

動きの特徴量に基づく動画像の適応的フレーム間隔制御

宮田 高道^{†a)} 溝口 祐介^{††} 吉田 俊之^{††} 酒井 善則[†]

Adaptive Frame Interval Control for Image Sequences Based on a Motion Feature Value

Takamichi MIYATA^{†a)}, Yusuke MIZOGUCHI^{††}, Toshiyuki YOSHIDA^{††}, and Yoshinori SAKAI[†]

あらまし 動画像に対する一般的な時間スケラブル符号化は、等間隔のフレーム列である基本レイヤと、その間に等間隔にフレームを配置した拡張レイヤによって実現されており、したがって拡張レイヤにおいて取り得るフレームレートは基本レイヤのフレームレートに依存した強い制限を受ける。一方、動画像はほぼ静止しているシーンから逆に激しい動きを伴うシーンまで様々な動きの activity を有するシーンから構成されているため、基本レイヤのフレーム間の動きに応じてフレームを適応的に挿入することにより、拡張レイヤを構成する際の自由度が高くなり、柔軟なフレーム間隔の制御が可能となる。本論文では、フレーム間の動きベクトルの統計量として得られる特徴量を利用し、フレーム間隔を適応的に制御する新しい手法を提案する。まず、定フレームレートの人工動画像を用いた主観評価実験とその統計処理によって、動きの特徴量とフレーム挿入の必要性との関係を定式化する。次に、この結果を利用し、定レートのフレーム列に適応的にフレームを挿入することで時間方向の主観画質、すなわち動きの滑らかさを改善する手法を提案する。最後に、得られた不等間隔フレーム列の生成手法を実画像に適用し、その有効性を確認する。

キーワード スケラブル符号化、フレームレート、フレーム挿入、画質、主観評価

1. まえがき

高速・大容量の通信インフラの整備に伴い、ネットワーク上で様々な動画像アプリケーションが実現されている。また、携帯電話や PDA などの処理能力の向上や無線通信の広帯域化に伴って、モバイル端末への動画像配信サービスも広まりつつある。しかしながら、インターネットに代表される heterogeneous なネットワークにおいては、ユーザの利用可能な帯域は環境によって異なり、また時間的にも大きく変動するため、各ユーザが必要な帯域を常に確保することは一般に困難である。このような背景により、動画像アプリケーションに対しては、個々の環境に対して可能な限り高

いサービス品質を提供できる技術が望まれており、実際には

- トランスコード法 [1]~[3]
- スケラブル符号化法 [4], [5]

等が知られている。トランスコード法は、再量子化やフレーム間引き等を行うことによって動画像の符号化ビットストリームを所望のビットレートへと変換する手法である。これに対し、スケラブル符号化法は、符号化ビットストリームを基本レイヤとその品質向上を目的とするいくつかの拡張レイヤとに分割し、それらの組合せによってユーザの利用可能な帯域に応じた動画像品質を提供する符号化法である。特にスケラブル符号化法は、前者と比較して送信側での処理負荷及び処理遅延が少ないという利点がある。現在のところ、空間画質 (SNR) や時間方向のスケラブル符号化法 [4]、あるいはその両者を併せた SNR-時間スケラブル符号化法等が検討されており、非スケラブル符号化法と比較した場合の符号化効率の改善や粒度の細かい柔軟なスケラブル符号化法 [5] の実現が主要な研究目標となっている。

[†] 東京工業大学大学院理工学研究科集積システム専攻, 東京都 Dept. Communications and Integrated Systems, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 O-okayama, Meguro-ku, Tokyo, 152-8552 Japan

^{††} 福井大学工学部情報メディア工学科, 福井市 Dept. Information Science, Faculty of Engineering, Fukui University, 3-9-1 Bunkyo, Fukui-shi, 910-8507 Japan

a) E-mail: miyata@net.ss.titech.ac.jp

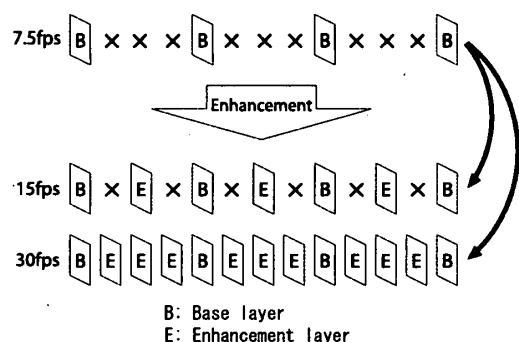


図1 7.5 fps の基本レイヤが取り得る拡張レイヤ
Fig. 1 Possible candidates for the FR in the enhancement layer when the FR of the base layer is 7.5 fps.

一般的な時間スケラビリティは、等間隔のフレーム列である基本レイヤ、及びその間に等間隔に挿入されたフレーム列である拡張レイヤによって実現されている。したがって、例えば図1に示すように、基本レイヤのフレームレート (frame rate, 以下 FR と略記) が 7.5 frame per second (fps) の場合、拡張レイヤにおいて取り得る FR は 15 fps と 30 fps のみに制限される。このように、一般的な時間スケラビリティにおいては、拡張レイヤにおける FR の選択自由度が低い (あるいは粒度が粗い) という問題点がある。

一方、非スケラブル、すなわち単一レイヤの動画像符号化において、可変 FR 符号化法が検討されている [3], [6]~[8]。この手法は、動画像中の動きの activity に応じて FR を局所的に変動させることで、与えられたビットレート制限のもとで極力高い動画像品質を得るものである。この考え方を時間スケラビリティに応用し、基本レイヤにおいて動きの“ごこちなさ”を感じさせる (すなわちフレーム挿入の必要性が高い) フレーム間隔に適応的に拡張レイヤのフレームを挿入することにより、フレームが不等間隔に並ぶ一方で、拡張レイヤを構成する際の自由度が高くなり非常に柔軟なフレーム間隔 (あるいは平均 FR) の制御が可能となるため、総合的な画質の改善が図れる [9], [10]。文献 [9] では、2. で述べるように動きの activity と “フレーム挿入の必要性” との関係を区分線形関数の重み和で表しているが、この関数の妥当性については示されていない。この関数形は本来、主観評価実験によって求めるものであると考えられる。

本論文では、フレーム間動きベクトルの統計量を特徴量として利用し、フレーム間隔を適応的に制御する新しい手法を提案する。まず、定 FR の人工動画像

を用いた主観評価実験とその統計処理によって、動きの特徴量及び FR と “フレーム挿入の必要性” との関係を導く。次に、この結果を利用し、基本レイヤのフレーム列に適応的にフレームを挿入することで、拡張レイヤにおける時間方向の主観品質、すなわち動きの滑らかさを柔軟に向上させる手法を提案する。最後に、得られた不等間隔フレーム列の生成手法を実画像に適用し、定 FR の動画像及び文献 [9] の手法と比較することでその有効性を示す。

以下、2. では文献 [9] で提案されている手法の概要と問題点について述べ、3. では提案手法の概要について述べる、続く 4. ではフィルタリング処理による正確な MV 抽出と動きの特徴量 m の抽出手法について説明し、5. では主観評価実験の結果に基づき、評価関数を求める。更に、6. では得られた評価関数に基づくフレーム挿入法の詳細について論じる。7. では提案手法の有効性を主観評価実験によって検証し、8. で本論文のまとめを行う。

2. 文献 [9] の手法の概要

Ishtiaq らは文献 [9] において、拡張レイヤのフレーム挿入位置を適応的に選択することで、与えられたビットレート制限下で極力高い品質を提供するスケラブル符号化法を提案した。この手法では基本レイヤのフレーム間の動き、フレーム間隔、及びビットレート制約の三つの基準に基づき、拡張レイヤにおけるフレーム挿入位置を決定している。

2.1 評価関数

拡張レイヤにおけるフレーム挿入の必要性 (文献 [9] では確率 (probability) という用語が用いられている) F を評価する評価関数として、文献 [9] では以下に示す関数

$$F = \alpha(F_B - T_B) + \beta F_M + \gamma F_S \quad (1)$$

を用いている。ここで、 $F_B - T_B$ はビットレートの制約を表す因子、 F_M は動画像の動きの大きさによって与えられるフレーム挿入確率、 F_S はフレーム間隔によって与えられるフレーム挿入確率を表す。 α , β , γ はそれぞれのフレーム挿入確率が最終的なフレーム挿入の必要性 F に与える重みである。

F_M は、基本レイヤのフレーム間での動きベクトル (Motion Vector, 以下 MV と略記) の平均値を動画像中の動きの特徴量 m として、図 2 に示すような飽和特性をもった区分線形関数によって計算される。同

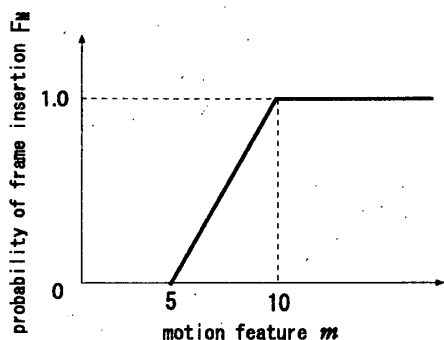
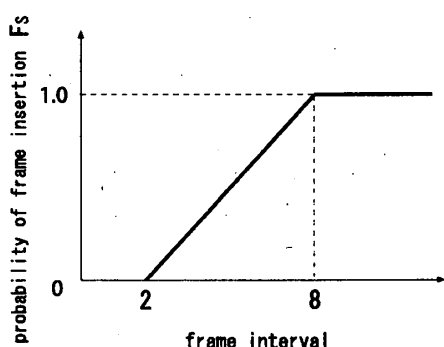
図 2 動きの特徴量 m とフレーム挿入確率の関係Fig. 2 Motion feature m and a probability of frame insertion.

