

## 単一参照フレーム間予測の Motion JPEG への適用

藤村 誠† 宮田 慎一†† 今村 弘樹† 黒田 英夫††

† 長崎大学工学部 〒 852-8521 長崎市文教町 1-14

†† 長崎大学大学院 〒 852-8521 長崎市文教町 1-14

E-mail: †{makoto,b603446,imamura,kuroda}@cis.nagasaki-u.ac.jp

あらまし フレーム間予測符号化では、時間的に隣接するフレーム間での予測処理が一般的である。しかし、この方法では予測したフレーム間の依存度が高く、あるフレームが回線エラーなどの影響を受ければ、その影響は関連している以降のフレームにも波及する。このため、有効なエラー対策および復号画像の回復処理が必要となる。一方、モーション JPEG のようなフレーム内符号化による動画像符号化では、あるフレーム伝送時に回線エラーが生じて、それ以降のフレームに影響は出ない。しかし、符号化効率はフレーム間予測に比べて低いという問題がある。そこで、フレーム間の独立性をある程度持ちながら、フレーム間予測の符号化効率も併せ持つ単一参照フレームによるフレーム間予測方式を提案する。動き補償も加えたフレーム間予測の場合、フレーム間の距離が小さければ、単一の参照フレームで十分な符号化効率を得られ、各フレームは参照フレームのみの影響だけですむことになる。Motion JPEG への適用を想定し、予測誤差信号を量子化して信号レンジを変換して、JPEG 圧縮を行う。評価実験では、情報量圧縮と画像品質について測定し、予測効率については良好な結果を得た。画像品質についてはフレーム間予測を 10 フレーム程度にすれば十分有効であることがわかった。

キーワード フレーム間予測, モーション JPEG

## One Reference Interframe Prediction Applied to Motion JPEG

Makoto FUJIMURA†, Shinich MIYATA††, Hiroki IMAMURA†, and Hideo KURODA††

† Faculty of Engineering, Faculty of Engineering, Nagasaki University Bunkyo-machi 1-14, Nagasaki city, Nagasaki, 852-8521 Japan

†† Faculty of Engineering, Graduate School of Science and Technology, Nagasaki University Bunkyo-machi 1-14, Nagasaki city, Nagasaki, 852-8521 Japan

E-mail: †{makoto,b603446,imamura,kuroda}@cis.nagasaki-u.ac.jp

**Abstract** In case of interframe prediction coding, prediction process is done between a frame and next frame. This process make dependance between frames. If a frame signal are degraded by some errors, another frames which are depended each other are degraded. Then some error recovery processes are needed. On the other hand, intraframe based coding such like Motion JPEG needs simple error recovery process. But intraframe based coding cannot have high compression ratio comparison with interframe based coding. Therefore we proposed interframe coding scheme by single reference frame. This method has both high coding efficiency and dependancy of inter-frame. Evaluation experiments show some goot results.

**Key words** Interframe prediction, Motion JPEG

### 1. ま え が き

現在、動画像符号化は MPEG および H.264/AVC に代表されるフレーム間予測をベースとしたハイブリッド符号化方式が主流である [1]。一般にフレーム間予測符号化は、時間的に隣接したフレーム間で差分がとられ高い符号化効率を実現するが、

その結果、フレーム間での依存度は高いものとなる。このため、符号化情報を伝送中に、あるフレームで回線エラーなどが生じた場合、それ以降の依存度の高いフレームにも劣化が生じる恐れがある。この対策として、さまざまなエラー処理やエラーコンシールメント処理が行われている。

例えば、H.264/AVC では高符号化効率の実現のため、図 1

に示すように離れたフレーム間でもブロック単位の参照予測が行われる。これは、高圧縮率を実現するが、符号化処理が複雑になり計算に要する負荷が増大する。また、複数フレームにわたる予測により、フレーム間の依存度が増大し、回線エラーなどによる符号化データに対する一部分の損失が他の部分に波及することになる。

