飛越走査信号における動きベクトル垂直成分分布の特異性

Singularity of Vertical Distribution of Motion Vectors in Interlaced TV Signals

名誉会員 吹 拔 敬 彦[†]

Takahiko Fukinuki[†]

あらまし 飛越走査信号フレーム画像の垂直方向ギザギザ状パターンからも納得されるように、フレーム予測の動きベクトル垂直成分はほとんど偶数であり、現実の画像で確認した。特徴のない画像領域では奇数の場合もあるが、ゼロベクトル優遇を行うと多くのブロックで0(偶数)になる。これを活用すれば符号化効率は向上する。

キーワード：動きベクトル、フレーム予測、飛越走査信号、検索ステップ数削減、符号化効率向上

1. ま え が き

テレビ画像のフレーム間符号化として、動き補償フレーム間予測とブロック変換(離散コサイン変換など)の組合せが定着した感がある。最近では、さらなる改善が試みられているが、主眼の一つには、過去に複雑さのあまり放棄した手法の再吟味も含まれているという。しかし、もっと手前に簡単で有効な手がないのか。

例えば、MPEG-2の動きベクトル(以下、MV)表現には、画素精度と半画素精度がある。さらに最近ではさらに1/4画素や1/8画素などの高精度表現も検討されている由。しかし、精度の高まりとともに、MVのための情報量は大きく増加する。現に、経験的に、符号化データの過半がMVで占められており、この軽減は重要である。この目的のため、既定の標準化の範囲内で、ゼロベクトル優遇¹⁾や無意成分抑圧²⁾が提案された。

一方、十分に吟味した現行のMPEGにも、飛越走査では意外に簡単な冗長性の存在がわかった³⁾。これを活用すると、MVを表す符号語構成を効率化できるので、符号化効率は向上する。

2. 飛越走査画像のフレーム画像の特殊性

前記の冗長性とは、フレーム予測では、多くの場合、MV垂直成分が事実上偶数走査線のみとなることである。因みに、MPEGの予測方法には、フィールド予測とフレーム予測があり、前者ではMVがマクロブロック当り2本なのに対し、後者では1本である。フレーム予測が有効に使え

図1 飛越走査におけるフレーム画像特有のギザギザ
(厳密には、蓄積効果のため、輪郭部は水平方向に連続した中間調になる。)
Notches peculiar to frame-pictures in interlaced-sanning.

れば、全体として効果的である。すなわち、MV情報量の多さが問題になっているとき、MVが1本でよいフレーム予測が改善されることは、符号化全体の改善にとって効果的である。

例えば、図1に示す水平移動がある場合、フレーム画像においては、その垂直エッジ部分に特有のギザギザが生じる。この場合、MVの垂直成分は奇数画素(走査線)になり得ない。また、(後述のように)半画素精度にもならない。したがって、この特異性を考慮して符号語を割当てれば、可変長符号化の原理から、ビット数の低減につながる。因みに、現在の標準化では、この特異性を考慮せずにはほぼ均等な分布を仮定して割当てられている。

ただし、画像中に特徴点の乏しい平坦ブロック(空や白壁など)では、図1のようなギザギザは発生しないから、MV垂直成分が奇数の場合もあり得る。しかし、この場合は、ゼロベクトル優遇¹⁾により、MV=0(偶数)となる場合が多く、奇数となる場合の数はさらに減る。

さらに、ギザギザの発生する領域では、フレーム予測の半画素精度はあり得ない。垂直成分を半画素精度で得るには、参照フレームにおいて垂直方向に2走査線間で内挿したフレームを構成する必要がある。これを図2に示す。こ

2003年1月28日受付、2003年4月28日再受付、2003年6月6日採録

[†] 東京工科大学 工学部 情報通信工学科

(〒192-0982 八王子市片倉町, TEL 0426-37-2494)

[†] Tokyo University of Technology

(Katakura, Hachioji, Tokyo, 192-0982, Japan)

(a) 単純SAD(ゼロベクトル優遇なし)の場合

(b) ゼロベクトル優遇の場合

図3 [MV垂直成分=奇数]のブロックの分布

(flower garden #000-#001)

(奇数となるブロックを黒で示す. このように, 極めて少ない)

Distribution of blocks with odd vertical MV components.

(a) SAD without zero-vector preference, (b) SAD with zero-vector preference

(a) 単純SAD(ゼロベクトル優遇なし)の場合

(b) ゼロベクトル優遇の場合

図4 [MV垂直成分=奇数]のブロックの分布

(table tennis #066-#067)

Distribution of blocks with odd vertical MV components.

(a) SAD without zero-vector preference, (b) SAD with zero-vector preference

(a) 前画面

(b) 内挿した前画面

図2 半画素精度探索のための垂直内挿
vertical interpolation for half-pel MV search.

(a) previous picture, (b) inserted picture

のように, 内挿された画像は現画像と大きく異なるため, 後述の差分絶対値和SADは小さくなり得ない.

