

高時間分解能制御に基づく符号化志向型映像生成アルゴリズム

Encoding-oriented video generation algorithm
based on control with high temporal resolution坂東幸浩[†], 高村誠之[†], 清水淳[†]Yukihiro BANDO[†], Seishi TAKAMURA[†], Atsushi SHIMIZU[†]

1 はじめに

昨今の半導体技術の進歩を受け、映像撮像機器の映像取得速度が大きく向上している。例えば、オンチップメモリを搭載したバースト型イメージセンサでは、1T 画素/秒のピクセルレートを実現する CMOS センサ [1] が開発されている。また、高速度カメラでは、4K 解像度 (4096 × 2160 画素/フレーム) で 900 Hz を実現する機器が開発されている。高速撮影された映像の用途は、映像再生時の高画質化と映像解析の高精度化に分類される。前者は、高フレームレート化により滑らかな動きを表現することを目的とする。このため、表示機器でのリアルタイム再生を前提としている。従来の表示フレームレートが 50Hz, 60Hz であったのに対して、滑らかな動きの表現には 240Hz ~ 300Hz が必要であると報告されている [2]。後者は、視覚の検知限を越えた時間解像度を利用して、映像解析の高精度化を行うことを目的としている。スロー再生による高速移動物体 (スポーツ映像、FA・検査、自動車等) の解析は代表的な応用例である。

しかし、現行の映像システムにおいて、高時間解像度の利用は限定的である。視覚の検知限超の時間解像度は、スロー再生等の非リアルタイム再生用途の映像取得に限られており、リアルタイム再生用途の映像に対しては、表示機器のフレームレートに整合した時間解像度での取得・生成を前提としている。映像符号化器への入力映像の生成処理についても、同様の状況である。上記生成処理の代表例が、非スケーラブル符号化器に対する符号化効率向上を目的としたプレフィルタ処理、および、スケーラブル符号化器に対する時間スケーラブル機能付与を目的としたプレフィルタ処理である。前者は、空間フィルタに基づく方法 [3] [4] と、時間フィルタに基づく方法 [5] [6] [7] に大別される。しかし、いずれも、フィルタ処理前後の時間解像度が変化しない前提で設計されている。後者は、複数の時間解像度の信号を生成する [8] [9]。しかし、再生フレームレートの異なる表示機器への対応が目的であり、表示機器の再生フレームレートを超える時間解像度への対応は、考慮されていない。

これに対して、筆者らは、視覚の検知限を越えた時間解像度でサンプリングされたフレーム群を利用し、符号化対

象信号の生成過程を制御することで、符号化処理と親和性の高い映像信号を生成できる可能性がある事に着目した。例えば、符号化対象として 30Hz の映像が必要な場合を考える。このとき、高時間解像度 (例: 1000Hz) で映像を取得し、この取得した映像を用いて、符号化処理に適した映像を生成するアプローチを取る。本アプローチにより、映像の生成を高い時間分解能で制御可能となる。筆者らは先に、高時間解像度でサンプリングされたフレームの中から、発生符号量を最小化するフレームを適応的に選択する時間方向のサブサンプリング法を提案した [10]。同サブサンプリング法は参照フレームを 1 枚とする時間フィルタとして設計された。

上記サブサンプリング法の拡張として、本稿では、高時間解像度でサンプリングされた複数フレームを参照して画像信号を生成する時間フィルタを設計対象とし、主観画質を保持した上で発生符号量を最小化するための設計方法について検討する。同時間フィルタの最適設計は選択可能なフィルタ係数ベクトルの最適選択問題として定式化され、動的計画法に基づき最適解を求めるアプローチを取る。

2 時間フィルタの設計

2.1 時間フィルタ設計における表記法の整理

高い時間解像度で映像が取得できた前提のもと、同映像を用いて符号化に適した映像を生成するための時間フィルタ設計を考える。なお、以下では、時間フィルタの入力となる画像信号を原フレームと呼び、時間フィルタにより出力される画像信号を合成フレームと呼ぶ。また、表記の簡略化のため、処理対象を一次元信号として説明する。(2Δ+1) タップの時間フィルタにより出力される第 i 番目の合成フレームを次式で表す。

$$\hat{f}(x, iM\delta_t, \mathbf{w}_i, p_i) = \sum_{j=-\Delta}^{\Delta} w_i[j] f(x, (iM + \lfloor \frac{M}{2} \rfloor + p_i + j)\delta_t) \quad (1)$$

i は合成フレームを指定するインデックスであり、非負の整数値をとる。原フレームは、フレーム間隔を δ_t として、 $t = j\delta_t$ ($j = 0, 1, \dots$) においてサンプリングされる。 $f(x, t)$ は第 t 番目の原フレームの位置 x ($x = 0, \dots, X-1$) にお