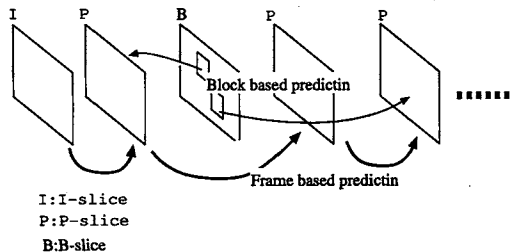


図1 H.264/AVCのフレーム間予測  
Fig. 1 Interframe prediction of H.264/AVC

一方、Motion JPEGのようなフレーム内符号化をベースとするものは、符号化情報の伝送中にエラーが生じて、それ以降のフレームに影響は出ない。このため、初期のインターネット上のフリーソフトによる動画伝送システムなどは、フレーム内符号化が採用されていた。また、現在でも定点カメラや監視カメラなど、できるだけ低コストの回線や端末で動画伝送を実現するような場合には、Motion JPEGは有効である。符号化処理が比較的簡単であり、低品質の回線などで使用しても、特にエラー対策を考慮しなくてもよかった。しかし、フレーム内符号化をベースとするため、動画伝送として見た場合、符号化効率の面からは問題があった。

このような問題を解決するため、単一参照フレームによるフレーム間予測方式を検討する。動き補償と併せて考えれば、フレーム間予測は近いフレームであれば隣接しておらずとも十分な予測効率が得られるものと考えられる。また、Motion JPEGに適用した場合、その長所をそれほど損なうことなく、情報量圧縮率の向上が期待できる。すなわち、単一参照フレームを行うことでフレーム内符号化のようなフレーム間の独立性を保ち、かつフレーム間予測による符号化効率を実現できる。

以下、2. では単一参照フレームによるフレーム間予測について検討する。3. ではMotion JPEGへの適用について述べ、4. で評価実験を行う。5. はまとめである。

## 2. 単一参照フレームによるフレーム間予測

### 2.1 予測方式および符号化データ構造

図2のように、ひとつの参照フレームを用いて、それ以降のフレームに対するフレーム間予測を行う。予測精度の観点からは、対象とするフレームの直前、直後の時間的に隣接しているフレームを参照フレームとした方がよい。しかし、定点カメラ、監視カメラのようなカメラの移動が基本的に無い場合やテレビ電話のように画像の変化が少ないような場合は、時間的に離れた参照フレームを使用しても十分に有効な予測精度が得られる

ものと考えられる。

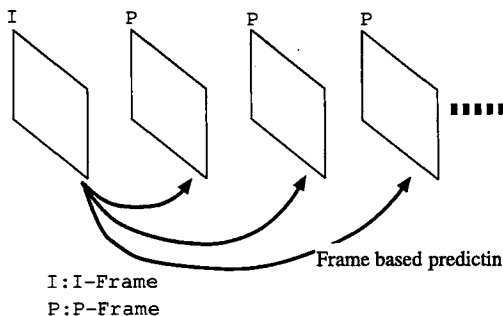


図2 単一参照フレームによるフレーム間予測  
Fig. 2 Interframe prediction by one reference frame

単一参照フレームによるフレーム間予測の特徴はデータ構造の単純さである。各フレームで、依存しているのは一枚の参照フレームのみであり、それ以外のフレームとは独立である。依存するフレーム数が少ないことにより、伝送回線などで発生するエラーへの耐性が向上する。

一般的なフレーム間予測の場合、Iフレームから続くPフレームは直前のフレームを参照フレームとするため、その予測フレームのグループ内のある一枚のフレームでエラーが生じると、それ以降のフレームでエラーの影響が発生する。このため、エラー対策としてエラーコンシールメントやエラー回復処理が必要となる。また、周期的あるいはオンデマンドで、Iフレームを挿入することも必要である。

一方、全てがIフレームによる符号化といえるMotion JPEGでは、伝送路エラーなどが生じて、該当するフレームにのみ影響を受ける。これは、Motion JPEGがIフレームという他フレームに依存しない符号化データによって、伝送データを構成しているためである。

