

インターレース対応動き補償予測方式
"Dual-prime"

尾高敏則、山影朋夫、山口昇

(株)東芝 研究開発センター 情報通信システム研究所

インターレース信号に対する動き補償予測における予測効率の向上を目的として提案したDual-prime予測モードについて述べる。Dual-prime予測モードは、2フィールドで構成される参照画像をもとに予測画像を作成する際、予測画像の垂直解像度を向上させる作用と予測画像に時空間ループフィルタを施す作用とを適応化させて、予測効率の向上を狙ったものである。また、その適応化を少ない動きベクトル情報量を用いて簡単なハードウェアで実現している。本方式は、参照画像と符号化対象画像との間にB-pictureを含まない場合に限り、近く標準化されるMPEG2における予測モードの一つとして採用される。

A motion compensated prediction
method for interlaced image
"Dual-prime"

Toshinori Odaka, Tomoo Yamakage, Noboru Yamaguchi

Communication and Information Systems Laboratories
Research and Development Center, Toshiba Corporation

This paper describes Dual-prime prediction method, proposed to increase prediction efficiency for interlaced image. This method adaptively applies two operations, increasing vertical resolution and spatio-temporal loop filtering, in making prediction signal from two field reference pictures. These operations are realized by simple hardware, controlled by a small amount of motion vector information. It has been decided that this method is included as one of the prediction modes in MPEG2, only when B-picture is not included between reference picture and predicted picture.

1. まえがき

現行放送並の画質を維持し、広範囲の応用分野（蓄積、放送、通信）に適用可能な動画像符号化方式MPEG2の標準化作業がほぼ終了した。本標準化における一つのポイントは、インターレース信号に対する効率の良い符号化方式の実現にあった。

本報告では、近く勧告化されるMPEG2規格においてインターレース信号に対する予測方式における一つの予測モードとして採用されるDual-primeについて説明する。

まず2章において、動き補償予測効率向上に関する簡単な考察を行い、Dual-prime方式提案に至る基本的な考え方を述べる。3章ではMPEG2におけるインターレース対応基本方式を説明し、4章でDual-prime予測モードの詳細を説明する。5章でその性能評価結果を示すとともに、6章で必要なハードウェア量について簡単に触れる。

2. 動き補償予測効率向上に関する考察

動き補償予測における予測効率向上の重要なポイントとして、動きベクトル精度の向上と最適予測フィルタの適用の2点が挙げられる。

予測フィルタの最適パラメータは、参照画像の信号スペクトルと、符号化雑音スペクトルに依存する。前者は画像の内容により変化し、後者は量子化パラメータに依存するため、適応化が必要である。

以下にノンインターレース信号に対し、これまで採用された方式の例について触れ、次にこれをインターレース信号に拡張する方法の考察を行う。

2.1 ノンインターレース信号に対する動き補償予測

(1) H. 261

動きベクトル精度は整数精度である。3タップの2次元ループ内フィルタを適応的に適用することにより予測効率を向上させている。

(2) MPEG1

動きベクトル精度は1/2精度であり、H. 261に比較し動きベクトル精度が向上している。ループ内フィルタは組み入れられていないが、動きベクトル

ル水平/垂直成分が1/2画素精度の点を指し示す場合、水平/垂直方向それぞれに2タップのループフィルタとして作用すると考えられる。従って動きベクトル精度向上による予測信号精度向上と、ループフィルタによる符号化雑音制御を、動きベクトル情報を用いて同時に実現していると解釈出来る。

2.2. インターレース信号に対する動き補償予測

インターレース信号の時間垂直空間でのサンプリング構造は、そのスペクトルの時間周波数軸での広がり（動きの程度）と、垂直周波数軸での広がり（垂直解像度）とのトレードオフが可能なサブナイキストサブサンプリング構造をとっている。

従って、隣接する2フィールドを用いて動き補償予測を行う場合、基本的には以下の二つの方法を適応的に適用することが有効である。

(a) 静止状態で、垂直解像度の高い信号の場合、2フィールドを重ね合わせ垂直解像度を向上させた参照画像に対し精度の高い動きベクトルを用いた動き補償予測を行う。

(b) 動きが激しく変形を伴い、垂直解像度が低い信号の場合、符号化対象画像に近い1フィールドから動き補償予測を行う。

これら二つの中間的な性質の信号に対応するために、さらに以下の方法を適応的に適用することによりさらに予測効率が向上すると考えられる。

(c) 動きがあっても、垂直方向の動きがわずかで垂直解像度が保存されている場合、動きに沿って2フィールドを重ね合わせることにより、予測信号の垂直解像度の向上が期待できる。

