

参照画像を順次走査化する飛越し走査画像符号化手法

杉山賢二 *1 小原 剛 *2 半谷精一郎 *2

*1 日本ビクター(株)コア技術研究所 *2 東京理科大学 工学部 電気工学科

*1: 〒238-8550 神奈川県横須賀市神明町 58-7, TEL: 0468-36-9275, k-sgym@krhm.jvc-victor.co.jp

*2: 〒162-8601 東京都新宿区神楽坂 1-3, TEL: 03-3260-4271, hangai@ee.kagu.sut.ac.jp

あらまし：デジタル放送では、動画像フォーマットとして飛越し走査のほかに順次走査画像も用いられる。一方、広く普及している受像機は飛越し走査であり、HDTVの場合も飛越し走査が多い。そこで、供給画像として順次走査画像と飛越し走査画像の両方が使え、再生画像は飛越し走査とする動画像伝送システムを提案する。本報告では、飛越し走査画像に対する符号化方式として、画像間予測処理の参照画像となるP(I)ピクチャーのみを順次走査に変換して、すべての画像間処理を順次走査で行う符号化手法を検討する。MPEG-2の順次走査符号化に上記手法を適用し、飛越し走査画像を直接符号化する従来方法より有利なことを示す。

キーワード：インターレース走査，プログレッシブ走査，MPEG-2，動画像符号化

Coding Scheme for Interlaced Scanning Pictures Using Progressive Conversion of Reference Pictures

Kenji Sugiyama *1 Gou Obara *2 Seiichiro Hangai *2

*1 Victor Company of Japan, Limited *2 Science University of Tokyo

*1 58-7, Shinmei-cho, Yokosuka-shi, Kanagawa 239-8550 Japan, k-sgym@krhm.jvc-victor.co.jp

*2 1-3, Kagurazaka, Shinjuku-ku, Tokyo 162-8601 Japan, hangai@ee.kagu.sut.ac.jp

Abstract : In digital broadcast, many kind of picture format are used. However, interlaced scanning TV receiver is still used in most homes. We have thus developed a broadcast system that uses common bit stream for the 480i and the 480p formats as a source picture and the 480i format for the receiver. We take new coding for the 480i pictures which include a conversion from interlaced scanning to progressive scanning of the P and I-picture only. We discuss a scanning conversion and use motion compensated adaptive interpolation. Experimental results showed that the proposed coding scheme performs better than interlaced scanning coding in MPEG-2.

Key word : Progressive scanning, Interlaced Scanning, MPEG-2, Moving Picture Coding

1. まえがき

デジタル放送では、動画像フォーマットとして飛越し走査のほかに順次走査画像も用いられようとしている。一方、広く普及している受信機は480i専用であり、HDTVの場合も飛越し走査が多い。そのため、放送前または受信機においてフォーマット変換が行われる場合がある。

一方、伝送手段として順次走査での符号化と飛越し走査での符号化を比較した場合、必要符号量は同等である。そこで比嘉らは飛越し走査画像を順次走査変換し、伝送手段として順次走査符号化を用いる手法を提案している。¹⁾しかし、飛越し走査符号化より優れると言う結果ではなく、符号化前の変換は有効でないとの報告もある。²⁾

先に著者らは、供給画像が順次走査画像で、再生画像を飛越し走査画像とする動画像伝送システムを提案し、予測の参照画像とならないBピクチャーで、飛越し走査再生で消失する走査線を符号化対象から除去する手法を提案してきた。³⁾

本報告は、この符号化形態を用いて飛越し走査画像を符号化対象とするもので、参照画像となるP(I)ピクチャーのみを順次走査に変換し、参照とならないBピクチャーは飛越し走査のままとする手法を提案する。この場合、順次走査変換で補間された走査線は、画像間予測でのみ用いられ、最終的には破棄される。

提案手法と従来手法の画像間処理の違いを検討し、順次走査変換では動き補償変換処理の高精度化が重要なことを示す。また、順次走査変換された画像は、元からの順次走査画像より高い空間周波数が少なく、符号化に適することを示す。

MPEG-2の順次走査符号化に上記手法を適用して実験し、480iをそのままMPEG-2で符号化する現状の方法より大幅に有利なことを示す。

2. 画像フォーマットと提案放送システム

デジタル放送では各種画像フォーマットが用いられる。これらは、将来的に高解像度・順次走査のフォーマットに移行する方向であるが、国外での高解像度化が鈍いこともあり、多くの受信機がすぐに上位フォーマットに移行するとは考え難い。当面は、各種フォーマットが混在すると予想される。

一方、伝送効率でみると、順次走査はアナログや非圧縮デジタルの場合に飛越し走査の2倍の帯域(転送レート)が必要になるが、MPEG等のフレーム間予測符号化を行うと必要符号量の差はあまりない。

上記検討を踏まえ、480pと480iの両方を信号源として使用可能であり、共通フォーマットのビットストリームを持ち、復号では480iで再生する動画像伝送系を提案する。その構成を図1に示すが、480p入力には垂直フィルタが施され、480i入力には480pへの変換が行われる。なお、480pの画像レートは毎秒60フレームとする。ここで、480pを信号源とし、480iで再生する符号化手法は提案済みである。今回はこれと互換性のある符号化で、480iを信号源とする手法について検討する。