[†]日本電信電話株式会社 NTT メディアインテリジェンス研究所

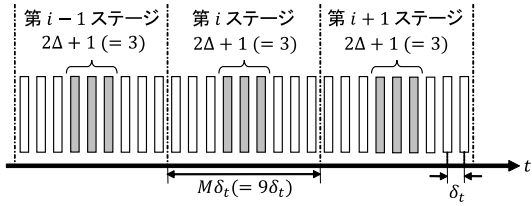
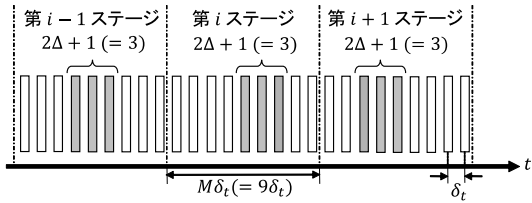
(a) $\Delta = 1, M = 9, p_{i-1} = p_i = p_{i+1} = 0$ の場合(b) $\Delta = 1, M = 9, p_{i-1} = 0, p_i = 1, p_{i+1} = -1$ の場合

図1: 時間フィルタの入力信号となる原フレーム

ける画素値である。 $\lfloor \frac{M}{2} \rfloor$ は $\frac{M}{2}$ を超えない最大の整数とする。 $w_i[j]$ は時間フィルタの入力信号に対するフィルタ係数であり、次式の関係満足する。

$$\sum_{j=-\Delta}^{\Delta} w_i[j] = 1$$

また、 \mathbf{w}_i はフィルタ係数を要素とするベクトル $\mathbf{w}_i = (w_i[-\Delta], \dots, w_i[\Delta])$ であり、係数ベクトルと呼ぶ。 p_i は $0, \dots, \pm P$ の値を取り、フィルタ位置のシフト量を制御するパラメータであり、シフト量と呼ぶ。 M は合成フレームのフレーム間隔を決定するパラメータであり、式(1)においてシフト量が零値の場合、合成フレームのフレーム間隔は $M\delta_t$ となる。なお、本稿では $2\Delta + 2P + 1 \leq M$ を前提とする。図1は、時間フィルタの入力信号となる原フレームと時間フィルタのパラメータ M, Δ 及びシフト量 p_{i-1}, p_i, p_{i+1} の関係を図示している。灰色矩形が時間フィルタの入力信号となる原フレームを表し、白色矩形がそれ以外の原フレームを表す。同図(a)(b)は、いずれも $M = 9, \Delta = 1$ とした例を表しており、このうち同図(a)はシフト量を全て零値とした場合の例であり、同図(b)はシフト量を $p_{i-1} = 0, p_i = 1, p_{i+1} = -1$ とした場合の例である。

係数ベクトルとして選択する候補ベクトル（以後、係数候補ベクトルと呼ぶ）として、 N 種類の係数候補ベクトル $\gamma_n = (\gamma_n[-\Delta], \dots, \gamma_n[\Delta])$, ($n = 0, \dots, N-1$) を考える。さらに、前述のシフト量により、時間フィルタの入力信号となる原フレームの位置として $2P+1$ 通りが選択可能となる。この $N \times (2P+1)$ 種類の組合せの中から、合成フレームを生成するために最適な係数候補ベクトルとシフト量を選択する。以下では、係数候補ベクトルの集合を辞書と呼び、表記を簡略化する為に、 N 種類の係数候補ベクトルからなる辞書を $\Gamma_N = (\gamma_0, \dots, \gamma_{N-1})$ として表す。

2.2 フィルタ係数/シフト量の最適化規準

係数ベクトルおよびシフト量の最適化規準として、合成フレームの発生符号量、及び合成フレームと原フレームの乖離量に基づく評価尺度を導入する。なお、符号化は動き補償予測を伴う可逆符号化器により行われるものとする。