(d) 動きがあって、垂直解像度が低い場合でも、変形を伴わなければ、2フィールドの信号を動きに沿って平均化することにより、時間方向ループフィルタ作用により、予測効率の向上が期待できる。これはMPEG1における前後フレームからの平均値予測における符号化雑音低減の効果を、片方向からの2フィールドの平均値で実現することに相当すると考えられる。

以上の(a)及び(b)に対応するのがMPEG2における基

本予測方式のframe及びfield予測モードであり、(c)に相当する垂直解像度向上作用と(d)に相当する時間方向ループフィルタ作用を、MPEG1と同様な動きベクトル情報を用いて制御する空間方向ループフィルタ作用と併せて適用し、予測効率の向上を図るのが4章で説明するDual-prime予測モードである。

3. MPEG2インターレース対応基本方式

MPEG2はフレーム単位でIBP予測構造を有するMPEG1を基本としている。インターレース信号の場合、各フレームは隣接する2フィールドで構成されるため、隣接する2フィールドで構成される参照フレームから、隣接する2フィールドで構成される符号化対象フレームへの予測と予測誤差信号の符号化がなされる。

MPEG2では、インターレース対応予測方式として、以下に示す2種類の予測モードをマクロブロック単位に適応的に切り替えることを基本的に導入している。

(1) Frame予測モード

MPEG1と同様に2フィールドを重ねた符号化対象

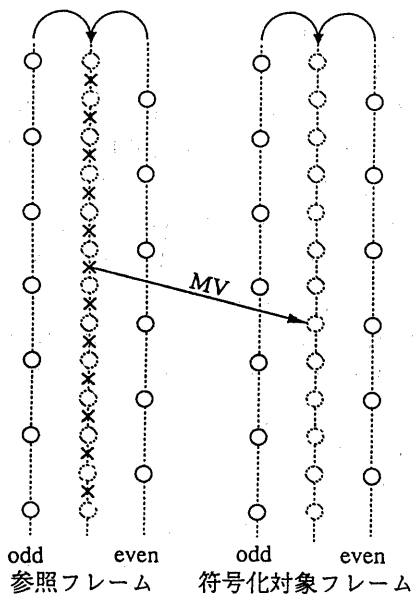


図1 Frame予測モード

フレームに対し、2フィールドを重ねた参照フレームから、フレーム内で1/2画素精度の動き補償予測を行うモード。

(2) Field予測モード

符号化対象フレームを構成する2フィールドそれぞれに対し、参照フレームを構成する2フィールドのいずれか一方のフィールドからフィールド内で1/2画素精度の動き補償予測を行うモード。

図1及び図2に各予測モードを図示する。また予測誤差信号の符号化についても、以下に示す2種類のDCT符号化モードをマクロブロック単位に適応的に切り替えることができる。

(1) Frame DCTモード

MPEG1と同様に予測誤差信号に対するDCTを2フィールドを重ね合わせたフレームに対して施す。

(2) Field DCTモード

予測誤差信号に対するDCTを各フィールド独立に施す。

なお、符号化対象フレームの符号化に際しフィールド毎にマクロブロックを構成し、第1フィールドを符号化後、第2フィールドを符号化することも可能である。同一フレーム内の第1フィールドを第2フィールドの符号化に対する参照信号と

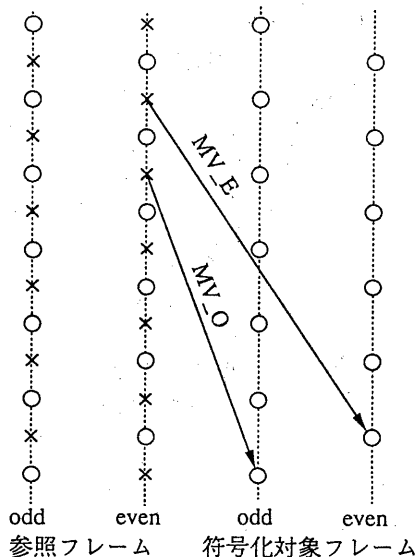


図2 Field予測モード

することが出来、画面全体に渡って動きの大きな画像について予測効率が向上する。この場合、符号化対象フレームは（2枚の）Field pictureと呼ばれる。これに対し前述の符号化対象フレームはFrame pictureと呼ばれる。Field pictureの場合、予測モードはField予測モード、DCT符号化モードはField DCTモードのみに限定される。