図 3 フレーム間隔とフレーム挿入確率の関係

Fig. 3 Frame interval and a probability of frame insertion.

様に、 F_S は基本レイヤのフレーム間隔から、図 3 に示す関数によって評価値を計算する。基本レイヤの各フレーム間において計算した F に対して、任意のしきい値 F_{th} を設定し、この値を上回るフレーム間に拡張レイヤのフレームを挿入することで、拡張レイヤにおける動きの滑らかさを制御することができる。

2.2 問題点

前節で概要を述べた手法には、

- (1) 図 2 及び図 3 の関数形を用いる根拠が示されていない。
 - (2) MV の平均値がそのフレームの動きの特徴を表しているとは限らない
 - (3) MV の平均値が大きいフレーム間にフレームを挿入しても必ずしも画質向上につながるとは限らない
 - (4) フレームの挿入方法によっては動きの滑らかさを失い、違和感を与える可能性がある
- という四つの問題がある。特に (1) に関して、このような関係は本来、主観評価値に基づいて推定されるべきである。

一方、文献 [11] 及び文献 [12] では、動きの大きさに

対して、その動きが自然に見える FR の限界値を主観評価実験により求めているが、動きの特徴量と FR の両方をパラメータとした評価ではないため、この結果を適応的なフレーム間隔制御のための評価関数として応用することはできない。実際、適応的フレーム間隔制御への応用を目的として、図 2 に示すような特性を主観評価実験に基づいて求めた結果はこれまでのところ報告されていない。

3. 提案手法の概要

本論文は、基本レイヤの各フレームに対する“フレーム挿入の必要性 (評価値)”に基づき、フレームを適応的に挿入することで主観品質の高い不等フレーム間隔の拡張レイヤを生成することを目的とする。なお、本論文では、主観品質に影響を与える要素を明確にするため、符号化による空間方向の品質 (SNR) の低下については考慮せず、高い時間方向の品質を与えるフレーム列の構成法に議論を集中する。

提案手法では CIF 程度のサイズを有し、8 bit 量子化、FR = 30 [fps] 一定の原動画を処理対象とし、これを等間隔に間引いた基本レイヤのフレーム列に対してフレーム挿入を行う手法を検討する。得られる不等間隔のフレーム列は、30 fps の FR へアップサンプリングして再生・表示を行う。すなわち、30 fps の原動画と比較して間引かれているフレームには直前に存在するフレーム (以降では“実フレーム”と呼び○で表す) を繰り返し表示し (これを“コピーフレーム”と呼び×で表す)、30 fps の FR で表示を行う。

不等間隔のフレーム列においては、FR は時間的に変動するため、本論文では、ある単一フレームに対する瞬時的あるいは局所的な FR を局所 FR と呼ぶ。これは、図 4 に示すように、実フレーム○の直前に存在するコピーフレーム×の数によって定義される。以下では、図 4 に示すような実及びコピーフレームの並びをフレームパターンと呼ぶ。例えば、実フレームの直前に 3 枚のコピーフレームが存在する場合には、当該実フレームの局所 FR は 7.5 fps となる。

本論文では、図 4 に示す 7 種類を選択可能な局所 FR と定義し、動画をこれらのフレームパターンの組合せとして表現する。ここで、パターンが変則的となる 20 fps の局所 FR を含めているのは、10 fps の基本レイヤに対してフレーム挿入の自由度を大きくするためである (20 fps を含めない場合には拡張レイヤの局所 FR は 30 fps のみに限定されるが、20 fps を含め

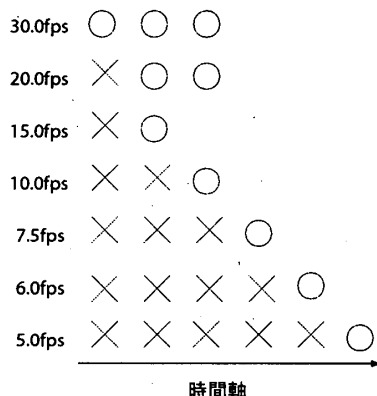


図4 本研究で用いる局所 FR とそのフレームパターン

Fig. 4 Instantaneous FR and the corresponding frame pattern.

ることで 30 fps と 20 fps が選択可能となる)。

以上の定義より、本論文の目的は、拡張レイヤの局所 FR を動きの activity に応じて適応的に変化させ高い主観品質を呈するフレームパターンを構成すること、と言い換えることができる。なお、基本レイヤの FR は一定であるものとし、選択可能な FR としては 5, 7.5, 10 及び 15 fps の 4 種類を用いた。また、後述する動きの特徴量 m を抽出する際の動き推定は、推定精度の向上と計算量の低減を図るため、参照フレームを常に実フレームにとって実フレーム間で行うのではなく、対象フレームに対して 30 fps の原画像における直前のフレームを参照フレームとして実行する。

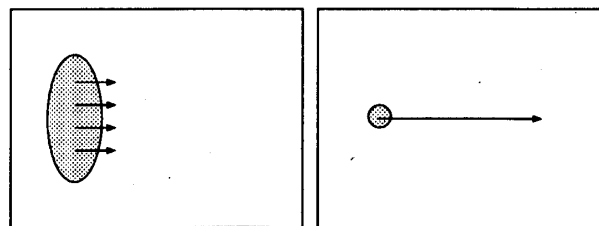
4. 動きを表す特徴量の抽出

4.1 ブロックマッチング法

MPEG 等の動画符号化法では、動き補償のための MV の推定法として一般にブロックマッチング (BM 法) が用いられている [13]。BM 法は、対象画像全体を 16×16 [pixel] のマクロブロック (MB) に分割し、各 MB に対するマッチング誤差を最小とするベクトルを当該 MB の MV として推定する。ただし、BM 法によって得られる MV は、動画中の各 MB の動きをある程度反映しているものの、MB 内の輝度パターン等によっては動画の本来の動きに対応しない場合も多い。そのため、動きの特徴量 m として BM 法によって得られた MV の統計量を用いる際には、実際の動きを反映していない誤った MV を破棄する等の処理が不可欠となる。

4.2 MV からの特徴量の算出に関する問題点

動画中の動きの activity に応じてフレームを操作



(a) 大面積, 低速

(b) 小面積, 高速

図5 動きの特徴が MV の平均値に反映されない例
Fig. 5 Example of motion pictures for which the average value of MVs does not reflect motion feature.

する場合、各フレームのもつ動きの情報、すなわち動きの特徴を定量化する必要がある。前述のように、文献 [9] では動きの特徴量 m としてフレーム内の MV の平均値を用いている。しかしながら、この手法では m が移動物体の面積に強い影響を受けるという問題点がある。今、図 5 (a), (b) に示すように、静止した背景上で

(a) 面積の大きい物体が低速で移動する

(b) 面積の小さい物体が高速で移動する

という 2 種類の動画を考える。両者の動きの特徴は大きく異なっているが、動きの特徴量 m として MV の大きさのフレーム内平均を用いると、速度の差が面積によって相殺されるため、図 5 (a), (b) に対する m の差は小さくなり、動画の本来の動きの特徴が動きの特徴量 m に反映されないことが分かる。

以上の議論により、特徴量 m としては MV の大きさのフレーム内最大値が妥当であると考えられる。しかしながら、最大値を用いる場合には、

- 輝度変化の少ない平坦な MB 等において MV が大きな誤差を含む可能性があり、最大値はその誤差の影響を受けやすい

- 生起数が非常に少ない誤った MV であっても最大値として選ばれる可能性があるという問題を解決する必要がある。

4.3 MV のフィルタリングと特徴量 m の抽出

4.3.1 信頼度を用いた MV のフィルタリング

BM 法によって MV 推定を行う場合、例えば、

- 輝度変化がほとんどなく、特徴的なパターンがほとんど存在しない MB

- 単一方向の直線エッジのみが存在する MB においては、大きな推定誤差を伴う可能性が高い。そこで文献 [14] で提案されている信頼度関数

$$R(\theta) \equiv \left(\sin^2 \theta \iint f_x^2 dx dy + \cos^2 \theta \iint f_y^2 dx dy - 2 \sin \theta \cos \theta \iint f_x f_y dx dy \right) / \left(\iint f_x^2 dx dy \iint f_y^2 dx dy - \left(\iint f_x f_y dx dy \right)^2 \right) \quad (2)$$

を用いることによって、信頼度が低く、誤差の大きい可能性があるものと判定されるMVを除外する。式(2)は θ 方向の二乗推定誤差の集合平均を表しており、 f_x , f_y はMB内の画素値 $f(x, y)$ の偏微分、積分は実際にはMB内の総和として計算する。各MBについて $R(\theta)$ の θ についての最大値がしきい値 T_r を超える場合には、大きな誤差を含む可能性のあるMVとして除外する。