X 画素からなる合成フレームを K 分割して、分割区間毎に動き補償フレーム間予測を行う場合を考える。合成フレーム $\hat{f}(x, iM\delta_t, \mathbf{w}_i, p_i)$ をサイズ $\frac{X}{K}$ の区間 $B[k]$ ($k = 0, 1, \dots, K-1$) に分割し、合成フレーム $\hat{f}(x, (i-1)M\delta_t, \mathbf{w}_{i-1}, p_{i-1})$ を参照フレームとして、各区間 $B[k]$ ($k = 0, 1, \dots, K-1$) に対して動き補償(変位量 $\mathbf{d}_i = (d_i[0], \dots, d_i[K-1])$)を行った場合、動き補償フレーム間予測誤差(以下、予測誤差と略記)は次のように表現できる。

$$e_i(x, \mathbf{w}_i, \mathbf{w}_{i-1}, p_i, p_{i-1}) = \hat{f}(x, iM\delta_t, \mathbf{w}_i, p_i) - \hat{f}(x - d_i[k], (i-1)M\delta_t, \mathbf{w}_{i-1}, p_{i-1})$$

以降では、第 x 要素 ($x = 0, \dots, X-1$) を $e_i(x, \mathbf{w}_i, \mathbf{w}_{i-1}, p_i, p_{i-1})$ とするベクトルを $\mathbf{e}_i(\mathbf{w}_i, \mathbf{w}_{i-1}, p_i, p_{i-1})$ として表すものとする。予測誤差を符号化対象とする符号化器の発生符号量を以下のように表す。

$$\Psi(\mathbf{w}_i, \mathbf{w}_{i-1}, p_i, p_{i-1}) = R_h + R_d(\mathbf{d}_i) - R_e(\mathbf{e}_i(\mathbf{w}_i, \mathbf{w}_{i-1}, p_i, p_{i-1})) \quad (2)$$

$R_e(\mathbf{e}_i(\mathbf{w}_i, \mathbf{w}_{i-1}, p_i, p_{i-1}))$ は予測誤差に対する符号量、 $R_d(\mathbf{d}_i)$ は推定変位量 \mathbf{d}_i に対する符号量、 R_h は符号化器が生成するヘッダ情報の符号量である。前述の通り、可逆符号化器を用いるため、予測誤差は符号化対象フレームおよび参照フレームのみに依存する。従って、式(2)に示す発生符号量 $\Psi()$ は、変位量およびヘッダ情報が確定すれば、第 i 合成フレームに対する係数ベクトル \mathbf{w}_i 、シフト量 p_i および第 $i-1$ 合成フレームに対する係数ベクトル \mathbf{w}_{i-1} 、シフト量 p_{i-1} により定まる。

合成フレームの主観画質を保持するために、合成フレームと原フレームとの乖離量として、次式の値を導入する。

$$\Phi[\mathbf{w}_i, p_i] = \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{X-1} \{f(x, (iM+k)\delta_t) - \hat{f}(x, iM\delta_t, \mathbf{w}_i, p_i)\}^2 \quad (3)$$

ここで、時間軸上の区間 $iM \leq t < iM + M$ を第 i ステージと呼ぶこととすれば、上式は、第 i ステージにおける合成フレームと同ステージ内の全ての原フレームとの二乗誤差和を表している。

合成フレームの原フレームからの乖離を抑え、合成フレームの発生符号量を低減させるために、次式を係数ベクトルおよびシフト量の最適化における評価尺度とする。

$$\Xi[(\mathbf{w}_i, \mathbf{w}_{i-1}, p_i, p_{i-1})] = \Psi[\mathbf{w}_i, \mathbf{w}_{i-1}, p_i, p_{i-1}] + \lambda \Phi[\mathbf{w}_i, p_i] \quad (4)$$

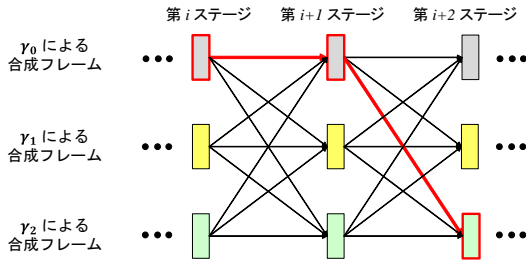


図 2: フィルタ選択を行うトレリス遷移図

2.3 フィルタ係数/シフト量の最適化

式 (4) の評価尺度の総和を最小化する合成フレームを生成するためには、次式の最小化問題の解として、 J/M 組の係数ベクトルおよびシフト量を求める必要がある。

$$\begin{aligned} & (\mathbf{w}_0^*, \dots, \mathbf{w}_{J/M-1}^*, p_0^*, \dots, p_{J/M-1}^*) \\ &= \arg \min_{\substack{\mathbf{w}_0, \dots, \mathbf{w}_{J/M-1} \in \Gamma_N \\ p_0, \dots, p_{J/M-1}}} \sum_{i=1}^{J/M-1} \Xi[\mathbf{w}_i, \mathbf{w}_{i-1}, p_i, p_{i-1}] \quad (5) \end{aligned}$$