4. Dual-prime予測モード

4.1 方式概要

本予測モードは、Frame-pictureの場合、符号化対象フレームを構成する2フィールドそれぞれに対し、参照フレームを構成する各フィールドから、フィールド内で1/2画素精度の動き補償を行って作成する二つの予測信号の平均値を実際の予測信号とする予測モード（Dual field予測モード）にお

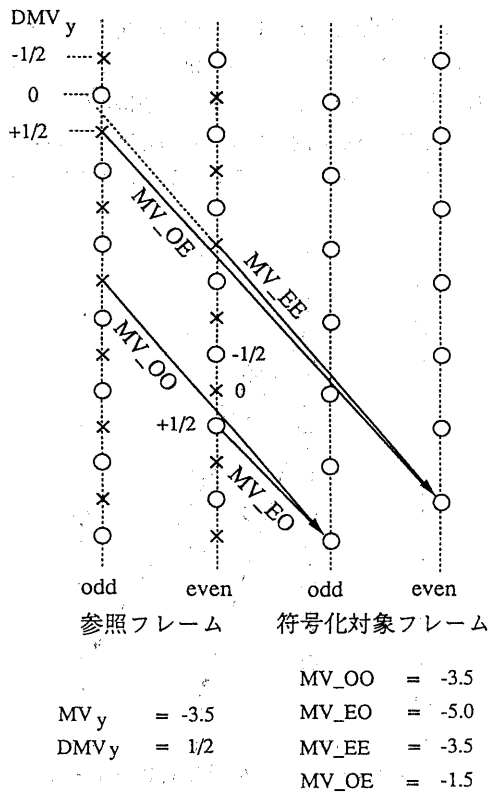


図3 Dual-prime予測モードとその動きベクトル

いて、必要な4本の動きベクトルの取り得る値を、図3に示すように、参照フレーム、符号化対象フレームで動きがほぼ直線上の場合に対応する値に制限し、動きベクトル情報量を低減させた方式である。すなわち、動きに関して伝送する情報は、一本の1/2画素精度フィールド動きベクトルMVと、水平、垂直方向ともその値が0, +1/2, -1/2に制限された一本の微小差分ベクトルDMVのみとし、復号時に必要な4本のフィールド動きベクトルのうち、同相フィールド間の二つの動きベクトルである MV_{EE} , MV_{OO} については、伝送されたフィールド動きベクトルMVとし、逆相フィールド間の動きベクトルである MV_{EO} , MV_{OE} については、MVをフィールド間距離に応じてスケールしたベクトルに対し微小差分ベクトルDMVを加えた値とする。

Field-pictureの場合は、符号化対象画像が1フィールド、参照画像が2フィールドであり、復号に必要な2本の動きベクトルを同様に一本のフィールドベクトルMVと微小差分ベクトルDMVとで伝送する。

4.2 作用

本予測モードによる実現される作用は以下の通りであると考えられる。

(1) 垂直解像度向上

参照フレームを構成する2フィールドのうち、一方のフィールドのみでは、垂直方向周波数成分について折り返しを含み、各フィールドにおける走査線の垂直方向での位置が、垂直方向の動きに沿った線上で一致しない場合、各フィールドから作成される予測信号の平均処理により、2.2章(c)に相当した折り返し成分の除去と垂直解像度の向上が可能となると考えられる。この場合、平均処理の対象となる各参照フィールドからの動きベクトル垂直方向成分が、両フィールドとも整数精度の点（走査線上の点）となる。

(2) 時空間ループフィルタ作用

参照フレームを構成する2フィールドのうち、一方のフィールドのみでも垂直方向周波数成分についての折り返し成分が少ない場合、各フィールド

から作成される予測信号の平均値処理が、2.2章(d)に相当する時間方向ループフィルタとして機能すると考えられる。

ここで、平均処理の対象となる各参照フィールドからの動きベクトル垂直方向成分が、両フィールドとも整数精度の点(操作線上の点)の場合は、時間方向ループフィルタとしての作用が主であるが、垂直方向で1/2画素精度の点が増えるほど空間フィルタの作用が加わると考えられる。

以上のように、本予測モードは、一本のフィールドベクトルMVと微小差分ベクトルDMVにより、垂直解像度の向上と時空間ループフィルタ作用の適応化を実現することが可能となる。