4.3.2 マッチング誤差によるフィルタリング

BM法によって求められたMVの中で、マッチング誤差の大きなものはオクルージョンや変形等の要因によって本来の動きを反映していないことが多い。そこで、MB内の1画素当りの平均マッチング誤差がしきい値 T_e を超える場合には、そのMVを除外する。

4.3.3 投票によるフィルタリング

信頼度関数やマッチング誤差によるフィルタリングを行ったとしても、なお誤ったMVが残留する可能性がある。このようなMVの特徴として、

- フレーム内で発生する数が少ない
- MVの大きさ、方向に統一性がない

ことが挙げられる。そこで、フレーム内のMVに対し投票処理としきい値処理を施すことで、生起数が少なく推定誤差が大きいと判定されるMVを除外する。

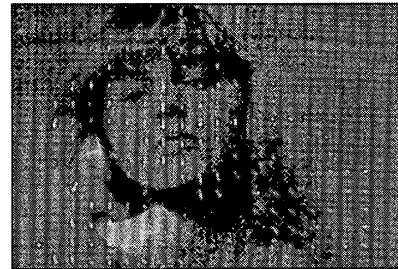
今、MVの x 成分、 y 成分をそれぞれ v_x , v_y とすると、投票は、 $v_x - v_y$ 平面を階級幅1 [pixel/frame]でグリッド状に分割した階級に対して行う。ただし、画像中で同じ動物体に属するMVであっても、MVの成分が完全に一致するわけではなく、大きさ、方向ともわずかな誤差を含む場合が多い。また、このような誤差は、MVの大きさに応じて大きくなると考えられる。そこで、MVの大きさに応じて近傍領域に対しても投票を行う。表1にMVの大きさに対する投票範囲を示す。例えば、推定したMVの大きさが4~15の範囲にある場合には、当該MVの成分に対応する階

表1 MVの大きさに対する投票範囲
Table 1 Voting region corresponding to the magnitude of MV.

MVの大きさ(画素)	0~3	4~15	16~65	66~
投票範囲	± 0	± 1	± 2	± 3



(a) 試験画像1 ($m=33.5$)



(b) 試験画像2 ($m=4$)

図6 フィルタリング後のMV場と特徴量 m の例
Fig. 6 Example of filtered MV fields and corresponding values of m .

級及びその近傍 ± 1 以内の階級、併せて9の階級すべてに対して投票を行う。更に、しきい値 T_v を導入し、投票結果が $T_v \times$ (フレーム中の全MB数)に満たない場合には、そのMVを除外する。

4.3.4 特徴量 m の抽出

以上のフィルタリングによって残されたフレーム内の全MVに対し、その大きさの最大値を求め、当該フレームに対する動きの特徴量 m とする。

4.4 フィルタリングの適用例と特徴量 m

図6(a), (b)は、3.3で述べた3種類のフィルタリングをすべて適用した結果のMV場と対応する m の値を示している。本論文ではしきい値 T_r , T_e , T_v として、それぞれ $T_r = 0.00035$, $T_e = 20$, $T_v = 0.02$ を用いている。なお、 T_r , T_e は文献[14]を参考とし、 T_v を含めいずれも実験的に求めた値である。本手法によって推定誤差の大きいMVが効果的に除外されるため、フレーム内の最大値をもって動きの特徴量 m とすることができる。

5. 主観評価実験による評価関数 f の決定

本研究の目的である適応的フレーム制御を行うためには、基本レイヤの各フレームに対してフレーム挿入の必要性を求める必要がある。そこで本章では、特徴量 m とフレーム挿入の必要性との関係を与える評価関数 f を求める手法について述べる。ここで、 m はフレーム内の MV の最大値であることから、直感的には m が大きいほどフレーム挿入の必要性が高くなると考えられるが、実際には後述するとおりこれは誤りである。文献 [9] では、図 2 に示すような m に対する飽和特性を用いてフレーム挿入を行っているが、その根拠については明らかにされていない。そこで以下では、人工動画像を用いた主観評価実験によって各 FR ごとに m とフレーム挿入の必要性との関係を決定する。また、用いた人工動画像のパラメータ（コントラストと動物体の面積）の変化に対する影響も検証する。

5.1 主観評価実験の概要

評価関数 f を決定するために、一対比較法による主観評価実験を実施した。この手法は、比較対象となる複数の刺激から一対を選び、被験者に呈示して判断を求めるもので、結果は序数尺度の形で得られる。したがって、この序数尺度を間隔尺度へと変換するためには、Thurstone の比較判断の法則 [15] 等を用いる必要がある。この法則の概要を付録に示す。

本研究では以下の手順に従う実験を行った。まず、図 7 に示すような、様々な FR 及び動きの特徴量 m をもった刺激（静止背景中に前景物体が等速直線運動する人工動画像）を作成する。次に、これらの動画像の中から相異なる 2 種類を選択して被験者に同時に呈示し、「動きの滑らかさが欠けている」と感じる方を選択させ、その結果から各比較対象対での選択確率を算出する。次に、Thurstone の比較判断の法則をケース V の仮定のもとで適用して、これを間隔尺度へと変換する。また、呈示する人工動画像では、動物体の速度

を 30 fps におけるフレーム間の移動画素数 (pixel par frame, 以下 ppf と略記) で表す。したがって、5 fps で $m = 6$ [ppf] の場合には、実フレーム間で動物体は 36 [pixel] だけ移動する。主観評価実験の条件を表 2 に示す。

5.2 評価関数 f の導出

5.2.1 主観評価実験と Thurstone の法則の適用

特徴量 m に対する評価関数 f は各フレームの局所 FR に依存するため、FR ごとに求める必要がある。そこで、主観評価実験では FR として 5, 6, 7.5, 10, 15 fps, 速度 $m = 1, 2, 6, 9, 16$ [ppf] (この場合は等速運動であるため移動速度と特徴量 m とは等しい) を選び、これらを組み合わせた 25 種類の動画像から FR が等しく速度 m が相異なる 2 種類の動画像を選んでディスプレイ内の左右に呈示するとともに、被験者に判断を求めた。例として、FR = 5 [fps] に対する実験結果を表 3 に示す。ここで、選択確率 p は、速度 m_i, m_j の動画像を比較したときに、 m_i の方が「動きの滑らかさが欠けている」と判断された確率を表している。一方の尺度 s は、選択確率を Thurstone の比較判断の法則に基づいて間隔尺度に変換した結果である。尺度 s は、大きいほど動きの滑らかさに欠け、フレーム挿入の必要性が高いと判断されることを示している。

すべての FR に対する m と s を表 4 に示し、図 8

表 2 主観評価実験の条件

Table 2 Conditions for the subjective assessment test.

評価方法	一対比較法
評定者数	13 名 (20 代~40 代の男女)
視距離	6 H (H:画像高)
照明	蛍光灯

表 3 主観評価実験によって得られた 5 fps における選択確率 p と尺度 s

Table 3 Selection probability p and the scale s for FR = 5 [fps] in the subjective assessment test.

		選択確率 p				
$m_j \setminus m_i$		1 ppf	2 ppf	6 ppf	9 ppf	16 ppf
1 ppf		0.5	0.846	0.692	0.385	0.462
2 ppf		0.154	0.5	0.692	0.538	0.385
6 ppf		0.308	0.308	0.5	0.308	0.154
9 ppf		0.616	0.462	0.692	0.5	0.231
16 ppf		0.538	0.615	0.846	0.769	0.5

尺度 s

m	1 ppf	2 ppf	6 ppf	9 ppf	16 ppf
尺度 s	-0.227	0.143	0.505	0.007	-0.429

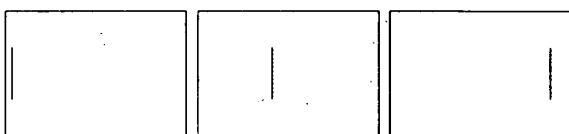


図 7 評価用人工動画像 (添付データ 1 として付録 CD-ROM に収録)

Fig. 7 Artificial test sequence for the evaluation (stored in the accompanied CD-ROM as DATA1).

表 4 FR ごとの特徴量 m と尺度 s , 及び s の各 FR についての平均値

Table 4 Motion feature m and the scale s for each FR, and the average of s over FRs.

$m \setminus \text{FR}$	5 fps	6 fps	7.5 fps	10 fps	15 fps	平均値
1 ppf	-0.227	-0.365	-0.629	-0.690	0	-0.382
2 ppf	0.143	-0.031	-0.083	0.104	0.607	0.148
6 ppf	0.505	0.206	0.308	0.609	1.137	0.553
9 ppf	0.007	0.279	0.371	0.159	1.225	0.408
16 ppf	-0.429	-0.089	0.033	-0.182	0.714	0.010

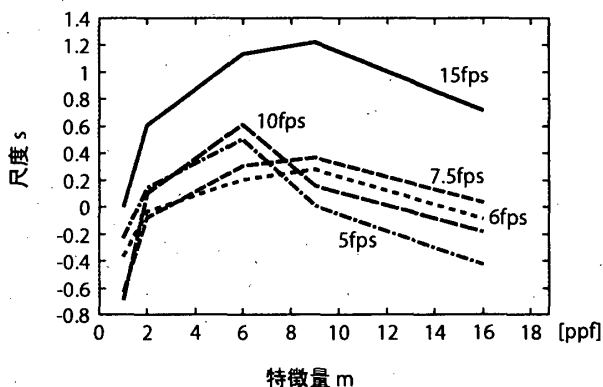


図 8 各 FR ごとの特徴量 m と尺度 s の関係

Fig. 8 Relationship between the motion feature m and the scale s for each FR.

