全探索小数画素精度動き推定の高速化

坂東幸浩[†], 高村誠之[†], 八島由幸[†]

[†] 日本電信電話株式会社 NTT サイバースペース研究所
〒239-0847 神奈川県横須賀市光の丘 1-1
E-mail : {bandou.yukihiro, takamura.seishi, yashima.yoshiyuki}@lab.ntt.co.jp

あらまし　動き補償における予測誤差の低減を目的として、動きベクトルを小数画素精度で表現する動き推定（ME）が検討されている。しかし、小数画素精度 ME には、整数画素精度 ME に比較して動きベクトル探索の計算量が増大するという問題がある。従来、小数画素精度 ME の動きベクトル探索において計算量を低減させる場合、最適解である動きベクトルを求めることをあきらめ，準最適解に相当する動きベクトルを求める方法が多く検討されている。この場合、計算量の低減とひきかえに、予測誤差の増加を招く。しかし、予測誤差を減少させるために導入された小数画素精度 ME において、こうした予測誤差の増加は望ましくない。このため、予測誤差を増加させることなく計算量を低減させる動きベクトル探索法が必要となる。そこで、本稿では、小数画素精度 ME において、全探索と等価な推定精度を保証する動きベクトル探索の高速な計算法を提案する。具体的には、整数画素精度 ME に対する Successive elimination algorithm (SEA) と呼ばれる手法を小数画素精度 ME へと拡張する。

Fast fractional pel accuracy motion esitmation with estimation accuracy of full search

Yukihiro BANDO[†], Seishi TAKAMURA[†], and Yoshiyuki YASHIMA[†]

[†]NTT Cyber Space Laboratories, NTT Corporation
1-1 Hikarino-oka, Yokosuka, Kanagawa 239-0847, JAPAN
E-mail : {bandou.yukihiro, takamura.seishi, yashima.yoshiyuki}@lab.ntt.co.jp

Abstract: Motion estimation (ME) methods with fractional pel accuracy are used to reduce the power of motion compensation errors. Fractional pel ME requires more computations than integer pel ME. To lower computational costs, many conventional methods abandon the search for the optimal motion vector with fractional accuracy and compromise by finding a sub-optimal one instead. These compromises lead to more prediction errors. Therefore, we need a method which lowers computational costs, without increasing prediction errors. In this paper, we propose a motion vector search algorithm that is an extension of the successive elimination algorithm (SEA) for fractional pel ME. Our algorithm achieves lower computational costs compared with the full search algorithm, even though it gives the same result.

1 はじめに

MPEG-,2,4[1] [2], H.263[3] に代表される動画像符号化における重要な技術の一つにブロックマッチングに基づく動き補償 [4] がある。この方法では、符号化対象フレーム $\boldsymbol{f}_t(\boldsymbol{p})$ $(\boldsymbol{p} \in \{(x,y)|x=0,1,\cdots,X-1, y=0,1,\cdots,Y-1\})$ をいくつかの領域に分割し、領域毎に動き補償を用いた次のようなフレーム間予測が行われる。

$$\hat{\boldsymbol{f}}_t(\boldsymbol{p}) = \boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\boldsymbol{v_i}), \quad \boldsymbol{p} \in \boldsymbol{B_i}$$

ここで、$\boldsymbol{B_i}$ は第 i 番目の領域であり、$\boldsymbol{v_i}$ は次式を満たす動きベクトルである。

$$\boldsymbol{v_i} = \arg\min_{\boldsymbol{v}\in\boldsymbol{R_i}} \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B_i}} |\boldsymbol{f}_t(\boldsymbol{p}) - \boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\boldsymbol{v})| \quad (1)$$

なお、$\boldsymbol{R_i}$ は $\boldsymbol{B_i}$ に対応する探索領域であり、$\arg\min_{\boldsymbol{v}} {}_{\boldsymbol{v}\in\boldsymbol{R_i}}$ は次に続く関数を最小化する $\boldsymbol{v}$ を返す。すなわち、探索範囲 $\boldsymbol{R_i}$ において、領域 $\boldsymbol{B_i}$ 内での予測誤差を最小化する $\boldsymbol{v}$ が動きベクトル $\boldsymbol{v}_i$ として選ばれる。