4.3 動きベクトル(MV, DMV)探索方法

動きベクトルの探索アルゴリズムは規格化の範囲外であるが、規格検討時に用いられたテストモデルにおいては以下の2ステップでDual-prime予測モードに必要な動きベクトルの探索を行っており、次章の評価実験においても本方法を用いている。

(1) 第1ステップ

各符号化対象フィールドに対する各参照フィールドからの4本(Field-pictureの場合は2本)の動きベクトルを1/2画素精度で独立に探索する。

(2) 第2ステップ

第1ステップで独立に探索した4本(2本)の動きベクトルを、それぞれフィールド間距離を考慮してスケージングし、MVについての4通り(2通り)の候補を求める。DMVの候補は取り得る9通りのベクトルを候補とする。各候補を用いて作成するMVとDMVの36通り(18通り)の組み合わせの中から、予測誤差信号を最小とするMVとDMVの組み合わせを局部復号信号を用いて探索する。

第1ステップはField予測モードにおける動きベクトル探索と共用出来るため、Dual-prime予測モードを加える際に新たに必要な探索は第2ステップのみである。

第2ステップにより、第1ステップにおいて折り返しを含んだ信号で探索することにより生じる誤差の補正、及び復号信号を用いることによる符

号化雑音を考慮した時空間ループフィルタ特性の最適化が可能となると考えられる。

5. 評価実験

5.1. 評価実験(1)

まず、前章で説明したDual-prime予測モードの作用を確認するための実験を行った。Dual-prime予測モードを組み込んだテストモデル(TM2)において、各画像シーケンスで符号化レートが約4Mbpsとなる量子化ステップサイズに固定し、Frame-picture(M=3、MはテストモデルのパラメータでP-picture間のフレーム間距離)で予測方式としてFrame、Field予測モードをマクロブロック単位に適応化した基本方式とした場合と、さらにDual-prime予測モードをも含めて適応化した改善方式とした場合とについて、符号化結果のうち以下に示す項目について比較を行った。

なお、MPEG2の規格においては、符号化対象フレームがP-pictureで、かつ参照フレームと符号化対象フレームとが隣接している場合にのみ、Dual-prime予測モードの適用が許される。ただし、規格化の過程ではB-pictureに対して適応することも含めて検討がなされたので、ここではB-pictureに対する評価結果も含めて示す。

(1) 発生符号量

表1に画像FlowerのP-picture、B-picture各1フレーム(BBIBBP..における、第6,4番目のフレーム)におけるDCT係数符号量、動きベクトル符号量、全符号量を2方式で比較した結果を示す。表1より、改善方式は、P-pictureにおいて、基本方式に比較し、動きベクトル符号量を増大させず、DCT係数符号量、全符号量を20%程度減少させていることが確認できる。B-pictureにおいては、10%程度の全符号量減少に留まっており、特に係数符号量の減少は少ない。これは、ハードウェア量を考慮しDual-primeモードにおいては前後フレームからの平均値予測を禁止していることが一つの要因であると考えられる。

(2) 各予測モード選択の割合

表2に、基本方式、改善方式それぞれにおいて、P-pictureで各予測モードの選択された割合を、3種類の画像 (Flower, Mobile, Bicycle) について示す。表より、いずれの画像においてもDual-prime予測モードを加えることにより、かなりの割合のマクロブロックがFrame, Field予測モードからDual-prime予測モードに変化することがわかる。特に動きが一様であるFlowerにおいては、全体の7割以上がDual-prime予測モードとなる。動きが激し

く複雑なBicycleにおいてはField予測モードが多くなるが、それでも4割弱がDual-prime予測モードとなるのがわかる。

また表2におけるD2, D3, D4は、Dual-primeモードにおける垂直解像度向上と時空間フィルタ作用との適応性を確認するために、Dual-prime予測モードのクラス分けを行った結果である。各マクロブロックのそれぞれの符号化対象フィールドについて、参照フィールドからの2本の動きベクトル垂直方向成分が、両フィールドとも整数精度の点(走査線上の点)の場合はD2へ、一方のフィールドで1/2画素精度の点の場合はD3へ、両フィールドとも1/2画素精度の場合点の場合はD4へ分類したものである。表2よりFlower, Mobileに比較して動きが激しく解像度が低いBicycleでは、時空間フィルタ作用の強いD3, D4の割合が多いことがわかる。