提案する単一参照フレームによるフレーム間予測では、参照フレームの影響は受けるものの、それ以外のフレームの影響は受けなため、エラー耐性の向上が期待できる。

1フレームあたりのエラーの発生率を $R_E$ としたときの、 $n$ 枚のフレームにおけるエラーの影響を考える。すべてがIフレームの場合は、エラーが生じても当該フレームのみが影響を受けるため、次のようになる。

$$Error = R_E(1 + 1 + \dots + 1) \quad (1)$$

$$= R_E n \quad (2)$$

前フレームを参照フレームとする一般的なフレーム間の予測の場合は、エラーが生じたフレーム以降も影響を受けるため、次のようになる。

$$Error = R_E(n + (n-1) + (n-2) + \dots + 1) \quad (3)$$

$$= R_E \frac{n(n+1)}{2} \quad (4)$$

単一参照フレームによるフレーム間予測の場合は、1フレーム目の参照フレームでエラーが生じたときには、それ以降の全

フレームに影響がある。しかし、1 フレーム目以降のフレームにおいては、すべてエラーが生じたフレームのみに影響があるため、次式のようになる。

$$Error = E_E(n+1+1+\dots+1) \quad (5)$$

$$= R_E(2n-1) \quad (6)$$

エラーコンシールメントなどのエラー耐性向上のための処理もあるので、一概には言えないが、単一参照フレームによるフレーム間予測の場合は、一般的なフレーム間予測に比べてエラー耐性が高く、エラーの影響をすべて I フレームで符号化する場合の 2 倍程度に抑えられる。

## 2.2 基本構成

同一フレームでのフレーム間予測を行う場合には、予測を行うフレーム数、および差分信号のレンジの変換が必要となる。このため、基本的な構成には、フレームメモリ、フレーム間差分レンジの変換および逆変換の機能、フレーム間予測のためのフレーム数を制御する機能が必要となる。

図 3 に提案するフレーム間予測方式の構成図を示す。SW1 および SW2 は、フレームをそのまま JPEG 符号化する場合とフレーム間予測誤差を JPEG 符号化する場合とで切替える。フレームメモリには数フレームごとに 1 フレーム分の信号が記憶される。フレーム間予測誤差を得る場合には、フレームメモリに記憶された信号と入力信号とでフレーム間差分をとる。

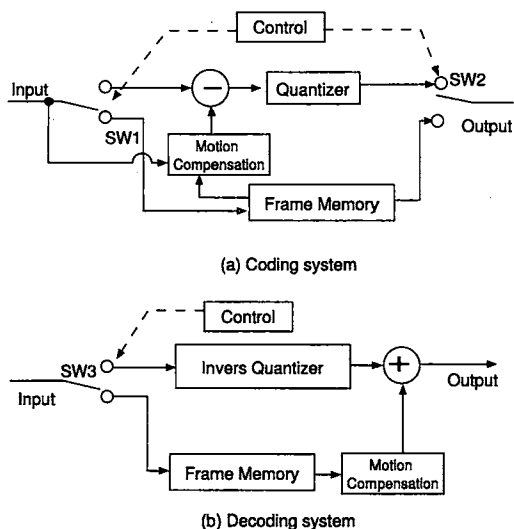


図 3 構成図

Fig. 3 Diagram of interframe prediction by one reference frame

符号器側の処理の流れは次のようになる。

- (1) 参照フレームを設定する
- (2) 次フレーム以降、フレーム間予測を行う
- (3) 予測誤差信号のレンジを変換する
- (4) 予測誤差信号を JPEG 圧縮する
- (5) 圧縮した符号銃砲を伝送する

一方、復号器側の処理の流れは次のようになる。

- (1) 圧縮した符号銃砲を受け取る
- (2) 予測誤差信号を JPEG 展開する
- (3) 予測誤差信号のレンジを変換し、もとの予測誤差信号に戻す
- (4) 予測誤差信号に参照フレームを加算する

## 3. Motion JPEG への適用

本章では、JPEG への適用を検討する。予測誤差を JPEG の入力信号にするため、予測誤差の信号レンジの変換が必要となる。また、動きベクトルの符号化情報の伝送についても検討する。