3. シミュレーション結果

本稿では, MV探索法として, 周知のブロックマッチン

グ法を想定し, 差分絶対値和SAD,

$$SAD(\xi, \eta) = \sum \sum |f_n(x, y) - f_{n-1}(x - \xi, y - \eta)|$$

が最小となる偏倚 (ξ, η) をMVとする. ここに, x, y は水平, 垂直アドレス, $f_n(x, y), f_{n-1}(x - \xi, y - \eta)$ は, それぞれ符号化フレームおよび参照フレームであり, $\sum \sum$ は x, y についての f_n におけるあるブロック内での総和である.

ITU標準画像のうち, 水平移動の多いflower gardenと, テクスチャの関係が複雑なtable tennisを用いて, [MV垂直成分=奇数]となるブロックを求めた. それらを図3, および, 図4に黒く示す.

ゼロMV優遇のない場合には, 1,350ブロック中, 図3(a)では77個(5.6%)のブロックでのみ, また, 図4(a)では96個(7.1%)のブロックでのみ, 奇数となっている. さらに, ゼロMV優遇を行う場合(図3(b), 図4(b))は, 各々, 20

(a) Flower garden (#000-011)

(b) Table tennis (#060-071)

図5 [MV垂直成分=奇数]のブロックの個数(1350ブロック中)

●ゼロベクトル優遇なし ■ゼロベクトル優遇(-100)あり

(フレーム番号は、(前フレームではなく)現在のフレーム)

Number of blocks of odd vertical MV components (in 1350 blocks).

●SAD without zero-vector preference

■SAD with zero-vector preference

個(1.5%), および, 70個(5.2%)に減少している. また, これらを含む連続するフレームにわたって調べた結果を図5に示す.

なお, 使用したテスト画像(特に, 図3右辺)では, 画面左右辺に不完全ブロック(ブロックが画像のみからなっていない)があり, ここではMV垂直成分=奇数となるものが多く発生した. データとしては問題があるが, そのままにした.

4. MV垂直成分の特異性の吟味

画像は複雑なので, 特異性の条件を一義的に述べることは困難である. ここでは, 画像の大まかな状態を幾つかに分類し, 幾つかの動きに対してどうなるかを吟味する.

(1) 完全に平坦な画像領域の場合

MVは画像に混在する雑音によって決る. したがって, MV垂直成分が奇数になる場合と偶数になる場合の数はほぼ等しい. しかし, ゼロMV優遇で0(偶数)となる. 図3(a)の空の領域はかなり平坦なので, MV垂直成分が奇数となるブロックが幾つか発生しているが, ゼロMV優遇により, 図3(b)では大幅に減少している.

(2) 垂直エッジの場合(水平スロープや垂直縞模様を含む. 以下同様)

この画像領域では, 水平移動の場合は, 図1から明らかである. 斜め方向の動きに対しても, 水平移動成分があるので同様である. 上下移動に対しては, ブロック内に関する限り静止である. 雑音によってMVが発生するが, 結果は平坦な場合と同様になる.

(3) 水平エッジの場合

水平移動では上記と同様静止と見なされる. 問題は上下運動の場合である. この場合には, ギザギザは存在しない. 飛越走査と絡んで複雑なパターンとなるが, 奇数走査線だけ移動する場合には[MV垂直成分=奇数]となり得る. 斜め移動に関しても同様である.

(4) 斜めエッジの場合

移動量が小さくない限り水平移動や上下移動によってギザギザが発生する. 斜め移動の場合, 輝度勾配方向(スロープ方向)の移動では, 水平移動や上下移動の場合と同様である. また, 輝度勾配の直交方向(法線方向, 等輝度レベル方向)の移動では, ゼロベクトル優遇により静止と見なされる.

(5) 複合的なパタンの場合

上記の混合型になり, 一般的な議論は難しいが, どれかの成分が寄与してギザギザが発生し易くなる傾向にある.

(6) その他の場合

水平エッジにおいて上下や斜めに移動する場合, [MV垂直成分=奇数]もあり得る. 図3では, 左上で奇数となっているブロックがあるが, これは, 水平の木の枝が移動しているためであろう.

図4では, ブーミングによってマクロにはMVは放射状になっている. したがって, 水平方向中央部(手の上下)では, 上下移動になってきている. しかし, MV垂直成分が奇数となるブロックが少ない. これは, 背景の壁の模様による斜め複合成分があるためだと推察される. 卓球台は平坦のように見えるが, 緩やかな輝度勾配があり, ゼロMV優遇では必ずしも救済できなかった. しかし, 平坦に近いので, 垂直成分を偶数に統合しても, SADあるいは予測誤差の増加は, (ゼロMV優遇の趣旨と同様)軽微である.

(7) 例外的な場合

参照フレームと現フレームの間で動き方向の逆転が起これば, その瞬間のみ本稿で指摘した特異性は逆転する. 例えば, 参照フレームで右へ移動した剛体が, 現フレームで急に左へ動けば, 図1に示すギザギザの第1/第2フィールドとの関係が, フレーム間で逆転する. この結果, 垂直成分は奇数になる.