例として、 $P=0$ としてシフト量が固定された $N=3$ の場合における合成フレーム間の依存関係を図 2 に示す。同図の各ステージでは、3 種類の係数候補ベクトル $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2$ のいずれかを用いて、合成フレームを生成する。灰色、黄色、緑色の矩形は、各々、係数候補ベクトル $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2$ を用いて合成フレームを生成した状態にあることを表す。また、矢印は動き補償フレーム間予測における参照関係を表す。矢印の右端の合成フレームは被予測フレームであり、矢印の左端の合成フレームは参照フレームである。同図の遷移図が J/M ステージから構成される場合、係数ベクトルの取り得る組合せは $3^{J/M}$ 通り* となる。これは、遷移可能なパスの数に対応する。例えば、最適なパスが赤線で表されるものとすれば、全てのパスの中から、この最適なパスを見つけ出す必要がある。 N 種類の係数候補ベクトルおよび $2P+1$ 種類のシフト量を選択候補とする場合、その取り得る組合せは $\{N \times (2P+1)\}^{J/M}$ 通りとなり、最適な係数ベクトルとシフト量の選択は、指数オーダーの計算量が必要になる。このため、最適な組み合わせ $(\mathbf{w}_0^*, \dots, \mathbf{w}_{J/M-1}^*, p_0^*, \dots, p_{J/M-1}^*)$ を総当りで探索するのは、計算量の観点から現実的ではない。

$\Xi[\mathbf{w}_i, \mathbf{w}_{i-1}, p_i, p_{i-1}]$ が \mathbf{w}_i, p_i および $\mathbf{w}_{i-1}, p_{i-1}$ のみに依存することに着目すれば、式 (5) は単純マルコフ過程における最適化問題として定式化できる。同最適化問題は動的計画法に基づき、最適解を多項式オーダーの計算量で求めることが可能である。以下、動的計画法を用いた解法を示す。まず、 \mathbf{w}_i および p_i ($i=1, \dots, J/M-1$) に対して、

次式の $S_i(\mathbf{w}_i, p_i)$ を定義する。

$$S_i(\mathbf{w}_i, p_i) = \min_{\substack{\mathbf{w}_0, \dots, \mathbf{w}_{i-1} \in \Gamma_N \\ p_0, \dots, p_{i-1}}} \sum_{j=1}^i \Xi[\mathbf{w}_j, \mathbf{w}_{j-1}, p_j, p_{j-1}] \quad (6)$$

$S_i(\mathbf{w}_i, p_i)$ は、第 i ステージにおいて係数ベクトル \mathbf{w}_i 、シフト量 p_i とした時間フィルタにより合成フレームを生成した状態に至る経路に対して、最適な係数ベクトルおよびシフト量を用いた場合のコストの総和である。

ここで、 \mathbf{w}_i, p_i を固定した場合、 $\Xi[\mathbf{w}_i, \mathbf{w}_{i-1}, p_i, p_{i-1}]$ が $\mathbf{w}_{i-1}, p_{i-1}$ のみに依存することに着目すると、 $S_i(\mathbf{w}_i, p_i)$ は次式のような漸化式として表せる。

$$S_i(\mathbf{w}_i, p_i) = \min_{\substack{\mathbf{w}_{i-1} \in \Gamma_N \\ p_{i-1}}} \{ \Xi[\mathbf{w}_i, \mathbf{w}_{i-1}, p_i, p_{i-1}] + S_{i-1}(\mathbf{w}_{i-1}, p_{i-1}) \} \quad (7)$$