(3) 各予測モードの分布

図4は画像FlowerのP-pictureにおける予測モードの分布を、基本方式と改善方式のそれぞれについて図示したものであり、絵柄により各予測モードが適切に選択されているのが確認できる。

Dual-Prime予測モードとなった部分のうち、花畑においては垂直解像度向上のため、D2が多く選ばれ、解像度の低い空、動きの激しい木の幹ではD3, D4の選択が増えている。また、動きが一様でない木の幹のエッジ、屋根のエッジ、木の小さな枝ではField予測モードが多く選択され、特にアンカバードバックグラウンドのある木の幹のエッジではIntraモードも選択されている。

表1 各予測方式における発生符号量 (bits)

(a) P-picture

	COEF.	MV.	Total
Fr./Fi.	170,963	19,380	211,369
Fr./Fi./D-p.	130,391 (-19.2%)	16,477 (-1.4%)	167,096 (-20.9%)

(b) B-picture

	COEF.	MV.	Total
Fr./Fi.	26,189	24,374	65,400
Fr./Fi./D-p.	24,464 (-2.6%)	19,957 (-6.8%)	59,312 (-9.3%)

表2 各予測モード選択の割合 (P-picture) (%)

(a) Flower Garden

	Fr.	Fi.	Itr.	D-p. (D2, D3, D4)
Fr./Fi.	37.3	58.2	4.5	
Fr./Fi./D-p.	7.5	14.9	4.1	73.6 (58, 30, 12)

(b) Mobile and Calender

	Fr.	Fi.	Itr.	D-p. (D2, D3, D4)
Fr./Fi.	44.3	51.4	4.3	
Fr./Fi./D-p.	19.5	28.0	3.9	48.6 (53, 37, 10)

(c) Bicycle

	Fr.	Fi.	Itr.	D-p. (D2, D3, D4)
Fr./Fi.	12.0	77.5	10.4	
Fr./fi./D-p.	5.1	47.4	9.1	38.3 (19, 50, 31)

5.2 評価実験(2)

次に各画像シーケンス (2sec) に対し、テストモデル(TM2)を用い、レート制御(4Mbps)をかけて符号化した際のシーン全体のY信号SNRを、Frame-picture (M=3, 1)及びField-picture (M=2, 1)の場合について測定するとともに復号画像の主観評価をおこなった。

表3にSNR測定結果をまとめて示す。表3よりFrame-picture、Field-pictureともにB-pictureを含まないM=1の場合にDual-prime予測モードの効果が

高く、効果の最も顕著なFlowerの場合、そのSNR改善量はFrame-pictureで+1.4dB程度、Field-pictureで+1.1dB程度であった。また主観評価の結果、Flower、Mobileについては、Dual-prime予測モードを追加することによる画質改善が主観的にも認められた。

6. ハードウェア量

Dual-prime予測モードにおいては、符号化対象画像に対する参照画像の読み出しが他の予測モードの2倍となる。従って前章での評価実験においてB-pictureに対してDual-primeモードを適用した時は、前後フレームからの平均値予測を禁止した。P-pictureに対する片方向からの2フィールドの平均はB-pictureにおける前後2画面の平均値処理と同一のハードウェアを使用して実現できる。

表3 各予測方式におけるY信号SNR [dB] (4Mbps)

(a) Frame picture, M=1

	Flower	Mobile	Bicycle
Fr./Fi	28.29	25.71	27.43
Fr./Fi./D-p.	29.66 (+1.37)	26.38 (+0.67)	27.94 (+0.51)

(b) Frame picture, M=3

	Flower	Mobile	Bicycle
Fr./Fi	29.86	27.88	27.45
Fr./Fi./D-p.	30.48 (+0.62)	28.22 (+0.34)	27.77 (+0.32)

(c) Field picture, M=1

	Flower	Mobile	Bicycle
Fi	27.55	24.65	27.48
Fi./D-p.	28.63 (+1.08)	25.25 (+0.60)	27.87 (+0.39)

(d) Field picture, M=2

	Flower	Mobile	Bicycle
Fi	29.12	26.20	27.85
Fi./D-p.	29.76 (+0.64)	26.68 (+0.48)	28.05 (+0.20)