に図示する。このとき、各 FR に対する s の値はそれぞれ独立に計算された値であり、各曲線の相対位置は意味をもたない。

次に、評価関数 f を簡潔な数式で表現するために、各 FR ごとの特徴量 m に対する s の値を曲線で近似する。ここでは、図 8 における各曲線を近似する曲線として、

$$f(m) = a - b \cdot \left(\log \frac{m}{c} \right)^2 \quad (3)$$

を用いる。式 (3) において、パラメータ a, b, c はそれぞれ曲線のピーク値、曲線の傾き、曲線のピークに対応する m の値を表している。図 8 より、すべての FR において m の変化に対する尺度 s の挙動がほぼ共通していることから、まず表 4 における s の平均値を用いて式 (3) について最小二乗法によるフィッティングを行った。その結果、 $b = 0.360, c = 5.006$ が得られ、この値を各 FR に対して共通して使用する。

5.2.2 パラメータ a の決定法

式 (3) におけるパラメータ a は各 FR に対応する曲線の垂直位置を定める値である。そのため、 a を決定するためには、 m を一定として FR のみを変化させた画像に対し、一対比較法を用いて主観評価実験を行うことが妥当である。しかしながら、実際に主観評価実

表 5 パラメータ a の算出結果

Table 5 Estimated value of a .

FR [fps]	5	6	7.5	10	15
パラメータ a の値	1.32	0.68	0	-0.78	-1.35

験により選択確率を算出した結果、FR が低い方の動画像に対して、明らかに、すなわち確率 1 で滑らかさの欠如を感じるという結果となり、Thurstone の法則を適用することは不可能であった [15]。

そこで、前節における処理によってパラメータ b, c の値は既に決定しており、各 FR の曲線の形状は定まっていることを利用して、次の手順によって各 FR の a の値を求める。

手順 1: FR = 7.5 [fps] の曲線のパラメータ a の値を仮に 0 とする

手順 2: 7.5 fps の曲線上のいくつかの速度 m_n をもつ動画像と、隣り合う曲線 10 fps 若しくは 6 fps のある速度 m の動画像を主観評価実験により比較し、各動画像の選択確率を求める

手順 3: 10 fps の曲線のパラメータ a が、0 未満であることは前述の実験から明らかであるため、仮のパラメータ $a' (< 0)$ を与える。 a', b 及び c によって定まる 10 fps の曲線に対する速度 m の評価値、及び 7.5 fps の曲線に対する速度 m_n の評価値の差 (尺度 s の差に対応) をそれぞれ算出する

手順 4: 手順 3 で算出した評価値の差に対し、Thurstone の法則に従って選択確率を求める。すなわち、選択確率から評価値の差を計算する Thurstone の法則を逆に利用し、評価値の差から予想される選択確率を求める

手順 5: 手順 4 及び手順 2 で算出した選択確率の差が最小になるパラメータ a' を求め、これを 10 fps の曲線のパラメータ a とする。6 fps についても同様の処理を行う

手順 6: 以上の手順を隣り合う FR に対して順に適用し、7.5 fps → 10 fps → 15 fps 及び 7.5 fps → 6 fps → 5 fps の順にパラメータ a の算出を行う。

これにより求められたパラメータ a の値を表 5 に示す。また、式 (3) と表 5 の a 及び $b = 0.360, c = 5.006$ により決定する評価関数 f を図 9 に示す。

次に、得られた評価関数 f (図 9) を正規化する。そのために、まず FR = 15 [fps] においてフレーム挿入の必要性がなくなる速度 m についての考察を行う。FR = 30 [fps] の動画像で、動物体の移動速度

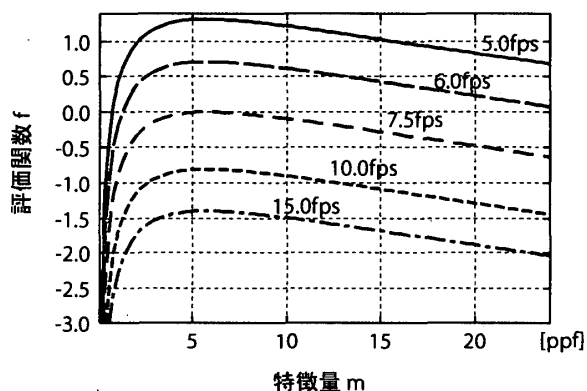


図 9 評価関数 f
Fig. 9 Evaluating function f .

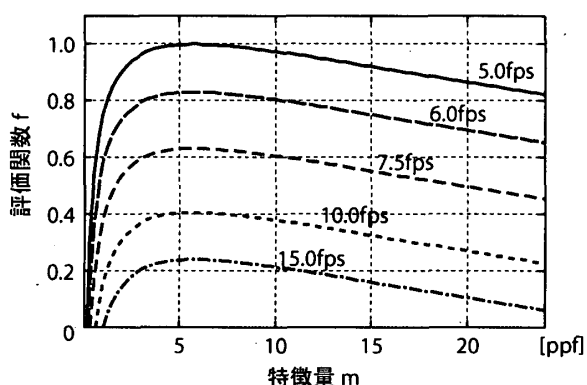


図 10 正規化後の評価関数 f
Fig. 10 Evaluating function f after the normalization.

$m = 0.5$ [ppf] 未満の場合には、2 フレームを表示する間に動物体は 1 画素未満しか移動しない。この動画を $FR = 15$ [fps] に間引くと、実フレームの間での動きは 1 画素未満となり、この場合にはフレーム挿入は必要ないと考えられる。また、 $FR = 15$ [fps] で、これを上回る移動速度に対しては、各実フレームが動きをもつ可能性があるため、フレーム挿入の必要性が生じる。以上の考察より、本研究では評価関数に対し、速度 $m = 1$ [ppf] で $FR = 15$ [fps] のときに評価値 0 を、逆に最大値を与える 5 fps におけるピークで評価値 1 をとるように正規化を行う。正規化後の評価関数は、

$$f(m) = \frac{a - b \cdot (\log \frac{m}{c})^2 + 2.26}{3.58} \quad (4)$$

(a は表 5, $b = 0.360$, $c = 5.006$)

で与えられる。図 10 は、正規化後の各 FR に対する式 (4) の曲線を示す。

5.3 主観評価実験に用いた人工動画のパラメータ依存性—評価関数の画像依存性の検証

以上によって得られた評価関数 f は単一の絵柄の動

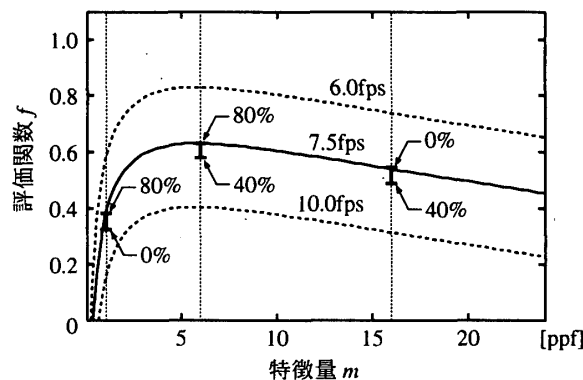


図 11 コントラストが評価関数 f に及ぼす影響
Fig. 11 Effect of the contrast on the evaluating function f .