なお、 $S_{i-1}(\mathbf{w}_{i-1}, p_{i-1})$ は、同様の漸化式を用いて算出済みであり、 $S_i(\mathbf{w}_i, p_i)$ の算出時には、参照可能な値である。この場合、式 (7) の漸化関係より、 $S_i(\mathbf{w}_i, p_i)$ の算出には、 $\Xi[\mathbf{w}_i, \mathbf{w}_{i-1}, p_i, p_{i-1}] + S_{i-1}(\mathbf{w}_{i-1}, p_{i-1})$ を最小化する辞書 Γ_N 内の係数候補ベクトルおよびシフト量 p_i を選択すれば十分である。 \mathbf{w}_i に対する係数候補ベクトルのインデックス n_i とすると、各 n_i に対して、式 (7) の最小値を与える係数候補ベクトルのインデックスを $\hat{n}_{i-1}(n_i, p_i)$ として格納し、同様に、シフト量を $\hat{p}_{i-1}(n_i, p_i)$ として格納し、後段の処理において参照可能にしておく。

式 (7) の漸化式を再帰的に用いることで、式 (5) の最小化問題は次式のように表せる。

$$\min_{\substack{\mathbf{w}_{J/M-1} \in \Gamma_N \\ p_{J/M-1}}} S_{J/M-1}(\mathbf{w}_{J/M-1}, p_{J/M-1}) \quad (8)$$

このように、式 (7) の漸化式を用いる方法であれば、式 (5) の最適解 $(\mathbf{w}_0^*, \dots, \mathbf{w}_{J/M-1}^*, p_0^*, \dots, p_{J/M-1}^*)$ は、 $\{N \times (2P+1)\}^{J/M}$ 通りの中から最適解を探索する問題に帰着でき、多項式オーダーの計算量で算出することが可能である。

$\sum_{i=1}^{J/M-1} \Psi[\mathbf{w}_i, \mathbf{w}_{i-1}, p_i, p_{i-1}]$ の最小値を求めた後、最適解 $(\mathbf{w}_0^*, \dots, \mathbf{w}_{J/M-1}^*, p_0^*, \dots, p_{J/M-1}^*)$ は以下のバックトラック過程により得られる。式 (8) を最小化する $\mathbf{w}_{J/M-1}, p_{J/M-1}$ を次式の通り、 $\mathbf{w}_{J/M-1}^*, p_{J/M-1}^*$ とおく。

$$(\mathbf{w}_{J/M-1}^*, p_{J/M-1}^*) = \arg \min_{\substack{\mathbf{w}_{J/M-1} \in \Gamma_N \\ p_{J/M-1}}} S_{J/M-1}(\mathbf{w}_{J/M-1}, p_{J/M-1})$$

$\mathbf{w}_{J/M-1}^*$ を表す係数候補ベクトルのインデックスを $n_{J/M-1}^*$ とする。第 $J/M-1$ 合成フレームの係数候補ベクトルのインデックスを $n_{J/M-1}^*$ 、シフト量を $p_{J/M-1}^*$ とした場合の第 $J/M-2$ 合成フレームに対する最適な係数候補ベクトルのインデックス、およびシフト量は各々、 $\hat{n}_{J/M-2}(n_{J/M-1}^*, p_{J/M-1}^*)$ 、 $\hat{p}_{J/M-2}(n_{J/M-1}^*, p_{J/M-1}^*)$ として格納されている。そこ

* $N=3$ の場合の例であるため

で、第 $J/M - 2$ 合成フレームの係数ベクトルおよびシフト量を各々、 $\mathbf{w}_{J/M-2}^* = \gamma_{\hat{n}_{J/M-2}}(n_{J/M-2}^*, p_{J/M-2}^*)$ 、 $p_{J/M-2}^* = \hat{p}_{J/M-2}(n_{J/M-2}^*, p_{J/M-2}^*)$ として同定する。以下、同様の参照処理を $\mathbf{w}_{J/M-3}^* = \gamma_{\hat{n}_{J/M-3}}(n_{J/M-3}^*, p_{J/M-3}^*)$ 、 $p_{J/M-3}^* = \hat{p}_{J/M-3}(n_{J/M-3}^*, p_{J/M-3}^*)$ 、 \dots 、 $\mathbf{w}_0^* = \gamma_{\hat{n}_0}(n_0^*, p_0^*)$ 、 $p_0^* = \hat{p}_0(n_0^*, p_0^*)$ として繰り返す。