予測誤差の低減を目的として、動きベクトルを小数画素精度で表現する動き補償が検討されている。$\frac{1}{m}$ 画素精度の動き補償の場合、動きベクトルは次式を満たすベクトルとして求める。

$$\boldsymbol{v_i} = \arg\min_{\boldsymbol{v}\in\tilde{\boldsymbol{R}}_i} \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B_i}} |\boldsymbol{f}_t(\boldsymbol{p}) - \tilde{\boldsymbol{f}}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\boldsymbol{v})| \quad (2)$$

ここで、 $\tilde{\boldsymbol{f}}_{t-1}(\boldsymbol{p})$ は $\boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p})$ から生成される補間画像であり、$\frac{1}{m}$ 画素間隔で画素値をもつ。式 (1) あるいは式 (2) に基づき動きベクトルを求める処理を動き推定 (ME) と呼ぶ。以下では、式 (1) および式 (2) に対応する ME を各々、整数画素精度 ME、小数画素精度 ME と呼び区別する。

小数画素精度 ME の場合、整数画素精度 ME に比較して動きベクトル探索の計算量が増大する。これは、探索領域内に含まれる探索点の数が増加するためである。探索領域が wh 点の画素を含む場合、整数画素精度 ME における探索点が wh 点であるのに対し、$\frac{1}{m}$ 画素精度の小数画素精度 ME における探索点は $\{m(w-1)+1\}\{m(h-1)+1\}$ 点となる。

小数画素精度 ME の動きベクトル探索において計算量を低減させる場合、最適解である式 (2) の動きベクトルを求めることをあきらめ，準最適解に相当する動きベクトルを求める方法が多く検討されている。この場合、計算量の低減とひきかえに、予測誤差は増加してしまう。しかし、予測誤差を減少させるために導入された小数画素精度 ME において、こうした予測誤差の増加は望ましくない。このため、予測誤差を増加させることなく計算量を低減させる動きベクトル探索法が必要となる。

そこで、本稿では、全探索における推定精度を保証した小数画素精度 ME における動きベクトル探索の高速な計算法を確立することを目的とする。具体的には、整数画素精度 ME に対する Successive elimination algorithm (SEA) [5] と呼ばれる手法を小数画素精度 ME へと拡張する。ここで基本となるのは、予め下限値を見積もり、その下限値を用いて候補ベクトルの枝刈りを行うことである。こうした下限値に基づき全探索を高速化するアプローチは、パターン認識におけるアクティブ探索 [6] にも見ることができる。

2 Successive elimination algorithm

予測誤差の最小性を保証した動きベクトル探索の高速化として、代表的なものに Successive elimination algorithm (SEA) [5] と呼ばれる手法がある。同手法は、MC 誤差の下限値を予め見積もり、その下限値をもとに探索点を絞り込む手法である。同手法では $E(\boldsymbol{v})$ に対して、次式の下限値を用いる。

$$E(\boldsymbol{v}) \geq C - S(\boldsymbol{v}) \quad (3)$$

ここで、$C, S(\boldsymbol{v})$ は各々次式で表すとする。なお、本章以降、i 番目の領域に注目して議論するので、$\boldsymbol{B_i}$ は $\boldsymbol{B}$ と表わす。

$$\sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\boldsymbol{f}_t(\boldsymbol{p})| = C \quad (4)$$

$$\sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\boldsymbol{v})| = S(\boldsymbol{v}) \quad (5)$$

式 (3) の証明は以下の通りである。

$$\begin{aligned} E(\boldsymbol{v}) &= \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\boldsymbol{f}_t(\boldsymbol{p}) - \boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\boldsymbol{v})| \\ &\geq \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\boldsymbol{f}_t(\boldsymbol{p})| - \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\boldsymbol{v})| \\ &= C - S(\boldsymbol{v}) \end{aligned}$$

