正会員 鈴木 芳典[†], 正会員 伊 東 晋[†], 名誉会員 宇都宮 敏 男[†]

A Motion Compensated Prediction Method Using Dual Blocks

Yoshinori Suzuki[†], Susumu Itoh[†] and Toshio Utsunomiya[†]

あらまし ブロック境界部の予測誤差電力を低減し得る新しいブロックマッチング法を提案する。半ブロック分だけ互いに位置をずらした2種類のブロック分割に基づいて各々の予測画像を作成した後、これらを加重平均することで予測効率を改善すると共に符号化レートを低減した。

1. ま え が き

近年、動画像符号化においては動き補償(MC)予測が必須の技術として用いられている。MC予測には従来より様々な手法が提案されているが、演算量が比較的少なくノイズの影響を受けにくいブロックマッチング(BM)法が主流になっている。しかし、BM法は画像の内容とは無関係に分割された正方形あるいは長方形のブロックを単位とした独立処理であり、隣接ブロック間で動き量が互いに異なる場合にはブロック境界に沿って歪みが発生する。このブロック歪みを抑圧し、ブロック境界部で増大する予測誤差電力を低減するために、本論文では従来のブロック分割に基づいたBM法を適用すると共に、これとは半ブロック分だけ位置をずらした第2のブロック分割を行い、これらのブロックについてもBM法を適用する。このようにして得られた2種類の予測画像を、各々のブロックにおける各画素の相対位置に応じた重み係数を用いて加重平均することにより、予測誤差電力の分布が均一化された最終的な予測画像を作成する。この提案方式(二重ブロックマッチング法と呼ぶ)では、第2の予測画像を作成するために新たな動ベクトル情報が必要となるが、予測誤差信号の符号化まで含めたトータルの符

号化性能は向上することを、シミュレーションによって明らかにしている。

2. 二重ブロックマッチング法¹⁾

2.1 ベース予測画像の作成

本論文では、MPEG-2のフィールド構造における予測モード(フィールド予測、16×8フィールド予測、デュアルプライム予測)²⁾を基準方式としており、図1に示すようにベースブロックのマッチングによる第1の予測画像(ベース予測画像)の作成時には、このMPEG-2の予測方式を使用している。ただし、今回は二重ブロックマッチング法(二重BM法)の基本性能を明らかにすることが目的であるため、双方向予測は使用しない低遅延モードを採用している。また、動ベクトルの探索範囲は水平・垂直両方向とも-16～+15.5としており、ブロックマッチングにより検出された動ベクトルはMPEG-2に準拠した方式で伝送される。

2.2 シフト予測画像の作成

二重BM法は2種類の予測画像が互いの予測性能の低い領域、すなわちブロック境界部を補い合うことにより予測効率の改善を図る手法である。したがって、これらの予測画像は同程度の品質を保っている必要がある。また、第2の予測画像(シフト予測画像)はシフ

キーワード: MPEG-2, ブロックマッチング, 予測誤差電力, 二重ブロック

1994年10月18日, 第9回画像符号化シンポジウム(PCSJ'94)で発表

1995年4月10日受付, 1995年8月17日再受付

[†] 東京理科大学 理工学部 電気工学科 (〒278 野田市山崎 2641, TEL 0471-24-1501)

[†] Faculty of Science and Technology, Science University of Tokyo (2641, Yamazaki, Noda-shi, Chiba 278, Japan)

図1 二重ブロックマッチング法
The block matching method based on dual blocks.

トブロックのマッチングにより作成されるが、それに伴う演算量の増加を極力抑圧する必要がある。そこで本論文では、ベースブロックの最小MCブロックサイズが 16×8 であることに着目し、シフトブロックのサイズをこれと同一の 16×8 に固定してシフト予測画像の品質低下を防止すると共に、各シフトブロックに対しては 16×8 フィールド予測のみを適用することで演算量の大幅な増加を防止している。