3 実験

提案手法による発生符号量の低減を評価するために、以下の実験を行った。実験に用いた映像は高速度カメラで撮影した RGB カラー映像 (24 bits/pixel) に対して YCbCr フォーマットに変換して得られた輝度信号映像 (8 bits/pixel) である。フレームレートは 1000 [Hz]、総フレーム数は 900 フレーム、解像度は 640×480 [画素] である。コンテンツは、2 種類の高層ビル (“Building A”、“Building B”)、および客船 (“Ship”) をパンニングにより撮影した映像である。発生符号量として、x264 エンコーダの lossless mode で出力される符号化ストリームのデータサイズを評価した。エンコーダの設定として、先頭フレームを I ピクチャ、後続のフレームを全て P ピクチャとする GOP 構造を用いた。時間フィルタの設定として、 $M = 32$ 、 $\Delta = 1$ とした。つまり、符号化対象映像のフレームレートは 31.25 [Hz]、時間フィルタのタップ数は 3 タップである。シフト量は $0, \pm 1, \pm 2$ の 5 通りとし、係数ベクトルの辞書は表 1 の係数候補ベクトルにより構成した。

表 2 は、提案法により設計した適応フィルタと比較対象である平均フィルタとの発生符号量を示す。同表の “適応フィルタ” の列は、2.3 に示すアルゴリズムにより算出したフィルタ係数を用いて生成した映像信号に対する発生符号量である。同表の “平均フィルタ” の列は、表 1 の $n = 0$ の係数候補ベクトルを用いて生成した映像信号に対する発生符号量である。なお、平均フィルタの出力は露光時間 $(2\Delta + 1)\delta_t$ [秒] で撮像された画像に相当する。同表より、提案法による適応フィルタは平均フィルタと比較して平均 3.01% の符号量低減を実現できたことが確認できる。これは、動き補償予測による時間方向の依存関係を考慮してフィルタを設計することで、一定の符号量低減が可能となったことを示している。

両フィルタにより生成された映像について主観画質の比較を行い、いずれのシーケンスに関しても、同等の主観画質であること確認した。主観画質へ影響を与える提案法の機構について、以下の 3 つの観点から考察を加える。第一に、辞書内の係数候補ベクトルと平均フィルタの係数ベクトル ($n = 0$ の係数候補ベクトル) のフィルタ特性の違いに起因する合成フレームの画質差である。この点については、事前検証として、前述の評価用コンテンツに対して、辞書内の係数候補ベクトル (5 種類) を単独で用いて映像を生

表 1: 実験で用いた係数候補ベクトル (n は係数候補ベクトルを指定するインデックス)

n	係数候補ベクトル	平均フィルタとの類似度
0	(1/3, 1/3, 1/3)	1.000
1	(29/96, 19/48, 29/96)	0.991
2	(13/48, 11/24, 13/48)	0.967
3	(35/96, 13/48, 35/96)	0.991
4	(19/48, 5/24, 19/48)	0.967

成し、生成した 5 種類の映像の主観画質に差が無いことを確認している。第二に、隣接ステージでの異なる係数ベクトルの利用に起因する時間軸方向の画質変動である。この点については、平均フィルタの出力を基準映像として、適応フィルタの出力が同等の主観画質である事を確認した。第三に、非零値のシフト量に起因する合成フレーム間隔の変動である。この点についても、合成フレーム間隔の固定された平均フィルタの出力と比べて、適応フィルタの出力が同等の主観画質である事を確認した。

表 3 に最適解として選択された係数候補ベクトルとシフト量の組合せの選択率を示す。同表より、大きなシフト量 (± 2) の選択率が各々、27.6 % (“Building A”), 20.7 % (“Building B”), 17.2 % (“Ship”) と、低く抑えられていることが確認できる。これは、評価尺度に導入した乖離量によって大きなシフト量の選択が抑止されたためと考えられる。また、符号量削減率が大きなコンテンツでは、平均フィルタの係数ベクトルと類似度の低い係数候補ベクトルが多く選択されていることが確認できる。表 1 の最右列に、各行の係数候補ベクトルと平均フィルタの係数ベクトルとの類似度として、両ベクトルの内積値を記載した。符号量削減率の低い “Building B” では、平均フィルタ ($n = 0$) および平均フィルタとの類似度の高い係数候補ベクトル ($n = 1, 3$) が多く選択されている。これに対し、“Building B” よりも符号量削減率が高い “Building A” では、 $n = 0, 1, 3$ の選択率が低下して、平均フィルタと類似度の低い係数候補ベクトル ($n = 2, 4$) の選択率が増加しており、最も符号量削減率が高い “Ship” では、さらに、 $n = 4$ の選択率が増加している。