二つの動きベクトル $\boldsymbol{v}$、$\boldsymbol{u}$ の MC 誤差を比較する場合、両動きベクトルに対する MC 誤差を直接比較するのではなく、動きベクトル $\boldsymbol{v}$ の MC 誤差 $\mathrm{E}(\boldsymbol{v})$ に対して、動きベクトル $\boldsymbol{u}$ の MC 誤差 $E(\boldsymbol{u})$ の下限値 $L(\boldsymbol{u})$ との大小比較を行なう。この時、

$$E(\boldsymbol{v}) \leq L(\boldsymbol{u})$$

であれば、$L(\boldsymbol{u})$ が MC 誤差 $E(\boldsymbol{u})$ の下限値であるため、

$$E(\boldsymbol{v}) \leq E(\boldsymbol{u})$$

となり、$E(\boldsymbol{u})$ を算出して比較する必要はない。つまり、$E(\boldsymbol{u})$ の算出は、

$$L(\boldsymbol{u}) < E(\boldsymbol{v})$$

となる場合のみ行なえば十分である。

3 小数画素精度 ME に対応した SEA

3.1 補間画像の生成

小数画素精度 ME では、小数画素位置を参照するため、内挿補間により小数画素位置の画素値を算出する。例えば、ISO/IEC 13818-2 MPEG-2[1] における $\frac{1}{2}$ 画素精度の動き補償の場合、次のような補間画像を用いる。

$$\begin{aligned}
\tilde{\boldsymbol{f}}_{t-1}(\boldsymbol{p}) &= \boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}), && \text{(7a)}\\
\tilde{\boldsymbol{f}}_{t-1}(\boldsymbol{p}+\frac{\boldsymbol{\delta_x}}{\boldsymbol{2}}) &= \frac{\boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p})+\ \boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}+\boldsymbol{\delta_x})}{2}, && \text{(7b)}\\
\tilde{\boldsymbol{f}}_{t-1}(\boldsymbol{p}+\frac{\boldsymbol{\delta_y}}{\boldsymbol{2}}) &= \frac{\boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p})+\ \boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}+\boldsymbol{\delta_y})}{2}, && \text{(7c)}\\
\tilde{\boldsymbol{f}}_{t-1}(\boldsymbol{p}+\frac{\boldsymbol{\delta_{xy}}}{\boldsymbol{2}}) &= \frac{1}{4}\{\ \boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p})+\ \boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}+\boldsymbol{\delta_x})+\\
&\quad \boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}+\boldsymbol{\delta_y})+\ \boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}+\boldsymbol{\delta_{xy}})\}, && \text{(7d)}
\end{aligned}$$

ここで、$\boldsymbol{\delta_x}=(1,0)$, $\boldsymbol{\delta_y}=(0,1)$, $\boldsymbol{\delta_{xy}}=(1,1)$ であり、$\boldsymbol{p}$ は整数値を要素とするベクトルである。つまり、予測時の参照フレームの位置が 2 画素の中心なら (式 (7b) または式 (7c))、2 つの画素値の丸め付き平均を予測値として使用し、同位置が正方形の頂点に並んだ 4 画素の中心なら、4 つの画素値の丸め付き平均を予測値として使用することになる (式 (7d))。

以下では、式 (7a) ～ (7d) の補間画像を用いる $\frac{1}{2}$ 画素精度 ME を例にとり、 説明する。ただし、本手法は補間画像を生成する補間式に依存するものではなく、他の補間式を用いた場合も同様に適用可能である。

3.2 下限値の導出

小数画素精度の動きベクトル $\tilde{\boldsymbol{v}}$ に対する MC 誤差の下限値を導出する。このとき、動きベクトル $\tilde{\boldsymbol{v}}$ のとりうる値は次の 4 通りである。

$$\tilde{\boldsymbol{v}} = \begin{cases} \boldsymbol{v} \\ \boldsymbol{v}+\dfrac{\delta_x}{2} \\ \boldsymbol{v}+\dfrac{\delta_y}{2} \\ \boldsymbol{v}+\dfrac{\delta_{xy}}{2} \end{cases} \tag{8}$$