### 3.1 予測誤差信号の処理

JPEG による符号化は一般の画像信号を対象としており、入力信号のレンジは 0~255 となる。一方、フレーム間予測誤差信号は次式のように求められ、その信号レンジは -255~255 となる。この信号レンジを 0~255 に変換する必要がある。

$$diff = x_i - x_{i-1} \quad (7)$$

ここで、 $diff$  は予測誤差、 $x_i$  および  $x_{i-1}$  は、それぞれ現フレームおよび前フレームの信号である。

ここでは、予測誤差信号のレンジを変換するために、量子化およびモジュロ補正による方法を検討した。

#### 3.1.1 量子化

まず、フレーム間予測誤差信号に対して量子化ステップ幅を 2 とした量子化を行い、その後、量子化された値に 127 を加算し、信号レンジを 0~255 に変換する。予測誤差信号を 2 で割り、小数点以下は切捨てて量子化する。この量子化した信号を JPEG による符号化の入力にする。

逆量子化の処理では、符号化/復号化された予測誤差信号から 127 を減算した後に、量子化ステップ幅である 2 をかけることで、画像信号を復号する。

#### 3.1.2 モジュロ補正法 1

MPEG2 における動きベクトル間の差分に対して行うモジュロ補正を適用したものである。予測誤差信号  $diff$  が、 $diff < 0$  の場合は  $diff + 256$  とし、 $diff > 255$  の場合は  $diff - 256$  と補正する。 $0 \leq diff \leq 255$  の場合はそのままの予測誤差信号を用いる。

補正された信号は、JPEG による符号化/復号化処理を施される。この復号化された信号に対して参照フレームの信号を加算する。このとき、加算結果が、 $(diff + x_{i-1}) < 0$  の場合は、この結果に 256 を加える。、 $diff + x_{i-1} > 255$  の場合は、256 を減算して補正する。

#### 3.1.3 モジュロ補正法 2

モジュロ補正法 1 と同様の処理を行うが、補正範囲のみが異なる。予測誤差信号が 0 を中心に正負ほぼ対象に分布するため、予測誤差信号  $diff$  が、 $diff < -127$  の場合は  $diff + 256$  とし、 $diff > 128$  の場合は  $diff - 256$  と補正する。 $-127 \leq diff \leq 128$  の場合はそのままの予測誤差信号を用いる。

この JPEG の復号化処理を施された信号に対して参照フレームの信号を加算する。このとき、加算結果が、 $(diff + x_{i-1}) < 0$  の場合は、この結果に 256 を加える。、 $diff + x_{i-1} > 255$  の場合は、256 を減算して補正する。

### 3.1.4 予備実験

量子化、モジュロ補正法 1 および 2 を比較し、予測誤差信号の処理方法として適しているかを予備実験で確認した。テスト画像には、Akiyo, Flower garden, Football の 10 フレーム分を用いた。提案法によるフレーム間予測誤差に、量子化およびモジュロ補正法 1, 2 を施し、これを JPEG で圧縮、展開の後、参照フレームに加算して復号画像を得る。この復号画像のまた、比較のため JPEG のみによるデータも測定した。なお、実験で用いた JPEG 符号器は、Independent JPEG Group のものである [2]。

図 4 は、予測誤差処理による情報発生量の相違を、図 5 は画像品質の相違をそれぞれを示している。

図より、モジュロ補正法の場合は、画像品質の劣化が大きく、情報量の圧縮率もそれほど高くないことがわかる。これは、JPEG によって生じた画像品質劣化により、モジュロ補正において数値の変換を行ったものと誤判定され、補正のために加算、減算された値 255 が、雑音となってしまったためと考えられる。復号画像を確認すると、エッジ部に粒状雑音が生じており、JPEG 圧縮による劣化部分が増幅された場合と同様の結果となった。一方、量子化の方は 2 種類のモジュロ補正法に比べて、良好な結果が得られていることがわかる。以上より、予測誤差信号に対する処理として量子化を行うこととする。

### 3.2 動き補償

一枚の参照フレームによるフレーム間予測の場合、参照フレームから離れたフレームであるほど、動き補償予測の効果が重要になるものと考えられる。ここでは、縦方向および横方向にそれぞれ ± 15 画素の範囲を総探索する方法を用いる。探索精度は一面素単位である。