画像 (図 7) に対して推定されたものであるため、この評価関数が様々な動画像に対してある程度の普遍性をもつことを検証する必要がある。本節では、動画像の前景物体と背景物体の間の輝度コントラスト、及び前景物体の面積を変化させた人工動画像について主観評価実験を行い、これらの要素が評価関数 f に対して与える影響を検証する。

5.3.1 コントラストによる影響

YCrCb 色空間における背景の輝度、前景物体の輝度をそれぞれ Y_b , Y_f としたとき、コントラスト C を

$$C = \frac{Y_b - Y_f}{Y_b + Y_f} \times 100 [\%] \quad (5)$$

で定義する。式 (5) より、3.1 で実験に用いた評価用動画像のコントラストは 80% となる。そこで、 Y_f を固定し、 Y_b を変化させることでコントラスト 0%, 40% の動画像を新たに作成し、これを用いて主観評価実験を行った。

ここでは $FR = 7.5$ [fps] を代表例として選び、速度 1, 6, 16 ppf のそれぞれについて、コントラスト 0%, 40%, 80% の動画像を一対比較法により比較した。結果として得られたコントラストの尺度を正規化し、図 11 に示す。

図 11 より、コントラストが変動しても 7.5 fps における評価関数 f の変動範囲は十分に小さいため、コントラストは評価関数 f にほとんど影響を及ぼさないことが確認できる。

5.3.2 前景物体の面積による影響

$FR = 7.5$ [fps], 速度 1, 6, 16 ppf のそれぞれについて、前景物体の面積が異なる動画像を一対比較法により比較した。図 7 に示す人工動画像の前景物体は 2×100 [pixel] の長方形で、その面積は 200 [pixel²] で

ある。これを面積“小”とし、ここでは前景物体の面積を“中”(13700 [pixel²]), “大”(84480 [pixel²])とした評価用動画を作成した(図12)。ここで図12(c)の背景にテクスチャが貼り付けられているのは、大物体が高速で移動する際のエイリアスの発生を抑えるためである。

前項と同様の処理によって得られた尺度を正規化した結果を図13に示す。

図13は面積による影響がコントラストによる影響と比較して大きいことを表しているが、面積の違いによって大きな差が生じるのは7.5fpsの曲線より評価値の低い領域である。これは、面積が変化すると同じ速度でも評価値が低く現れる傾向があることを示しており、図10に示す評価関数 f によって挿入処理を行ったとしても、本来必要となるフレーム数を超えるフレームが挿入されるため、動画の動きの滑らかさを損なうことはない。したがって、ここでは前景物体の面積も評価関数 f に大きな影響を与えないものと考えられる。

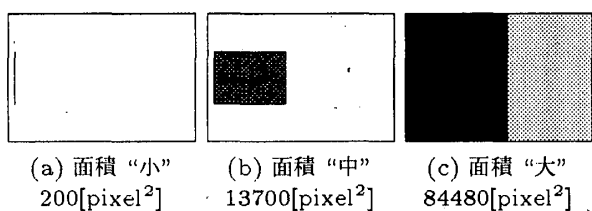


図12 前景物体の面積の影響を調べるための評価用動画(添付データ1として付録CD-ROMに収録)

Fig. 12 Test sequences for investigating the effect of the foreground area (stored in the accompanied CD-ROM as DATA1).

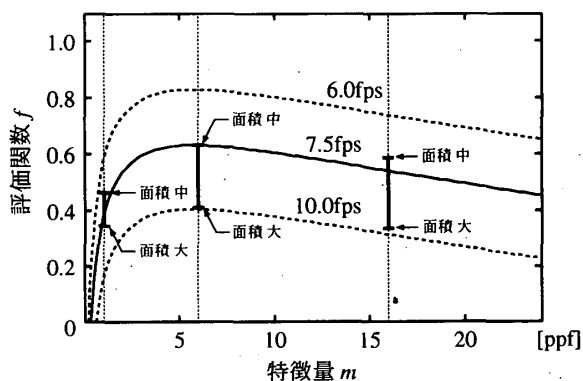


図13 前景動物体の面積が評価関数 f に及ぼす影響

Fig. 13 Effect of the foreground area on the evaluating function f .

6. 提案手法によるフレーム挿入法

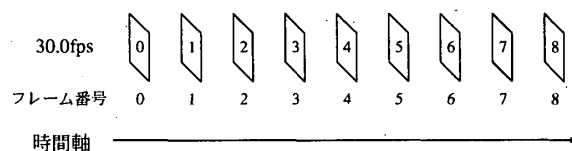
6.1 動きの統計量に基づくフレーム挿入

提案するフレーム挿入法は、

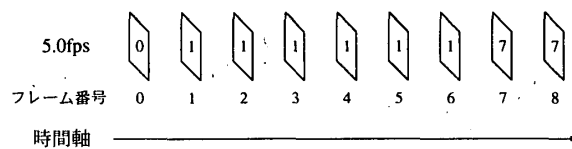
(1) 対象となる全フレームに対し、その局所FRと特徴量 m から評価関数 f の値を計算する

(2) 評価値がしきい値 f_{th} を超えているフレーム間にフレーム挿入を行う

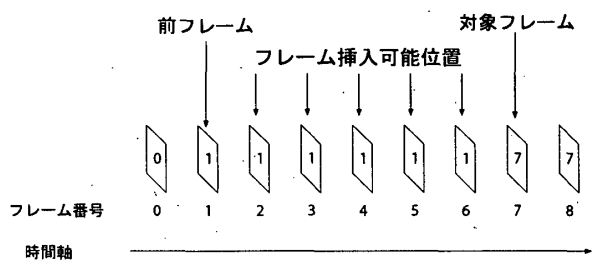
ことを基本とする。このフレーム挿入によりフレーム間隔が変化するため、それに連動して評価値を再計算する必要が生じる。更新した評価値がしきい値を超えている場合には、再びフレーム挿入を行う。これをすべてのフレーム間隔での評価値がしきい値 f_{th} を下回るまで繰り返す。ここで、30fpsにおけるフレームの通し番号と実際に表示されるフレーム番号を図14のように表すと、例えば5fpsにおいて表示されるフ



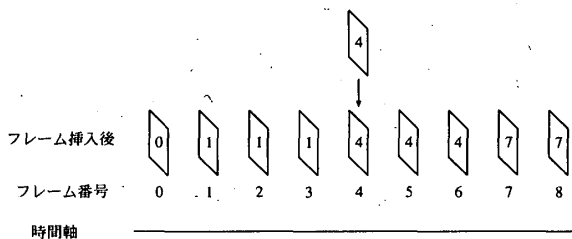
(a) 30fpsのフレームパターン



(b) 5fpsのフレームパターン



(c) フレーム挿入可能な位置



(d) フレーム番号4のフレームを挿入した後のフレームパターン

図14 様々なフレームパターンとフレーム挿入の様子

Fig. 14 Various frame patterns and the frame insertion process.

フレーム番号は図 14(b) のように表せる。

今、図 14(b) のフレーム番号 7 のフレームがしきい値 f_{th} を超える評価値をもっていると仮定すると、図 14(c) に示すようにフレームを挿入する位置にはいくつもの選択肢が存在する。ここで、フレームの挿入位置に関しては、

- フレーム挿入によって評価値を可能な限り大きく低減できること
- フレーム挿入によって動きに違和感を与えないこと

という 2 点に注意しなければならない。フレーム間隔が一定の動画像では後者のような違和感が発生しないことに着目すると、評価値がしきい値 f_{th} を上回るフレーム (対象フレームと呼ぶ) とその直前の実フレーム (前フレームと呼ぶ) の中心付近に新たなフレームを挿入することが妥当であると考えられる。したがって、フレーム挿入位置は

$$\begin{aligned} & \text{(フレーム挿入位置)} \\ & = \left\lfloor \frac{(\text{対象フレーム番号}) + (\text{前フレーム番号})}{2} \right\rfloor \end{aligned} \quad (6)$$

によって決定する。ここで $\lceil x \rceil$ は x 以上の最小の整数を返す。図 14(c) に対してフレーム挿入を行う場合、式 (6) よりフレームの挿入位置はフレーム番号 4 となる。フレームを挿入した後のフレームパターンを図 14(d) に示す。

6.2 ポスト処理

以上のフレーム挿入処理を行った場合、フレーム間隔 (あるいは局所 FR) が時間的に様々に変化する動画像が得られる。これにより柔軟な平均 FR をもつ動画像が作成可能となるが、フレームが不等間隔となることにより、

問題 1: 特徴量 m が連続的に変化する点で局所 FR が変化すると違和感が生じる

問題 2: 局所 FR が短時間に複数回変動すると違和感が生じる

問題 3: 隣り合う局所 FR の差が大きい場合、違和感が生じる

という問題が発生する (後に実例を示す)。以下では、これを解決するためのポスト処理について述べる。

6.2.1 問題 1: 特徴量 m の変化に伴う問題

本研究で用いる特徴量 m は MV の最大値であるため、 m の変化は動物体の速度変化を意味する。例え

ば、動物体がある一定以上の加速度をもって運動しているシーンにおいて局所 FR が変化するような状況では、その変化点で動きの滑らかさが失われ、違和感が生じる。この問題を解決するために、ポスト処理として、前フレームと対象フレームとの間で m の変化量がしきい値 th_1 を超える場合には、 m の変化量がしきい値を下回る位置までフレームを挿入する。ここでは、しきい値 $th_1 = 4 \text{ ppf}$ を用いる。

6.2.2 問題 2: 短時間にフレーム間隔が複数回変動することによる問題

図 15 に示すように局所 FR が短時間のうちに複数回変動すると、変化点で動きの滑らかさが失われ、違和感が生じる。この問題に対処するため、ポスト処理として、局所 FR が高 \rightarrow 低 \rightarrow 高と変化する場合で、かつ低 FR が連続して現れる回数がしきい値 th_2 以下である場合には、フレームの挿入を行って当該低 FR を高 FR へ上げる。例えば、図 15 の例の場合、7.5 fps のフレーム番号 6 の位置にフレームを挿入し局所 FR を 15 fps へ上げる。しきい値 th_2 は 3 と設定した。

6.2.3 問題 3: 急激な FR の変化による問題

局所 FR がステップ的に急激に変化すると、変化点で動きの滑らかさが失われ違和感が生じる。特に、図 4 に示す 7 種類のパターンのうち、局所 FR が 7.5 fps から 10 fps のように 1 段階だけ変化する場合には違和感ほとんど感じられないが、15 fps へと 2 段階変化する場合には違和感が顕著となる。そこで、局所 FR が 2 段階以上ステップ的に変化する場合には、以下の処理によって局所 FR が階段状に変化するようによりフレームパターンを変更する。なお、以下では、局所 FR = 20 [fps] を含むフレームパターンについては、その不規則性から例外処理が必要となるため、20 fps を含む場合と含まない場合で異なる処理を行う。

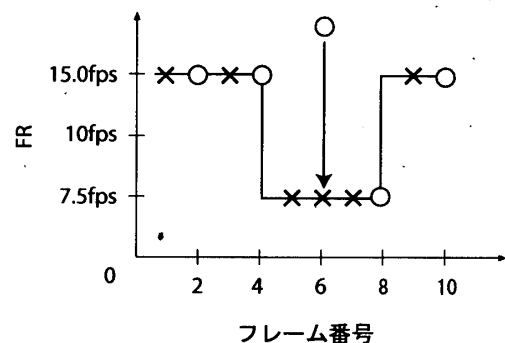


図 15 問題 2 の例

Fig. 15 Example of the problem 2.