ここで、$\boldsymbol{v}$ は整数値を要素とするベクトルである。

$\tilde{\boldsymbol{v}}$ の値に応じて $E(\tilde{\boldsymbol{v}})$ を 4 通りに場合分けし、各下限値を求める。

(i) $\tilde{\boldsymbol{v}}=\boldsymbol{v}$ の場合：

動きベクトルは参照フレーム中の画素位置を指すため、整数画素精度 ME における SEA の場合と同様に、MC 誤差は次の下限値を持つ。

$$E(\tilde{\boldsymbol{v}}) \geq C - S(\boldsymbol{v}) \tag{9}$$

ここで、C, $S(\boldsymbol{v})$ は各々式 (4), (5) で表すものとする。

(ii) $\tilde{\boldsymbol{v}}=\boldsymbol{v}+\frac{\delta_x}{2}$ の場合：

動きベクトルの指す参照フレームの位置は 2 画素の中心となり、MC 誤差は次の下限値を持つ。

$$E(\tilde{\boldsymbol{v}}) \geq C - \frac{1}{2}S(\boldsymbol{v}) - \frac{1}{2}S(\boldsymbol{v}+\boldsymbol{\delta_x}\ ) \tag{10}$$

式 (10) の証明は以下の通りである。なお、以下の証明において、式 (11a) から式 (11b) への展開では、動きベクトルの指す参照フレームの位置は 2 画素の

中心となることから、式 (7b) を用いた。

$$\begin{aligned}E(\tilde{\boldsymbol{v}}) &= \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\boldsymbol{f}_t(\boldsymbol{p}) - \tilde{\boldsymbol{f}}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\tilde{\boldsymbol{v}})| \\ &\geq \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\boldsymbol{f}_t(\boldsymbol{p})| - \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\tilde{\boldsymbol{f}}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\tilde{\boldsymbol{v}})| \qquad (11a) \\ &= \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\boldsymbol{f}_t(\boldsymbol{p})| - \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} \left|\frac{1}{2}\{\ \boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\boldsymbol{v}) + \right. \\ &\quad \left. \boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\boldsymbol{v}-\boldsymbol{\delta_x})\}\right| \qquad (11b) \\ &= \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\boldsymbol{f}_t(\boldsymbol{p})| - \frac{1}{2}\left\{\sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\boldsymbol{v})| + \right. \\ &\quad \left. \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\boldsymbol{v}-\boldsymbol{\delta_x})|\right\} \\ &= C - \frac{1}{2}\{S(\boldsymbol{v}) + S(\boldsymbol{v}+\boldsymbol{\delta_x}\ )\} \qquad \text{Q}.E.D.\end{aligned}$$

(iii) $\tilde{\boldsymbol{v}} = \boldsymbol{v} + \dfrac{\delta_y}{2}$ の場合：

上述の (ii) と同様に動きベクトルの指す参照フレームの位置は 2 画素の中心となり、MC 誤差は次の下限値を持つ。

$$E(\tilde{\boldsymbol{v}}) \geq C - \frac{1}{2}S(\boldsymbol{v}) - \frac{1}{2}S(\boldsymbol{v}+\boldsymbol{\delta_y}\ ) \qquad (12)$$

証明は (ii) の場合と同様に行なえる。

(iv) $\tilde{\boldsymbol{v}} = \boldsymbol{v} + \dfrac{\delta_{xy}}{2}$ の場合：

動きベクトルの指す参照フレームの位置は 4 画素の中央となり、MC 誤差は次の下限値を持つ。

$$\begin{aligned}E(\tilde{\boldsymbol{v}}) &\geq C - \frac{1}{4}S(\boldsymbol{v}) - \frac{1}{4}S(\boldsymbol{v}+\boldsymbol{\delta_x}\ ) - \\ &\quad \frac{1}{4}S(\boldsymbol{v}+\boldsymbol{\delta_y}\ ) - \frac{1}{4}S(\boldsymbol{v}+\boldsymbol{\delta_{xy}}\ ) \quad (13)\end{aligned}$$