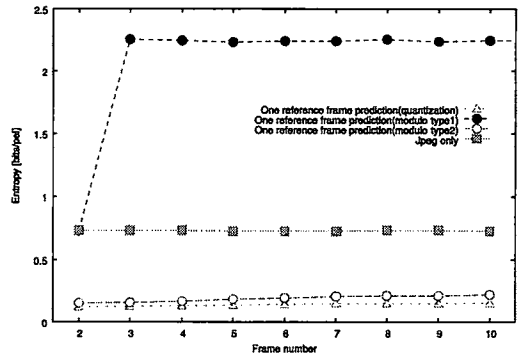
JPEG は、動きベクトルの符号化情報については想定していないため、伝送または蓄積のために新たに動きベクトルデータを埋め込む必要がある。しかし、エントロピー符号化された動きベクトルの情報を電子透かし方式で画像データに埋め込む方法が考えられる [4]。動きベクトル間で差分に対してモジュロ補正を行った後に、エントロピー符号化をおこないビット列に変換する。このビット列を電子透かしの技法を用いて、画像符号化データ部分に埋め込む。

## 4. 評価実験

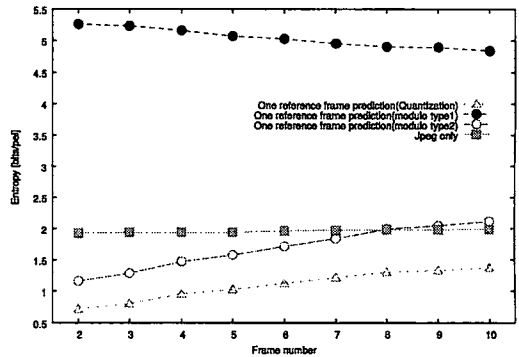
### 4.1 実験目的および条件

単一参照フレームによるフレーム間予測の評価のため、Motion JPEG を想定した実験を行った。テスト画像は、背景、人物とも動きの少ない Akiyo, 人物の動きは大きい背景は静止している Foot, 人物はいるがカメラがパンしているため画面全体に動きがある Flow garden を用いた。また、処理対象は輝度信号である。