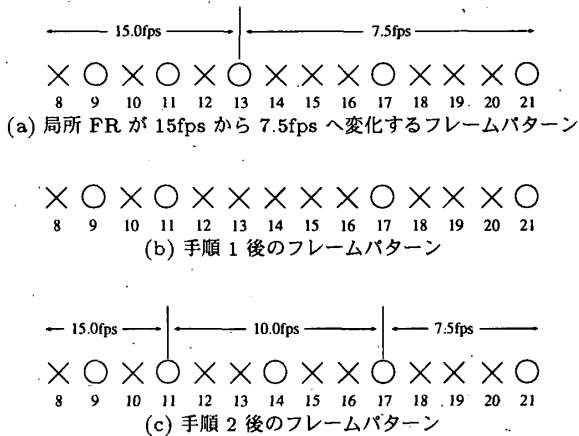


図 16 局所 FR の変化を階段状に変更するアルゴリズム (20 fps を含まない場合)

Fig. 16 Algorithm for converting the variation of the instantaneous FR into stair-like one (without 20 fps pattern).

まず、20 fps を含まない場合の処理について、局所 FR が 15-fps から 7.5 fps に急激に変化する状況を取り、図 16 を用いて説明する。ここで、図 16(a) は図 4 と同様に実フレームとコピーフレームを \circ \times で表した図である。

手順 1: FR の境界に位置するフレーム (13) を検出し、そのフレームを直前のフレーム (12) のコピーに置き換える (図 16(b)).

手順 2: FR の境界の次のフレーム位置 (14) にフレームを挿入する (図 16(c)).

ただし、図 16 の例とは逆に局所 FR が上がる場合には、手順 2 で境界に位置するフレームの直前の位置にフレームを挿入する。

一方、20 fps を含む場合については、以下の処理を行う。ここでは、図 17 に示す 10 fps と 20 fps の組合せを例に説明を行う。

手順 1: FR の境界に位置するフレーム (9) を検出し、その直前の実フレーム (6) の更に一つ前のフレーム位置 (5) にフレームを挿入する (図 17(b)).

手順 2: FR の境界に位置するフレーム (9) の直前の実フレーム (6) に手順 1 で挿入したフレーム (5) をコピーする (図 17(c)).

手順 3: 手順 1 で挿入したフレーム (5) を前フレーム、FR の境界に位置するフレーム (9) を対象フレームとして、式 (6) によって定まるフレーム位置 (7) にフレームを挿入する (図 17(d)).

30 fps を含むフレームパターンに対しては、コピーフレーム \times が存在しないため、以上の処理を行うことは

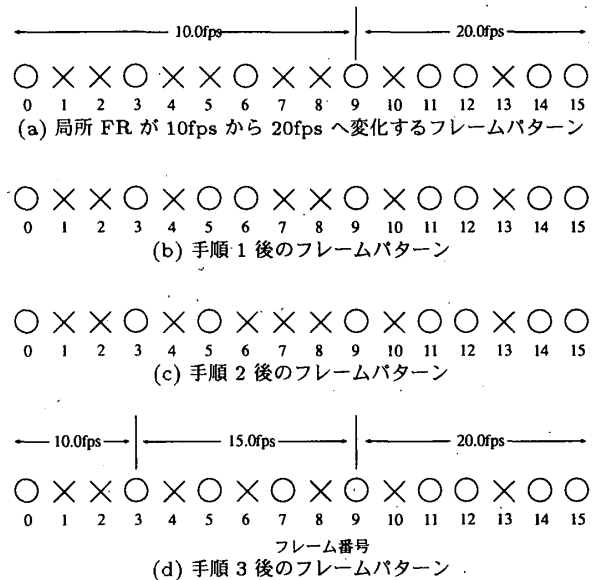


図 17 局所 FR の変化を階段状に変更するアルゴリズム (20 fps を含む場合)

Fig. 17 Algorithm for converting the variation of the instantaneous FR into stair-like one (with 20 fps pattern).

できない。そこで、局所 FR に 30 fps が生じた場合には、当該シーン全体に対して 30 fps までフレーム挿入を行う。ここで、シーンとは動きの特徴量 m がほぼ一定であるフレーム列を指し、シーン境界の検出は特徴量 m の変化を利用することによって実行できる。

6.3 実動画像への適用—適用例とポスト処理の効果の確認

提案手法によるフレーム挿入結果、及びポスト処理の効果を確認するために提案手法を実動画像に適用する。評価動画像に対してしきい値 $f_{th} = 0.35$ によるフレーム挿入を行った後、5.2 で述べた 3 種類のポスト処理を順に適用した動画像を作成し、ポスト処理の効果を確認する (ここで使用する原動画像は本来 25 fps で再生されるものであるが、ここでは 30 fps の原動画像とみなして使用している)。本節で作成した動画像は MPEG 圧縮フォーマットで添付データ 2 として付録 CD-ROM に収録されている。

添付データ 2 の PP_3.XXX.MPG はポスト処理を全く行わない場合の動画像で、平均 FR は 11.75 fps である。動画像の全体にわたって局所 FR の変化に伴う違和感が生じている。これに対し、PP_3.OXX.MPG, PP_3.OOX.MPG はそれぞれ、5.2.1 のみ、5.2.1 と 5.2.2 のポスト処理を施した動画像であり、徐々に違和感が低減されていくことが分かる。すべてのポス

ト処理を適用した動画を PP_3_000.MPG に示す。このときの平均 FR は 14 fps であり、ポスト処理によって平均 FR が上昇するものの、違和感は完全に抑制されている。

更に、しきい値 $f_{th} = 0.4$ として、すべてのポスト処理を含む提案手法により生成した動画を PP_4_000.MPG に示す。この平均 FR は 12.5 fps であり、PP_3_000.MPG と比較してわずかに動きの品質が落ちてはいるものの、局所 FR の変化に伴う違和感は発生していない。また、このときの平均 FR は PP_3_XXX.MPG とほぼ同等であり、両者を比較することで、ポスト処理を施さない場合局所 FR の変化に伴う違和感が品質を著しく損なうことが確認できる。

以上の結果により、ポスト処理による違和感の抑制がしきい値によらず行われること、及びしきい値を変えることで動画の品質を制御可能であることが確認できる。

7. 主観評価実験による提案手法の検証

文献 [9] の従来手法、及び提案手法を自然動画像に適用し、主観評価実験によって提案手法の有効性を確認した。

7.1 提案手法の適用

評価用動画像として、図 18(a)~(e) に示す 5 種類の動画像を用いた。これらの動画像の動きの特徴を表 6 に示す。

これらの動画像を 5 fps 一定 FR にサブサンプリングして基本レイヤを作成し、これに対して従来手法及び提案手法によりフレームの挿入を行うことで拡張レイヤを作成した。従来手法では、文献 [9] に従い、MV の平均値を動きの特徴量 m として、式 (1) と図 2、図 3 に示した評価関数を使用してフレーム挿入を行う。ただし、本論文ではビットレート制限下での最適な制御については議論せず、適応的フレーム間隔制御を行う手法にのみ着目するため、式 (1) においてビットレート制御に関する F_B 、 T_B がフレーム挿入に影響しないように、 $F_B - T_B = 1.0$ に固定する。また、後述する図 18(e) を除き、6.2 のポスト処理は適用しない。重みのパラメータには、文献 [9] で示されている値 ($\alpha = 50$, $\beta = 40$, $\gamma = 10$) を用いた。従来手法及び提案手法のしきい値 F_{th} 、 f_{th} と、フレーム挿入後の最終的な平均 FR を表 7 に示す。なお、 F_{th} 、 f_{th} の値は、比較のために同一の評価用動画像において可能な限り等しい FR を呈するように選んだ。

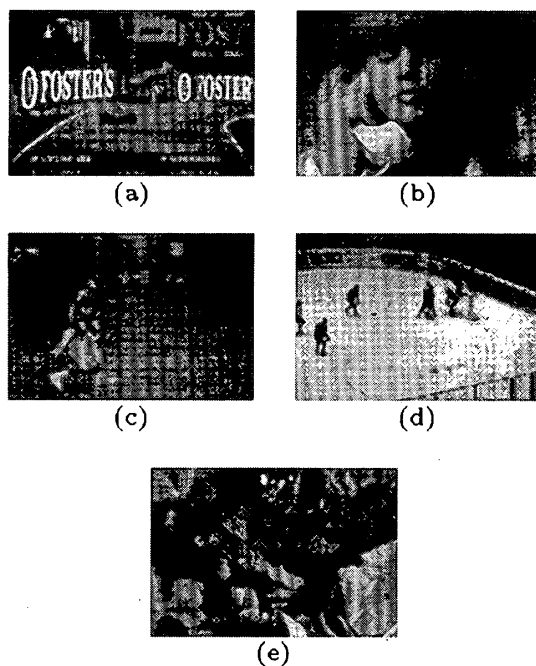


図 18 主観評価に用いる評価用動画像 (添付データ 3 として付録 CD-ROM に収録)

Fig. 18 Test sequences for the subjective assessment test (stored in the accompanied CD-ROM as DATA 3).