式 (13) の証明は以下の通りである。なお、以下の証明において、式 (14a) から式 (14b) への展開では、動きベクトルの指す参照フレームの位置は 4 画素の中央となることから、式 (7d) を用いた。

$$\begin{aligned}E(\tilde{\boldsymbol{v}}) &= \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\boldsymbol{f}_t(\boldsymbol{p}) - \tilde{\boldsymbol{f}}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\tilde{\boldsymbol{v}})| \\ &\geq \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\boldsymbol{f}_t(\boldsymbol{p})| - \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\tilde{\boldsymbol{f}}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\tilde{\boldsymbol{v}})| \quad (14a) \\ &= \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\boldsymbol{f}_t(\boldsymbol{p})| - \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} \left|\frac{1}{4}\{\ \boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\boldsymbol{v}) + \right. \\ &\quad \boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\boldsymbol{v}-\boldsymbol{\delta_x}) + \\ &\quad \boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\boldsymbol{v}-\boldsymbol{\delta_y}) + \\ &\quad \left. \boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\boldsymbol{v}-\boldsymbol{\delta_x}-\boldsymbol{\delta_y})\}\right| \qquad (14b) \\ &= \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\boldsymbol{f}_t(\boldsymbol{p})| - \frac{1}{4}\left\{\sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\boldsymbol{v})| + \right. \\ &\quad \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\boldsymbol{v}-\boldsymbol{\delta_x})| + \\ &\quad \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\boldsymbol{v}-\boldsymbol{\delta_y})| + \\ &\quad \left. \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\boldsymbol{v}-\boldsymbol{\delta_x}-\boldsymbol{\delta_y})|\right\} \\ &= C - \frac{1}{4}\{S(\boldsymbol{v}) + S(\boldsymbol{v}+\boldsymbol{\delta_x}\ ) \\ &\quad + S(\boldsymbol{v}+\boldsymbol{\delta_y}\ ) + S(\boldsymbol{v}+\boldsymbol{\delta_{xy}}\ )\} \qquad \text{Q}.E.D.\end{aligned}$$

以上 (i)〜(iv) をまとめると、MC 誤差の下限値 $L(\tilde{\boldsymbol{v}})$ は次式となる。

$$L(\tilde{\boldsymbol{v}}) = \begin{cases} C - S(\boldsymbol{v}) & (\tilde{\boldsymbol{v}} = \boldsymbol{v}) \\ C - \dfrac{1}{2}\{S(\boldsymbol{v}) + S(\boldsymbol{v}+\boldsymbol{\delta_x}\ )\} & (\tilde{\boldsymbol{v}} = \boldsymbol{v} + \dfrac{\delta_x}{2}) \\ C - \dfrac{1}{2}\{S(\boldsymbol{v}) + S(\boldsymbol{v}+\boldsymbol{\delta_y}\ )\} & (\tilde{\boldsymbol{v}} = \boldsymbol{v} + \dfrac{\delta_y}{2}) \\ C - \dfrac{1}{4}\{S(\boldsymbol{v}) + S(\boldsymbol{v}+\boldsymbol{\delta_x}\ ) + & \\ S(\boldsymbol{v}+\boldsymbol{\delta_y}\ ) + S(\boldsymbol{v}+\boldsymbol{\delta_{xy}}\ )\} & (\tilde{\boldsymbol{v}} = \boldsymbol{v} + \dfrac{\delta_{xy}}{2}) \end{cases} \qquad (15)$$

