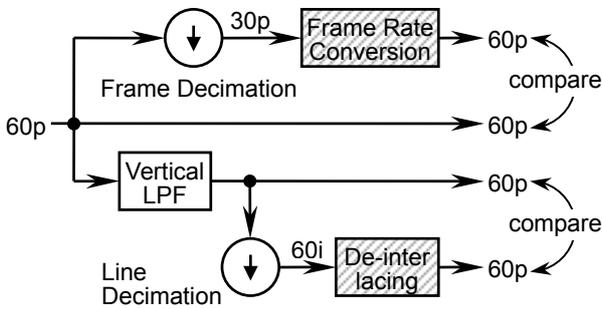


図 14 変換処理評価系

5.2 デインターレースの実験結果

補間処理実験は、フィールド内補間のみの場合と、適応処理の両方で行った。動き推定・補償は、8x4 画素ブロック、水平 0.5 画素精度、サーチレンジは垂直 4 ライン、水平 15 画素である。

通常のフィールド内補間(Intra)と、それに対して方向適応を適用した手法(Intra-DA)で変換した場合の PSNR(ピーク値 255)を図 15 に、変換画像例を図 16 に示す。画像は映像情報メディア学会の標準画像“Square”である。Intra に対して Intra-DA は、PSNR の改善はさほど大きくないが、エリアッシング(斜め線のギザギザ)が大幅に改善している。

動き補償フレーム間とフィールド内の適応補間(MC)と、そのフレーム間補間に方向適応を適用した手法(MC-DA)で変換した場合の PSNR を図 17 に、変換画像の例を図 18 に示す。画像は“Volley”のズームインシーンである。PSNR に改善は無く、画質的な改善も僅かである。これは、方向適応処理が、動きベクトルの誤差が多い場合にのみ有効となるためである。

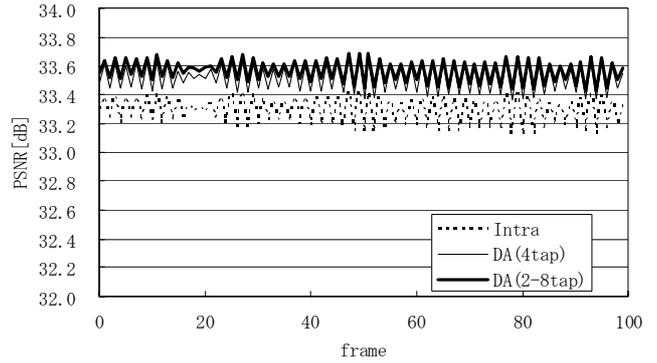


図 15 フィールド内補間画像(Crossing)の PSNR



図 16 フィールド内補間変換画像例 (150x150 画素)

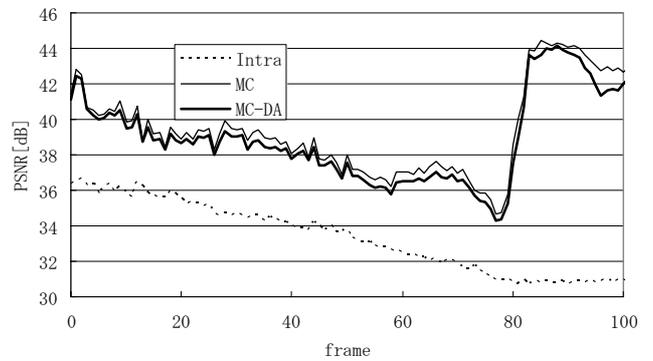


図 17 適応補間 (Church) の PSNR



図 18 適応補間変換画像例 (150x150 画素)

5.3 フレームレート変換の実験結果

フレームレート変換として 8x8MC(4x4MC)の従来手法、モード判定のみの改良(+mode), ブロック分割を含む提案処理(Proposal)で補間画像を作った。各処理での動き推定・動き補償処理パラメータを表1に示すが、基本事項は共通である。

表1 動き推定動き補償パラメータ

Picture	Conventional	8x8MC+mode	Proposal
Block	8x8 (4x4)	8x8	8x8 / 4x4
Accuracy	0.5 pixel	0.5 pixel	0.5pixel
Range	+/-15 pixel	+/-15 pixel	+/-15 pixel
Mode	SAD	SAD+SH(V)D	SAD+SH(V)D

分割されるブロックの例を図19に黒で示す。画像“Square”は、少女が早く動いているが、概ね動きオブジェクトの境界部分が選択されている。

補間フレームのPSNR値を図20に示す。4x4MCは誤ベクトルからPSNRが低下する。他の3手法は、ほぼ同等となる。図21に各処理を源画像(Original)と比較して示す。8x8MCでは動き境界部分で大きな歪を生じている。8x8MC+Modeで大幅に改善し、Proposalでさらに改善している。



図19 分割ブロック例(黒で表示)