ただし, 現実には稀であり, また, このように例外的な動きの場合には, フィールド予測が採用されよう.

5. その他の若干の考察

(1) MV垂直成分の表現の統一

フィールド単位の予測の場合のMVは何れもフィールド内での走査線数で表している。フレーム予測で、偶数に統一してこれを単位として表すことは、フィールド単位の予測の場合と等しい垂直距離を同じ数値で表す。したがって、この方が統一性があると言える。

(2) 予測モード選択の基準性

予測方法の何れのモードを採るかは、符号器設計者の決める所であるが、本提案を採用することにより、MVが1本でよいフレーム予測が有利となる範囲が原理的に広がる。

(3) ゼロMV優遇のための差引き数

一般に、ゼロベクトルを優遇するため、偏倚0の場合、絶対差分値和SADから一定数(例えば100)を差引くことが行われている。本シミュレーションではこの値に従った。しかし、フレーム予測において1ブロック $16 \times 16 = 256$ 画素の総和において100を減ずるということは、1画素当り0.4レベルである。画像信号の振幅256レベルに較べて、極めて小さく、高S/Nの画像信号でのみ意味を持つ。

現実には、MV探索のための参照画像は量子化済みであり、量子化歪みを有している。したがって、S/Nは必ずしも高くはない。100を採用した経緯は定かではないが、以上のことを考えると、この2~5倍程度でも良いのではないか。また、フィールド予測ではなくフレーム予測の場合には、画素数が2倍なので、2倍にする妥当性が納得される。

(4) MV探索ステップ数の削減

MVの垂直成分を偶数のみに限定する場合、探索ステップ数は当然のことながら半画素精度の場合の1/4になり、符号器設計に極めて有利となる。

(5) 走査方式の将来の発展統合

本稿の特異性は、通常の飛越走査では成立つが、順次走査30Pを“2-2プルダウン”して変換した飛越走査⁴⁾では成立たない。この場合、全ブロックでフレーム予測とフレームDCTが有利になる。そのため、区別が重要になり、信号にflagを立てる等が望まれる。これは、本提案のほか、[飛越→順次]走査変換にも有効である⁵⁾。

6. む す び

飛越走査信号に対するフレーム予測の動きベクトル(MV)

のうち、垂直成分には奇数画素の場合が極めて少ないことを予見して、これを定性的に説明し、さらに、計算機シミュレーションにより検証した。その結果、平坦な画像領域では奇数画素となる場合は数%程度あり、さらに通常行われているゼロベクトル優遇を行うと、この特異性はさらに顕著となることが実証できた。

これまでも「MVデータ量の低減が符号化効率向上に有効である」と経験的に言われてきた。本稿に示された「分布の特異性」を符号語構成に適用すれば、可変長符号化の原理から、符号化効率は向上する。

MV情報低減には、MVが1本でよいフレーム予測が有効であるが、上記によってMV垂直成分のデータ量を削減できるのでフレーム予測有利の範囲が拡大し、両者相まって符号化効率が改善できると期待できる。これらの定量的評価は今後の課題である。

なお、図3および図4よりわかるように、奇数となるのは平坦領域が多い。そこで、0ベクトル優遇の根拠と同様、これを偶数に併合してもSADの増分は少なく、探索範囲を垂直偶数画素に限定できると期待される。これにより、MV探索の簡単化や処理ステップの低減が可能である。

この提案は、最近の傾向である「MV画素精度の高精度化」に結果的に逆行することにもなり、将来方向に関して示唆を与えらると思う。

MPEGの検討経過等についてご教示下さった、早大渡邊裕氏と日立中屋雄一郎氏に感謝します。

〔文 献〕

- 1) ISO/IEC-JTC1/SC29/WG11: "The Test Model 5" (1993)
- 2) 吹抜敬彦: "ペナルティ関数の導入による動きベクトル無意成分の抑圧", 映情学冬季大, 1-6 (Dec. 1997)
- 3) 吹抜敬彦: "動きベクトル垂直分布を考慮したフレーム間符号化の効率化", 映情学年次大, 12-2 (Aug. 2002)
- 4) 吹抜敬彦: "画像・メディア工学", コロナ社, pp.9-10 (2002)
- 5) 影山昌広, 吉木宏, 吹抜敬彦: "第2世代EDTVに適したフィルムモード信号処理と画質評価実験", 映情学誌, 51, 1, pp.105-112 (Jan. 1997)

吹抜 敬彦 1959年、京都大学電子工学科卒業。1961年、同大学修士課程修了。1961年～1995年、日立中研。1968年より、画像信号処理(高能率符号化、高精細化、テレビ方式)の研究に従事。1995年、東京工科大工学部情報通信工学科教授。本会功績賞、業績賞、著述賞、論文賞、信学会業績賞、著述賞、科技厅長官賞などを受賞。信学会およびIEEE各フェロー、工学博士、名誉会員。