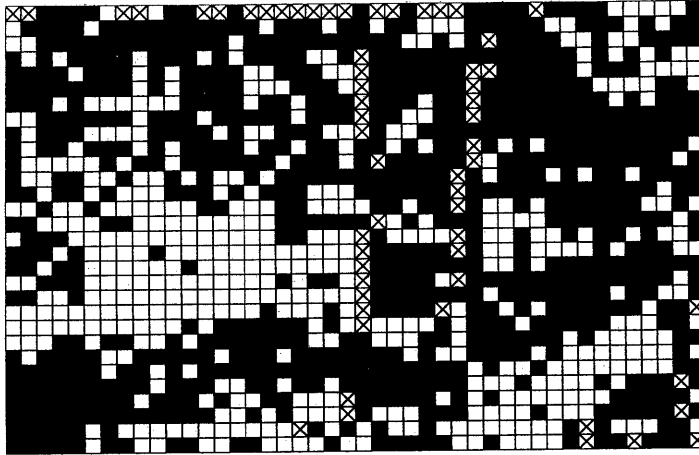
また動きベクトルスケーリングのために乗算が必要であるが、本演算をシフト演算と加算の4回程度の組み合わせで近似しても効率低下は無視できる程度であった。(0.05dB以下)。なお、実際に規格に採用された範囲では、スケーリング係数は1/2と3/2のみであり、1回のシフト演算と加算で誤差無しに実現できる。

動きベクトル探索に必要な演算は標準外の項目であるため種々の方法が考えられるが、4.3章に示したテストモデルに従った方法では、第2ステップのみの演算が新たに必要である。なお、4.3章の方法において、第2ステップのMV候補を第1ステップで同相フィールド間で得られる一つの候補に絞った場合、第2ステップでの探索回数は9回に減少する。この場合、前記3種類の画像において、テストモデルの方法と比較したY信号SNR低下は0.1dB以下に留まった。

7. まとめ

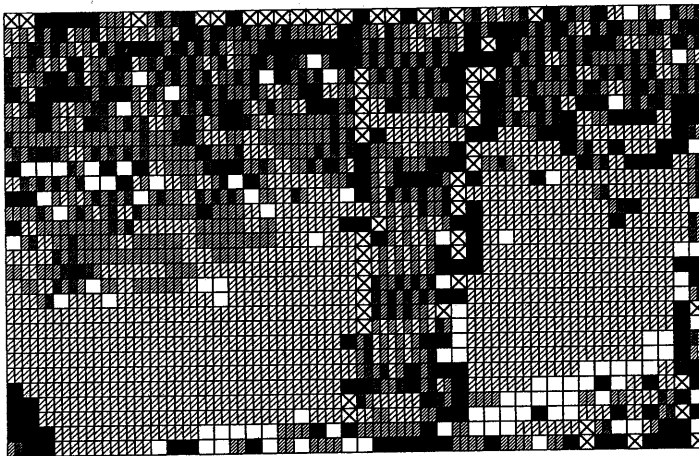
インターレース信号に対する動き補償予測方式であるFrame/Field適応予測方式の効率を改善する予測モードとしてDual-prime予測モードを提案しその評価を行った。

本方式はインターレース信号に対する垂直解像度向上と時空間ループフィルタ作用の適応化を、特別なハードウェアを用いず、動きベクトル情報にて実現することを特徴としており、その適応化作用を実験的に確認するとともに、その効果を主観評価も含めて確認した。本予測モードはMPEG2規格化作業において、複数の参加機関によりその効果が確認され、最終的に改善効果が大きく、動きベクトルのスケーリング演算がハードウェアで容易な場合である、符号化対象フレームがP-pictureで、参照フレームと符号化対象フレームとが隣接している場合に限って、規格に採用されることとなった。従ってB-pictureと併せて適用することは出来ないが、B-pictureを適用しない場合に画質向上の一要素として適用することが可能である。



- ...Frame予測モード
- ...Field予測モード
- ⊗...Intraモード

(a) Frame/Field 適応予測モード



- ...Frame予測モード
- ...Field予測モード
- ⊗...Intraモード
- ▨...Dual-prime予測モード
- Even field
- Odd field
- ▧...D2
- ▩...D3
- ...D4

(b) Frame/Field/Dual-prime適応予測モード



(c) 符号化画像

図4 予測モードの分布 (Flower Garden)

参考文献

1. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N0702 "ISO/IEC 13818-2 Draft International Standard"
2. 井上、他：“インターレース画像における動き補償方式”、1992 信学春全大 D-305
3. 坪井、他：“適応ライン補間フィールド間動き補償方式の検討”、PCSJ90、8-1
4. 尾高、他：“インターレース画像に対する適応動き補償予測の一方式”、PCSJ92、5-13