なお、図1に示すようにシフトブロックのブロック分割は原則としてベースブロックに対して半ブロック分、すなわち 8 画素 $\times$ 4 ライン だけずれており、各ベースブロックの頂点がシフトブロックの中央部に位置する構成となっている。また、シフト予測画像の作成に要する動ベクトルの符号化レートを低減するため、その探索に際しては、当該シフトブロックと互いに重なりを持っている複数のベースブロックの動ベクトルの平均値を初期偏位ベクトルとし、探索範囲をベースブロックのその約半分 ($-8 \sim +7.5$) に制限している。したがって、シフトブロックの動ベクトルについては、上記の初期偏位ベクトルとの差分がコード数の少ない符号表を用いて符号化される。またこの情報は、当該シフトブロックと互いに重なりを持つベースブロックの中で、右下に位置するブロックの動ベクトルに付随して伝送されるため、各マクロブロックにおいて前方向動ベクトルが計 4 本まで伝送可能となるように、MPEG-2 の符号化アルゴリズムを修正している。

2.3 最終予測画像の作成

上記 2 種類の予測画像の同一位置における画素値 (予測値) を、適切な重み係数を用いて加重平均することにより最終予測画像を作成する。この重み係数 f_b および f_s は、図2に示すように注目画素 P のベースブロックならびにシフトブロック内での相対位置のみ

図2 重み係数の算出法
Calculation of weighting factors.

から算出される。この際、最小MCブロックサイズが 16×8 であることから、ブロック中央部の 4 画素において重み係数が最大となるように、15 画素 $\times$ 7 ラインの仮想ブロックを考えて重み係数を算出している。具体的にはまず、この仮想ブロックを画素 P がその中心に位置するように構成し、ベース予測画像およびシフト予測画像に各々重ね合わせる。次に、画素 P の属するベースブロックと仮想ブロックとの間で、互いに重なりを持っている画素数 N_b をカウントする。またシフトブロックについても同様にして仮想ブロックと重なり合っている画素数 N_s を求める。2つの重み

係数 f_b, f_s は、これらの N_b, N_s を用いて 図 2 のようにして算出され、この例では各々 0.57, 0.43 になる。よって画素 P の最終的な予測値は、 $f_b \cdot B + f_s \cdot S$ となり、他の画素についても同様の計算を行うことで最終予測画像が得られる。

ただし、以上の手順に従って算出された重み係数をブロックを単位として整理すると、数種類のパターンに集約される。したがって、各画素に対してその都度重み係数を算出する必要はなく、実際にはブロックを単位とした重み関数としてあらかじめ記憶されている。この重み関数は前述したように、ブロック中央部の 4 画素において最大値をとり、ブロック境界へ近づくに従って減少していくため、この関数を用いた二重 BM 法では、一方の予測画像のブロック境界部を他方の予測画像のブロック中央部が補う形となり、予測誤差電力の分布が均一化された最終予測画像が得られる。また同様の理由により、最終予測画像ではブロック境界部においても予測値の連続性が保たれるので、ブロック歪みが大幅に低減される。すなわち、重み関数はブロック中央部から境界部に向かって単調減少する必要がある、ベース予測画像とシフト予測画像の単純な平均処理（すべての画素において $f_b = f_s = 0.5$ とする方式であり、平均方式と呼ぶ）では、ブロック歪みの低減効果が半減する。

3. 特性評価

ITU-R 勧告 601 規格のデジタル動画像 Cheer Leaders, Mobile & Calendar を 4:2:0 のフォーマットに変換した画像（各々 24 フィールド）を対象として、二重 BM 法のシミュレーションを行った。まず、本方式の基本的な予測性能を明らかにするために、原画像を参照画像として用いた際の予測誤差電力を算出した。表 1 にはベースブロックの境界部と中央部における予測誤差電力を示す。ただし、ベースブロックの境界部とは各ベースブロックの境界から 2 画素以内の距離にある領域を表している。また比較のために、ベース予測画像が最終的な予測画像となる従来方式、および平均方式の結果についても併せて示す。

表 1 より、従来方式ではブロック境界部で予測誤差電力が増大しているのに対し、本方式ではその分布がかなり均一化されており、二重ブロック構造とした効果が認められる。また、ブロック境界部のみならず中央部においても、従来方式に比較して予測誤差電力が低減されていることがわかる。一方、本方式の平均方式に対する利得はわずかである。これは、本方式の重み関数が必ずしも最適化されていないためと考えられ

表 1 原画を参照画像とした際の予測誤差電力の比較 (Y 信号)

Comparison of the power of prediction errors for Y signals when regarding the original image as a reference.