4 おわりに

本稿では、主観画質を維持した上での発生符号量の低減を目的として、高密度に時間サンプリングされた映像信号に対する時間フィルタの設計法を提案した。フィルタ設計は、フィルタリング前後の信号の変化量およびフィルタリング後の信号の発生符号量に基づく評価尺度の最小化問題と

表 2: 発生符号量の比較

	適応フィルタ [bits/pixel]	平均フィルタ [bits/pixel]	符号量 削減率 [%]
Building A	2.54	2.49	2.04
Building B	2.80	2.77	1.23
Ship	3.69	3.48	5.77

表 3: 係数候補ベクトルの選択率 [%] (n は係数候補ベクトルを指定するインデックス)

(a) Building A

	シフト量				
	-2	-1	0	+1	+2
0	0.00	0.00	0.00	0.00	3.45
1	6.90	3.45	10.34	3.45	0.00
n 2	3.45	10.34	3.45	10.34	0.00
3	3.45	10.34	13.79	10.34	0.00
4	10.34	0.00	0.00	0.00	0.00

(b) Building B

	シフト量				
	-2	-1	0	+1	+2
0	0.00	6.90	3.45	3.45	0.00
1	10.34	24.14	6.90	3.45	0.00
n 2	0.00	0.00	3.45	3.45	0.00
3	6.90	20.69	3.45	3.45	3.45
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

(c) Ship

	シフト量				
	-2	-1	0	+1	+2
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.00	3.45	0.00	0.00	0.00
n 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	3.45	0.00	3.45	0.00	0.00
4	10.34	34.48	27.59	17.24	3.45

して定式化し、同最小化問題を動的計画法に基づく手法により求解した。評価実験の結果、平均フィルタと比較して、同等の主観画質を実現するための発生符号量が平均 3.01% 低減することを確認した。

参考文献

- [1] K. Hanzawa, Y. Kato, R. Kuroda, H. Mutoh, R. Hirose, H. Tominaga, K. Takubo, Y. Kondo, and S. Sugawa. A global-shutter CMOS image sensor with readout speed of 1Tpixel/s burst and 780Mpixel/s continuous. *IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. Digest of Technical Papers*, pp. 382–384, 2012.
- [2] Y. Kuroki, T. Nishi, S. Kobayashi, H. Oyaizu, and S. Yoshimura. A psychophysical study of improvements in motion-image quality by using high frame rates. *Journal of the Society for Information Display*, Vol. 15, No. 1, pp. 61–68, 2007.
- [3] Y. Chen, K. Rose, J. Han, and D. Mukherjee. A pre-filtering approach to exploit decoupled prediction and transform block structures in video coding. *Proc. IEEE Int. Conf. Image Process.*, pp. 4137–4140, 2014.
- [4] L. J. Kerofsky, R. Vanam, and Y. A. Reznik. Improved adaptive video delivery system using a perceptual pre-processing filter. *Proc. IEEE Global Conf. Signal & Inf. Process.*, 2014.
- [5] N. Tsapatsoulis, K. Rapantzikos, and C. Pattichis. An embedded saliency map estimator scheme: Application to video coding. *Int. J. Neural Syst.*, Vol. 17, No. 4, pp. 289–304, 2007.
- [6] C. Dikici and H. I. Bozma. Attention-based video streaming. *EURASIP J. Signal Process.: Image Commun.*, 2010.
- [7] A. Ben Hamida, M. Koubaa, H. Nicolas, and C. Ben Amar. Spatio-temporal video filtering for video surveillance applications. *IEEE Int. Conf. Multimedia and Expo Workshops*, 2013.
- [8] J. Ohm. Advances in scalable video coding. *Proc. IEEE*, Vol. 93, No. 1, pp. 42–56, 2005.
- [9] A. Golwelkar and J. Woods. Motion-compensated temporal filtering and motion vector coding using biorthogonal filter. *IEEE Trans. Circuits Syst. Video*, Vol. CSVT-17, No. 4, 2007.
- [10] 坂東幸浩, 高村誠之. 動的計画法に基づく高フレームレート映像信号に対する時間方向ダウンサンプリングの最適化. *信学論 (A)*, Vol. J96-A, No. 8, pp. 562–571, 2013.