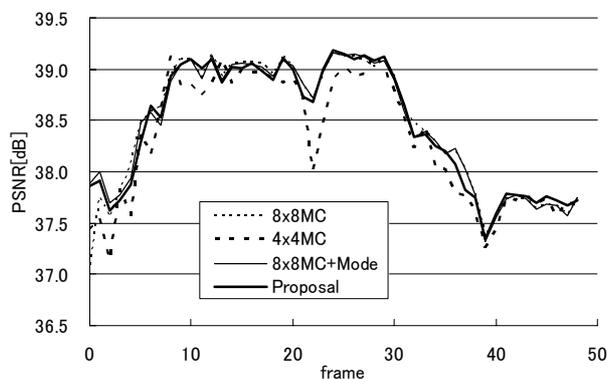


図20 補間画像(Square)のPSNR

6. むすび

平面ディスプレイで必要な映像処理について、デインターレースとフレームレート変換の改良について検討した。デインターレースでは、空間方向適応補間手法について検討し、動きベクトルによりフィールド間補間でも垂直補間の要素があることから、動き補償フィールド間補間にも空間方向適応処理を導入し、そこでの具体的な処理手法を提案した。

フレームレート変換においては、動きベクトルの異なった補間モードの判定方法で、画像間マッチングのみならず、隣接ブロックとの画像連続性に付いても評価する手法を提案した。さらに、基本ブロックサイズで適正な補間画像が形成できないブロックを検出し、そのブロックについてのみブロック分割を行った。

処理実験は60i/30p画像から60p画像への変換で行い、デインターレースにおいて、空間方向適応補間はフレーム内補間のみの場合は有効だが、フレーム間補間では効果は僅かなことが分かった。フレームレート変換では画像連続性を考慮したモード判定手法で、誤補間が軽減され、主観画質が改善できることが分かった。

<参考文献>

- [1] 栗田,杉浦, “動き補償を用いたインターレース走査画像の順次走査変換法の検討,” 電子情報通信学会論文誌(D-2), vol.78, No.1, pp40-49, Jan. 1995
- [2] E. B. Bellers G. de Haan, “Advanced motion estimation and motion compensated deinterlacing,” SMPTE Journal, vol.106, No.11, pp777-786, Nov. 1997
- [3] G. de Haan, E. B. Bellers, “Deinterlacing-an overview,” Proceeding of the IEEE, vol.86, No.9, pp1839-1857, Sep. 1998
- [4] K. Sugiyama, H. Nakamura, “A Method of De-interlace with Motion Compensated Interpolation,” IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol.45, No.3, pp611-616, Aug. 1999
- [5] 杉山,山田, “双方向補間と巡回型補間を用いた動き補償順次走査変換,” 映像情報メディア学会技術報告 Vol.30, No16, BCTS2006-36, pp25-28, 2006.2
- [6] K.Sugiyama, Y.Yamada, N.Sagara, “Improvement of Motion Compensated Inter-Field Interpolation Method for De-Interlacing,” IEEE Region 10 Conference (TENCON2006), 2.4-5, Nov. 2006
- [7] 横山,山田,杉山, “動き補償順次走査変換への空間方向適応補間の適用,”映像情報メディア学会技術報告 Vol.31, No.13, BCTS2007-36, pp.1-4, 2007.2
- [8] W. R. Sung, E. K. Kang and J. S. Choi ; “Adaptive

Motion Estimation Technique for Motion Compensated Interframe Interpolation” IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.45, No.3, pp.753-761, Aug. 1999

[9] D. W. Kim, J. T. Kim and I. H. Ra ; “A New Video Interpolation Technique Based on Motion Adaptive Subsampling” IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.45, No.3, pp.782-787, Aug. 1999

[10]T. Ha, S. Lee and J. Kim ; “Motion Compensated Frame Interpolation by new Block-based Motion Estimation Algorithm” IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.50, No.2, pp.752-759, May 2004

[11]K. Sugiyama, T. Aoki and S. Hangai ; “A Frame Rate Conversion Using Fully Motion Compensated

Interpolation” Proceedings of IEEE 2005 International Conference on Consumer Electronics, No.2.4.5, Jan. 2005

[12]杉山,青木,半谷:「フレームレート変換によるLCD受像画質の総合改善」,映像情報メディア学会技術報告 Vol.29, No16, BCTS2005-49, pp1-4, 2005.2

[13]K. Sugiyama, T. Aoki, and S. Hangai, “Motion Compensated Frame Rate Conversion Using Normalized Motion Estimation,” Proceedings of IEEE 2005 Workshop on Signal Processing Systems (SIPS'05), FP21, Nov. 2005

[14]小畑,相良,杉山, “フレームレート変換における適応ブロック分割と補間モード判定の改善,”映像情報メディア学会技術報告 Vol.31, No.13, BCTS2007-37, pp.5-8, 2007.2



8x8MC



8x8MC+mode



Proposal



Original

図 21 補間画像 (150x270 画素)