Cheer Leaders	ブロックの境界部	ブロックの中央部	画面全体
本方式	103	82.7	93.5
従来方式	163	98.1	132
平均方式	108	86.5	97.3

Mobile & Calendar	ブロックの境界部	ブロックの中央部	画面全体
本方式	141	131	135
従来方式	197	161	178
平均方式	141	132	136

表 2 予測誤差電力 (Y 信号) と符号化レート
The power of prediction errors for Y signals and coding rates.

Cheer Leaders	Y 信号の予測誤差電力	符号化レート (Mb/s)	
		動ベクトル	予測誤差信号
本方式	113	0.781	4.37
従来方式	152	0.413	5.10

Mobile & Calendar	Y 信号の予測誤差電力	符号化レート (Mb/s)	
		動ベクトル	予測誤差信号
本方式	170	0.621	7.24
従来方式	217	0.320	8.15

る。しかし、両方式の予測画像を比較した結果、平均方式では依然としてブロック歪みが観測されるのに対し、本方式ではほぼ完全に解消されていることを確認している。

次に、符号化レートも含めたトータルの性能を評価するために、本方式および従来方式を MPEG-2 の MP@ML の予測部に組み入れた際のシミュレーションを行った。ただし、本論文ではフィールド構造の低遅延モードに符号化処理を限定すると共に、DCT 係数の量子化ステップ幅は係数毎に一定値に固定した ($quantizer_scale = 18$)。表 2 には、画面全体での予測誤差電力と動ベクトルおよび DCT 係数の平均符号化レートを示す。またフィールド毎の符号化特性を図 3 に示す。

表 2 より、実際の符号化に適用した場合でも従来方式に比較して予測誤差電力が大幅に低減されることが確認できる。その結果、本方式では予測誤差信号の符号化レートが削減され、動ベクトルの符号化レートの増加分を十分に補っていることがわかる。さらに

図3 符号化特性
Coding performance.

図3より、いずれの画像についても本方式の方が優れた特性を示すことが確認できる。すなわち、本論文ではDCT係数の量子化ステップ幅を固定しているため、両方式の平均 S/N はほぼ一致すると共に、この傾向はフィールド毎の S/N についても全く同様に認められた。これに対して、本方式のトータルの符号化レートは従来方式よりも6~8%程度低減されている。なお、*quantizer_scale* を18より小さく（例えば12に）設定しても、本方式の符号化利得は変化しないことを確認している。

4. む す び

ブロック境界部の予測誤差電力を低減し得る新しいブロックマッチング法を提案した。本方式では、互いのブロック境界部を補い合うようにして作成された2種類の予測画像を加重平均することにより、予測誤差電力の大幅な低減を実現している。したがって、動ベクトルの符号化レートは増加するものの、予測誤差信号の符号化レートが削減されるため、従来方式よりも優れた符号化特性を得ることができる。また、本方式はブロック境界部で予測値を滑らかに接続するため、ブロック歪みをほぼ完全に解消することが可能である。

今後の課題としては、動ベクトルの符号化レートの削減、シフトブロックにおける適応予測の導入、重み関数の最適化、双方向予測への拡張等が挙げられる。

【参 考 文 献】

- 1) 鈴木、伊東、宇都宮：“オーバーラップ2重ブロックマッチング法”，PCSJ'94, 5-3 (Oct. 1994)
- 2) ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N0702: “Information Technology - Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio”, Draft International Standard (Mar. 1994)

すずき よしのり
鈴木 芳典 平成5年、東京理科大学理工学部電気工学科卒業。平成7年、同大学大学院修士課程修了。同年、(株)日立製作所に入社。在学中は、画像の高効率符号化に関する研究に従事。正会員。

いとう すむ
伊東 晋 昭和51年、東京大学工学部電子工学科卒業。昭和56年、東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程修了。同年より、東京理科大学理工学部電気工学科に勤務し、現在、助教授。画像処理、生体信号処理等の研究に従事。工学博士。正会員。

うつのみや としお
宇都宮敏男 昭和18年、東京大学第一工学部電気工学科卒業。大学院特別研究生を経て、23年、東大助教授。36年、同教授。57年定年退職し、東京理科大学理工学部電気工学科教授。電子回路および医用生体工学の教育・研究に従事。工学博士。東大名誉教授。名誉会員。