表 6 評価用動画像の動きの特徴

Table 6 Motion features of the test sequences.

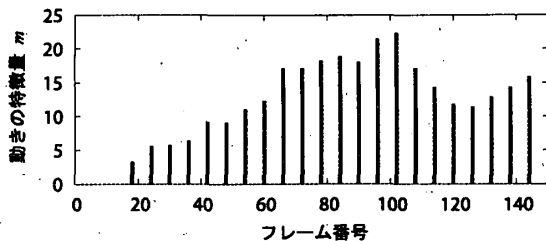
動画像	動きの特徴
図 18 (a)	高速なパニング及びトラッキング
図 18 (b)	前景の人物が動く. カメラは静止
図 18 (c)	激しい動きと高速なパニング
図 18 (d)	小面積の複数物体の動きとパニング
図 18 (e)	カメラワークのみ, 静止とパニング

表 7 各評価用動画像に対する従来手法及び提案手法のしきい値 F_{th} 、 f_{th} 及び平均 FR

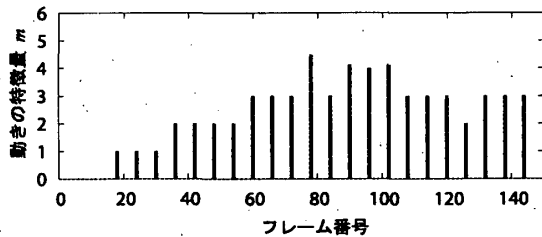
Table 7 Threshold F_{th} , f_{th} and the average FR for each test sequence.

従来手法					
動画像	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
しきい値 F_{th}	90.91	59.95	83.00	90.92	77.55
平均 FR	14.0 fps	6.8 fps	13.2 fps	13.0 fps	12.4 fps
提案手法					
動画像	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
しきい値 f_{th}	0.41	0.95	0.41	0.41	0.40
平均 FR	14.0 fps	6.8 fps	13.2 fps	13.0 fps	12.2 fps

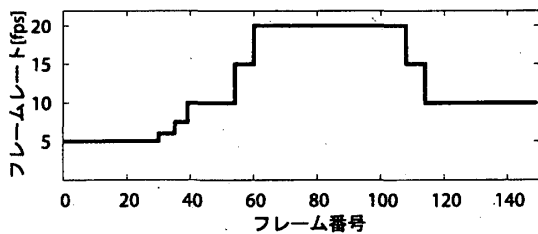
また、従来手法及び提案手法で用いられている評価関数の形状が与える影響を評価するために、図 18(e) を用いて比較を行う。この画像では MV の平均値と最大値がほぼ一致するため、動きの特徴量の選び方による影響は除外される。更に、従来手法に対しても 6.2



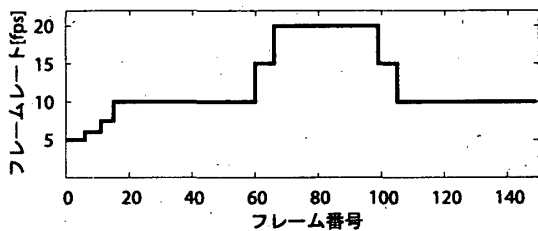
(a) 従来手法 (挿入前 5.0fps 一定) の特徴量 m



(b) 提案手法 (挿入前 5.0fps 一定) の特徴量 m



(c) 従来手法 (挿入後 平均 12.4fps) の FR の変動



(d) 提案手法 (挿入後 平均 12.2fps) の FR の変動

図 19 図 18 (e) の動画像に対する従来手法及び提案手法の適用結果

Fig. 19 Result of the conventional technique and proposed technique for the test sequence (e).

のポスト処理を適用し、評価関数の形状を除く他の条件を極力揃えた状態で比較を行う。図 18 (e) に対して従来手法及び提案手法を適用したときの特徴量 m と局所 FR の変動を図 19 に示す。

7.2 主観評価実験の概要

7.1 で作成した動画像 (基本+拡張レイヤ) を呈示し、主観評価実験を行う。評価には一対比較法を用い、諸条件を表 2 に示す。比較は、表 8 に示すように、従来手法と提案手法で作成した動画像、及びその平均 FR の上下に位置する一定 FR にサブサンプリングした動画像の 4 種類を用いる。

表 8 各評価用動画像に対する比較対象 FR
Table 8 FRs for the comparison for each test sequence.

動画像	従来手法	提案手法	定 FR (低)	定 FR (高)
(a)	14.0 fps	14.0 fps	10 fps	15 fps
(b)	6.8 fps	6.8 fps	5 fps	10 fps
(c)	13.2 fps	13.2 fps	10 fps	15 fps
(d)	13.0 fps	13.0 fps	10 fps	15 fps
(e)	12.4 fps	12.2 fps	10 fps	15 fps

表 9 主観評価実験の結果
Table 9 Result of the subjective assessment test.

(a)		(b)	
FR	尺度 s	FR	尺度 s
15 fps	1.000	7.5 fps	1.000
従来手法		従来手法	
14.2 fps	0.030	6.8 fps	0.490
提案手法		提案手法	
14.2 fps	0.346	6.8 fps	0.811
10 fps	0.000	5 fps	0.000

(c)		(d)	
FR	尺度 s	FR	尺度 s
15 fps	1.000	15 fps	1.000
従来手法		従来手法	
13.2 fps	-0.884	13.0 fps	-1.541
提案手法		提案手法	
13.2 fps	0.232	13.0 fps	1.062
10 fps	0.000	10 fps	0.000

(e)	
FR	尺度 s
15 fps	1.000
従来手法	
12.4 fps	-0.204
提案手法	
12.2 fps	0.150
10 fps	0.000

7.3 提案手法の有効性についての検証

表 9 は主観評価実験によって得られた選択確率から、Thurstone の比較判断の法則に従って算出した正規化尺度 s である。ここで、正規化は一定 FR (低) を 0、一定 FR (高) を 1 として行う。そのため、従来手法及び提案手法の品質が一定 FR (低) を下回る場合、その尺度 s は負の値を示す。表 9 から、従来手法と比較して、提案手法では常に高い主観品質を実現していることが分かる。特に図 18 (d) の画像において、提案手法は一定 FR (高) と同程度の主観品質を実現しているのに対し、従来手法ではフレームを挿入したにもかかわらず却って著しい品質低下を招いている。また、図 18 (e) の画像では、従来手法による動画像についてもポスト処理を施したにもかかわらず、その主観品質は提案手法と比較して低く、提案するフレーム

挿入の評価関数の有効性が確認できる。

更に、表 9 において、提案手法による動画像と一定 FR の動画像とを比較すると、品質を表す尺度が FR の高い順序に並んでおり、逆転は見られないことから

(1) 提案手法によってフレーム間隔を制御することで、拡張レイヤの動きの品質を比較的自由に選択できること

(2) 一定 FR の動画像と比較した結果、挿入したフレーム数にほぼ見合った動きの品質が得られていること

(3) (2) より、画質を大きく低下させるような動きの違和感は生じないこと

がいえ、以上より提案手法の有効性が確認できる。

なお、主観評価実験に用いた各評価用動画像（原画像、従来手法及び提案手法による処理画像、定 FR にサブサンプリングした各動画像）を MPEG 圧縮し、添付データ 3 として付録 CD-ROM に収録した。

8. む す び

本論文では、動画像の時間スケーラブル符号化に対して、主観品質に基づく柔軟なフレーム間隔制御を実現する手法を提案した。

具体的には、まず動画像中の動きの特徴量として動きベクトルの大きさのフレーム内最大値を定義し、それを高精度に抽出する手法について述べた。次に、人工動画像を用いた主観評価実験により、動きの特徴量及びフレームレートと動きの滑らかさとの関係を調べ、特徴量をフレーム挿入の必要性の値にマッピングする評価関数を構築した。このような評価関数を主観評価実験によって明らかにした結果はこれまでに報告されておらず、本論文における第 1 の成果である。更に、得られた評価関数を用いて基本レイヤに対して適応的にフレームを挿入するアルゴリズムを提案した。