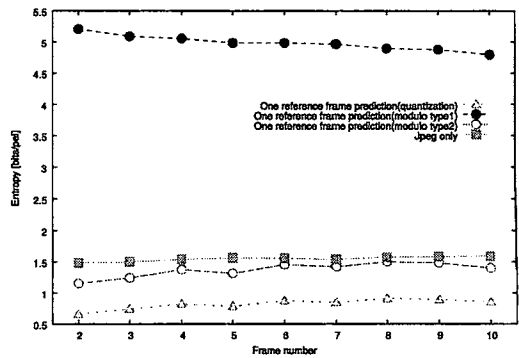
1 フレーム目を参照画像として、以降の 2-50 フレーム分を提



(a) Akiyo



(a) Flow garden

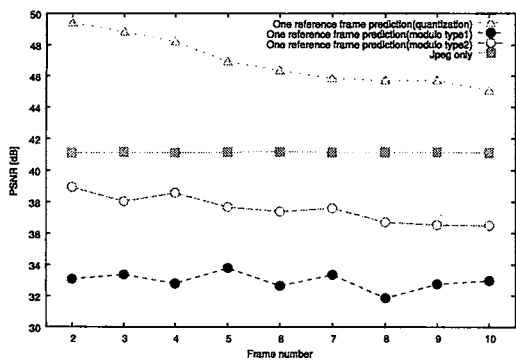


(a) Football

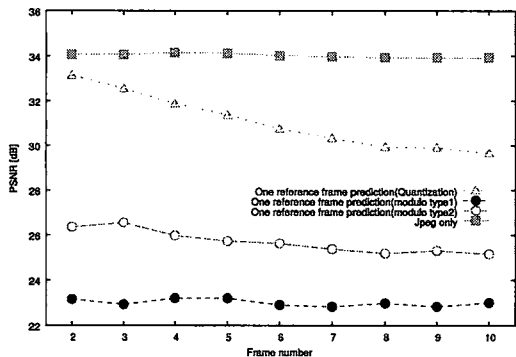
図 4 予測誤差処理による情報発生量の相違

Fig.4 Entropy of process of interframe prediction error

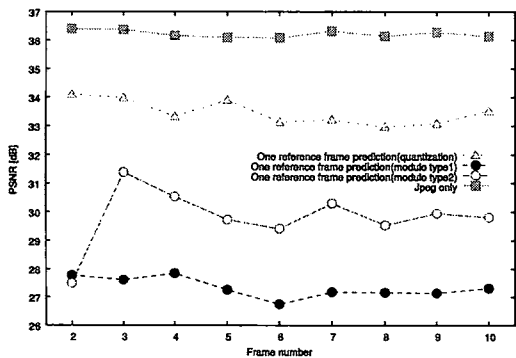
案したフレーム間予測方式と動き補償によって符号化を行った。動き補償予測は、16×16 画素のマクロブロック単位で行う。一マクロブロックあたり探索範囲は、15×15 画素とした。動きベクトル探索方法は、一般的な総探索であり、一面素単位の精度である。予測誤差フレームに対しては、量子化による信号レンジの変換を行った後、JPEG 圧縮および展開を行い、1 フレーム目の信号に加算して復号化した。また、比較のため、テスト画像 50 フレーム分を JPEG で圧縮した場合の情報量と画像品質を



(a) Akiyo



(a) Flow garden



(a) Football

図 5 予測誤差処理による画像品質の相違

Fig.5 PSNR of process of interframe prediction error

測定した。

#### 4.2 情報発生量

図 6 に提案したフレーム間予測による情報発生量としてエントロピーを示す。ただし、エントロピーは、フレーム間予測誤差信号を JPEG によって符号化したファイルの容量をフレームの画素数で割ったものである。この中には動きベクトルの符号化データは含まれていない。

また、比較のためフレーム単位で圧縮、展開したフレーム内復

号信号の情報発生量も示している。図より、3つのテスト画像において単一参照フレームによるフレーム間予測の情報発生量が、JPEG による圧縮より有効であることが分かる。Akiyo のような動きが少ない信号については、50 フレーム全体にわたってエントロピーが抑えられていることがわかる。Flower garden は、16 フレーム付近でエントロピーが飽和するような変化をしている。これは、画像全体が動いているため、参照フレームが入力フレームに対して異なったシーンとなり、その予測精度が落ちたためと考えられる。一方、Football は、背景が静止しているためか、人物の動きが大きくても、ある程度エントロピーが抑えられている。

#### 4.3 画像品質

図 7 に、単一参照フレームによるフレーム間予測方式の復号信号の PSNR を示す。また、比較のためフレーム単位で圧縮、展開したフレーム内復号信号の PSNR も示している。

図より、3つのテスト画像で、フレーム単位の JPEG での PSNR が高く、フレーム間予測による復号信号は低くなっていることがわかる。これは、予測誤差の信号レンジを半分にするために、量子化を行っているためであり、この量子化処理による誤差が加えられているためと考えられる。ただし、Akiyo については、15 フレーム付近まで、フレーム間予測の方が PSNR が高くなっている。これは、動きが少ない映像であるため、フレーム間予測精度が十分高くなっているためではないかと考えられる。

しかし、フレーム間予測の PSNR が低いとはいえ、Akiyo では 40[dB] 以上、Football では 32[dB] 程度である。Flower garden は、28[dB] 程度であるが、5 フレームくらいまでなら 30[dB] 程度、10 フレームまでなら 29[dB] 程度である。

以上より、10 フレーム程度であれば、十分な画像品質が得られるのではないかと考えられる。

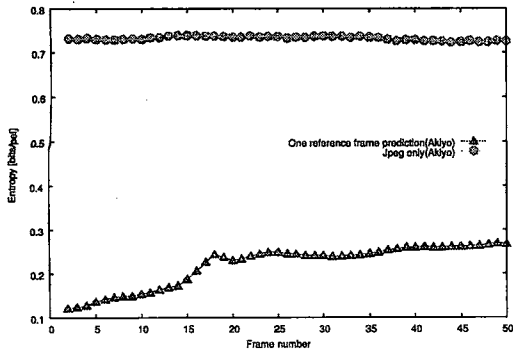
#### 5. まとめ

単一参照フレームを用いたフレーム間予測符号化方式について、Motion JPEG への導入を検討した。画像品質においては検討の余地があるが、符号化効率の向上は期待できる。評価実験より、単一参照フレームによるフレーム間予測については、約 10 フレーム程度であるならば十分な画像品質が得られるものと期待できる。