3.3 下限値の計算

式 (15) に示す下限値の計算は $C = \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\boldsymbol{f}_t(\boldsymbol{p})|$ と $S(\boldsymbol{v}) = \sum_{\boldsymbol{p}\in\boldsymbol{B}} |\boldsymbol{f}_{t-1}(\boldsymbol{p}-\boldsymbol{v})|$ の 2 要素からなる。つまり、小数画素位置での MC 誤差の下限値が整数画素位置の画素値から定まるという事である。従って、上述 (i) の整数動きベクトルの場合に $S(\boldsymbol{v})$ を計算しておけば、残る (ii)〜(iv) の場合にはこの計算結果を再利用して、大幅に計算量を削減できる。なお、

表 1: 処理時間の比較 (処理対象は 150[フレーム])

画像	本手法 [sec]	全探索 [sec]
foreman	79.310	173.640
mobile	96.260	201.580
stefan	99.840	200.620
flower garden	100.450	206.780
horse	103.100	198.280
bus	106.140	206.210
football	117.720	211.420

C については、動きベクトル $\boldsymbol{v}$ によらず一定であるので、一度計算しておけば、再計算の必要はない。さらに、$S(\boldsymbol{v})$ の計算では、既に計算済みの整数動きベクトル $\boldsymbol{u}$ に対する計算結果 $S(\boldsymbol{u})$ を利用し、計算量を少なく抑えることができる。

4 実験

本手法の効果を検証するために計算機を用いた実験を行った．実験において用いた画像は 10 種類の CIF 画像 (352×288 [画素/フレーム]) であり、各々の第 1 フレーム〜第 150 フレームを処理の対象とした。用いた計算機の CPU は Pentium4 2.53GHz である．また、1 つの動きベクトルに対応するブロックのサイズは 16×16 [画素] とし、探索範囲は $[-16, \ldots, +15] \times [-16, \ldots, +15]$ とした。動き推定の精度は $\frac{1}{2}$ 画素として、補間画像は式 (7a) 〜 (7d) により生成した。

本手法と全探索の処理時間の比較を表 1 に示す。同表より、本手法は全探索に対して、処理時間を約 1/2 にまで低減できることが確認できる。“候補ベクトルの総数” に対する “MC 誤差の下限値との比較で除外された候補ベクトル数” の比を枝刈り率として、画像毎の枝刈り率を表 2 に示す。表 1 と表 2 の結果より、枝刈り率の増加に従い、処理時間は減少していることが確認できる。枝刈りには MC 誤差の下限値を計算する必要があり、これが計算量のオーバーヘッドとなることが懸念される。しかし、本手法における同下限値は式 (15) に示すように、極めて少ない計算量で算出できる。このため、表 1 に示すように、処理時間の大幅な短縮を実現できた。

表 2: 各画像毎の枝刈り率

画像	枝刈り率 [%]
foreman	75.26
horse	63.13
mobile	62.96
stefan	62.02
flower garden	60.37
bus	60.07
football	54.90

5 おわりに

本稿では、全探索と同一の結果を保証する小数画素精度 ME の高速な計算法を提案した。本手法の特徴は、MC 誤差の下限値を用いて候補ベクトルを絞り込む点と、その際用いる下限値を高速に算出できる点にある。この結果、小数画素精度 ME において問題とされてきた計算量の増加を解消でき、少ない計算量で、小数画素精度 ME のもつ高い予測性能を享受できる。

参考文献

[1] ISO/IEC 13818-2. *Information technology – Generic coding of muving pictures and associated audio information : Video*, 1996.

[2] ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG11 N2725. *Overview of the MPEG-4 Version 1 standard*, 1999.

[3] ITU-T SG 15 WP 15/1. *Draft recommendation H.263 (Video coding for low bitrate communication).* Doc.LBC-95-251, 1995.

[4] J. R. Jain and A. K. Jain. Displacement measurement and its application in interframe image coding. *IEEE Trans. Computer*, Vol. COM-29, No. 1, pp. 1799–1806, 1981.

[5] W.Li and E.Salari. Successive elimination algorithm for motion estimation. *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 4, No. 1, pp. 105–107, Jan. 1995.

[6] 村瀬 洋, V.V.Vinod. 局所色情報を用いた高速物体探索–アクティブ探索法–. 信学論, Vol. J81-DII, No. 9, pp. 2035–2042, 1998.