提案手法によって作成した不等間隔フレームの動画像についてその主観品質を検証したところ、平均 FR を一定とした条件下で、従来手法と比較して常に高い主観品質をもつ動画像を作成できることが明らかとなった。更に、固定 FR の動画像と比較して、挿入したフレーム数にほぼ見合った品質を確保しつつ、等間隔のフレーム制御では不可能であった様々な平均フレームレートの動画像が作成可能であることを確認した。これが第 2 の成果である。

今後の課題としては、評価関数値と主観評価値 (MOS) との関連を主観評価実験によって明らかに

し、評価関数値の統計量から MOS を予測する手法を構築することが挙げられる。これにより、提案手法を主観品質主導型のスケーラブル符号法 [16] や、最適フレームレート推定に基づくトランスコーダ [17] に応用し、MOS に基づくレート制御を実現することができる。今後は以上の問題に取り組む予定である。

文 献

- [1] T. Shanableh and M. Ghanbari, "Heterogeneous video transcoding to lower spatio-temporal resolutions and different encoding formats," *IEEE Trans. Multimed.*, vol.2, no.2, pp.101-110, June 2000.
- [2] K.T. Fung, Y.L. Chan, and W.C. Siu, "Dynamic frame skipping for high-performance transcoding," *Proc. 2001, Int'l Conf. on Image Process.*, MA10.03, pp.425-428, Thessaloniki, Oct. 2001.
- [3] 稲積泰宏, 吉田俊之, 酒井善則, 堀田裕弘, "ビットレート制限下における動画像通信のための最適フレームレート推定," *信学論 (B)*, vol.J85-B, no.7, pp.1130-1142, July 2002.
- [4] M. van der Schaar and H. Radha, "A hybrid temporal-SNR fine-granular scalability for Internet video," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol.11, no.3, pp.318-331, March 2001.
- [5] W. Li, "Overview of fine granularity scalability in MPEG-4 video standard," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol.11, no.3, pp.301-317, May 2001.
- [6] 林 孝典, 井合 知, "フレームレートの変化が映像品質に及ぼす影響," *信学論 (A)*, vol.J79-A, no.4, pp.991-1000, April 1996.
- [7] C. Guaragnella and E. Di Sciascio, "Variable frame rate for very low bit-rate video coding," *Proc. IEEE MELECON 2000*, pp.503-506, Cyprus, June 2000.
- [8] Y. He, X. Zhao, S. Yang, and Y. Zhong, "Variable frame-rate video coding based on global motion analysis," *Proc. Second IEEE Pacific Rim Conference on Multimedia*, pp.426-433, Oct. 2001.
- [9] F. Ishtiaq and A.K. Katsaggelos, "A rate control method for H.263 temporal scalability," *Proc. ICIP '99*, pp.280-284, Oct. 1999.
- [10] 吉田俊之, 溝口祐介, 宮田高道, "動きベクトルの統計量に基づく動画像の適応的フレーム間隔制御," 2004 信学総大, D-11-46, March 2004.
- [11] 宮原 誠, "動画像に対する視覚特性と画質の関係およびそのテレビ信号帯域圧縮への応用," *NHK 技術*, vol.27, no.4, pp.141-171, 1975.
- [12] "研究スポット: 動画像とテレビジョン," *NHK 技研月報*, no.5, pp.175-178, May 1978.
- [13] 原島 博 (監修), 酒井善則, 吉田俊之 (著), *映像情報符号化*, オーム社, 東京, 2001.
- [14] 吉田俊之, 宮本敦司, 酒井善則, "動画像の動きベクトルに対する信頼度関数とその応用," *信学論 (D-II)*, vol.J80-D-II, no.5, pp.1192-1201, May 1997.
- [15] 難波清一郎, 桑野園子, 音の評価のための心理学的測定法,

コロナ社, 東京, 1998.

- [16] 宮田高道, 吉田俊之, “FGSに基づく品質主導型スケラブル符号化法の一検討,” 画像符号化シンポジウム (PCSJ2003), P-3.02, pp.53-54, Nov. 2003.
- [17] 藁科卓司, 稲積泰宏, 吉田俊之, “フレームレート推定に基づく動画像のトランスコード,” 映像学技報, CE2002-31, 2002.

付 録

Thurstone の比較判断の法則の概要 [15]

今, 二つの刺激 (S_i, S_j) があって, それぞれに対する心理的連続体上の反応 (弁別過程) R_i, R_j の散らばり (弁別の散らばり) が正規分布しているものとする. このとき, 刺激の大小を判断することは, 弁別過程の距離 $x_{ij} = R_i - R_j$ の符号を求めることであり, すなわち $x_{ij} > 0$ のとき $S_i > S_j$ となる. 今, R_i, R_j の平均を \bar{R}_i, \bar{R}_j , 分散を σ_i^2, σ_j^2 とすると, x_{ij} は平均 $\bar{x}_{ij} = \bar{R}_i - \bar{R}_j$, 分散 $\sigma_{i-j}^2 = \sigma_i^2 + \sigma_j^2 + r_{ij}\sigma_i\sigma_j$ (r_{ij} は R_i, R_j が変動するときの相関) の正規分布をなす (図 A-1).

図 A-1 の (a) の領域は $x_{ij} > 0$ であり, 刺激 S_i が S_j より小と判断される比率を示す. 逆に, (b) の領域は, S_i が S_j より大と判断される比率を示している. また, \bar{x}_{ij} は刺激間の弁別過程上の標準化距離を示す. このとき, 図 A-1 の z_{ij} は, σ_{i-j}^2 を単位としたときの 0 から x_{ij} までの距離であり,

$$z_{ij} = \frac{\bar{R}_j - \bar{R}_i}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_j^2 + r_{ij}\sigma_i\sigma_j}} \quad (A-1)$$

で表される. この z_{ij} は弁別過程上の刺激間の距離である. 更に, 弁別過程の変動に相関がなく ($r_{ij} = 0$), かつ各刺激に対する弁別の分散がすべて等しい ($\sigma_i = \sigma_j$) という仮定 (ケース V の仮定と呼ばれる) を加えるこ

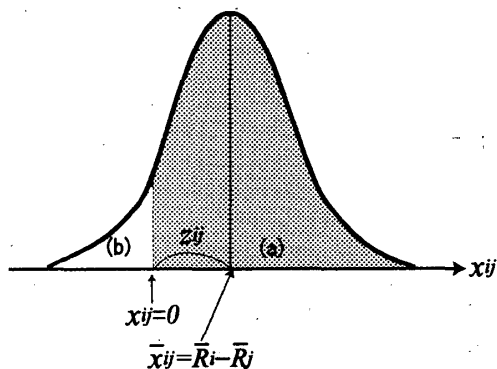


図 A-1 弁別過程の差の分布

Fig. A-1 The distribution of discriminative process.

とで, 式 (A-1) は,

$$z_{ij} = \bar{R}_j - \bar{R}_i \quad (A-2)$$

という簡便な形になる. ここで, z_{ij} は一対比較法による主観評価実験によって $S_i > S_j$ と判断された比率から簡単に計算できる. 刺激 S_i に対する間隔尺度 s_i は z_{ij} をすべての取り得る j について平均することで得られる.

添付デジタルデータ一覧

添付データ 1

ファイル名	B-75.MPG など
保存場所	~/DATA/DATA.1
データ種類	カラー動画像
データ形式	MPEG
説明	評価関数 f を推定するために用いた人工動画像の例

添付データ 2

ファイル名	PP.3.000.MPG など
保存場所	~/DATA/DATA.2
データ種類	カラー動画像
データ形式	MPEG
説明	提案手法によるフレーム挿入結果, 及びポスト処理の効果を確認するための動画像

添付データ 3

ファイル名	A-100.MPG など
保存場所	~/DATA/DATA.3
データ種類	カラー動画像
データ形式	MPEG
説明	提案手法の有効性の検証に使用した動画像

(平成 16 年 5 月 6 日受付, 8 月 18 日再受付, 9 月 24 日最終原稿受付)



宮田 高道 (学生員)

平 13 富山大・工・電気電子システム卒.
平 15 同大大学院博士前期課程了. 現在,
東工大博士後期課程在学中. 動画像の品質
評価及び QoS 制御の研究に従事. 情報処
理学会, 映像情報メディア学会各会員.

溝口 祐介 (学生員)

平 16 福井大・工・卒. 在学中, 動画像符号化の研究に従事.



吉田 俊之 (正員)

昭 61 東工大・工・電子物理卒. 平 3 同
大大学院博士課程了. 平 6 同大・工・助教
授. 平 15 福井大・工・助教授. 現在同教
授. 画像処理, 信号処理等の研究・教育に
従事.



酒井 善則 (正員)

昭 44 東大・工・電気卒. 昭 46 同大大学
院修士課程了. 昭 49 同博士課程了. 同年
日本電信電話公社入社. 以来, PCM-FDM
伝送方式, ファクシミリ通信方式, 画像通
信会議方式の研究に従事. 昭 62 東工大・
工・電気電子助教授, 平 2 同教授. 現在,
同大学院理工学研究科集積システム専攻教授. 工博. 画像信号
処理, 通信網の研究に従事. IEEE 会員.