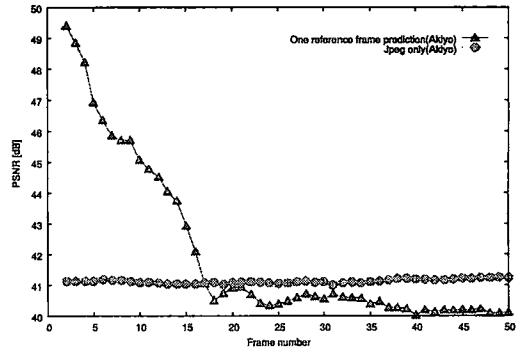
今後の課題としては、Motion JPEG への適応について、動きベクトルの符号化情報を画像符号化情報に埋め込むことなどを検討する予定である。

#### 文 献

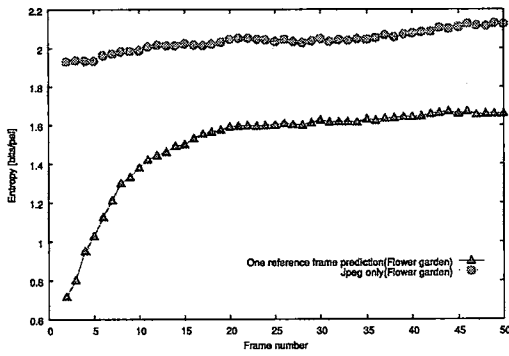
- [1] 大久保栄, 角野真也, 菊池義浩, 鈴木輝彦: H.264/AVC 教科書, インプレス (2004).
- [2] Independent Jpeg Group, <http://www.ijg.org/>(2007 年 11 月 16 日閲覧)
- [3] ITU-T 勧告 T.81, 1994.
- [4] Hideo Kuroda, Shinichi Miyata, Makoto Fujimura and Hiroki Imamura, A Novel Image Compression Method Using Watermarking Technique in JPEG Coding Process, Proc. of Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems, pp.1072-1083, 2007.



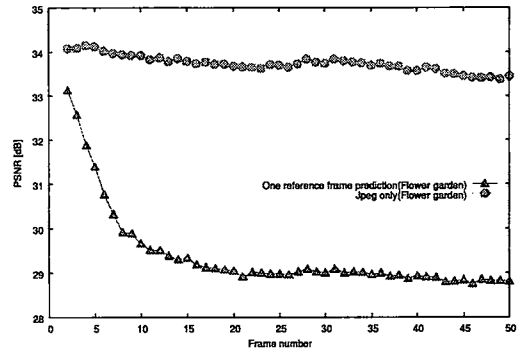
(a) Akiyo



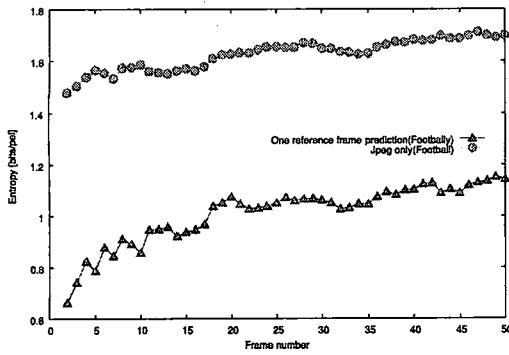
(a) Akiyo



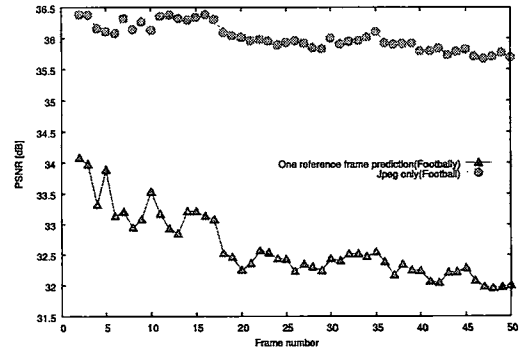
(a) Flow garden



(a) Flow garden



(a) Football



(a) Football

図 6 情報発生量  
Fig. 6 Entropy

図 7 画像品質  
Fig. 7 PSNR