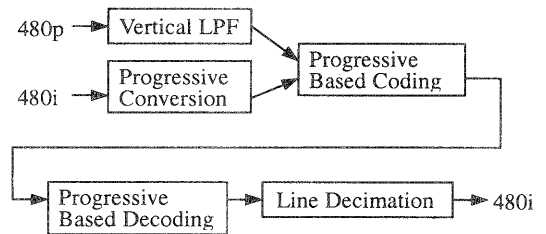


Fig.1 Proposed video transmission system

3. 飛越し走査画像の順次走査変換符号化

3.1 処理構成

双方予測(B)ピクチャーを有する符号化では、Bピクチャーは予測の参照画像とならない。⁷⁾一方、画像間予測処理は順次走査が有利である。そこで、画像間予測の参照画像となる片方向予測(P)ピクチャーや独立(I)ピクチャーのみ順次走査とすれば、画像間予測処理はすべて順次走査状態で行うことができる。

順次走査画像を対象とする手法では、Bピクチャーのみを飛越し走査とした。飛越し走査画像の場合は、逆にP(I)ピクチャーを順次走査画像に変換し、Bピクチャーは飛越し走査のままとする。図2に走査線変換後の画像構造を示す。図中○印は元からの飛越し走査の走査線、△印は順次走査変換で補間される走査線である。

順次走査変換により、Mフィールドに1フィールドで飛越し走査で消失している部分の走査線

が補間される。この補間走査線は、復号化後に飛越し走査に戻される際に削除される。つまり、画像間予測性能を向上させるために、あえて走査線を増加させることになる。この処理の符号化器の構成を図3に示す。

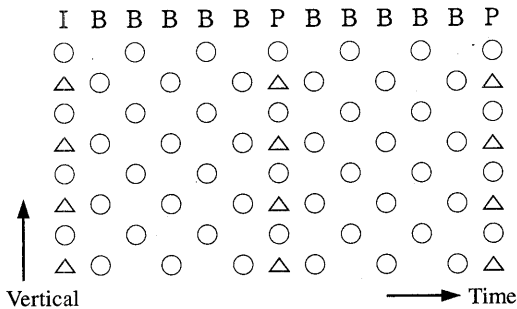


Fig.2 Scanning structure by picture type

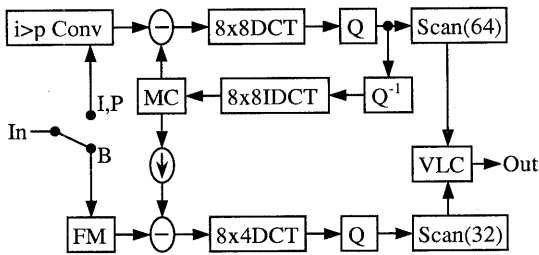


Fig.3 Block diagram of encoder

3.2 順次走査変換

本手法で符号化効率を改善するためには、適切な順次走査画像が形成される必要がある。フィールド内補間では、後の画像間予測が単なるフィールド間予測と等価になり、性能改善が見込まれない。フィールド間とフィールド内の動き適応補間では、画像が僅かに動いただけでフィールド内補間処理となるので、不十分である。

そこでフィールド間補間に動き補償を適用した適応補間を用いる。⁵⁾ この変換手法は次のような特徴を持つ。

- a) 動き補償の適用で増加する誤補間を、動き検出及び動き推定での誤補間の検出で抑えている。
- b) 小ブロック化に伴う動きの誤推定を、周辺マッチング結果の非線形加算で抑えている。

- c) 前後からの内挿補間により垂直方向のベクトル誤差をキャンセルしている。

動き推定範囲は比較的狭く、1フィールドあたり水平±8画素、垂直±2(フィールド)ラインとした。動きが大きな画像は時間積分により解像度が劣るためである。この変換による順次走査画像の再現性は、概ね40dB以上であり、この誤差量は一般的な符号化復号化で生じる誤差よりかなり小さい。

提案手法において、補間画像は予測にのみ用いられ、予測された予測残差は、DCTで符号化され伝送されるので、誤補間がそのまま再生画像とはならない。従って、誤補間による主観画質の劣化はフォーマット変換の場合より許容される。

3.3 画像間予測符号化

順次走査変換後の画像間予測符号化処理は、先に報告した順次走査画像符号化と同じとする³⁾。P(I)ピクチャーが順次走査、画像に対してはBピクチャーが飛越し走査化の共通フォーマットとなる。

1) 画像間予測処理

順次走査化されたP(I)ピクチャーは、MPEG-2の順次走査符号化となる。一方、Bピクチャーは飛越し走査のままなので、MPEG-2の飛越し走査符号化を用いることも考えられる。しかし、本手法では1フレーム内の片方のフィールドのみがP(I)ピクチャーとなるので、P(I)ピクチャー周期(M)が偶数フィールドの場合、フレーム単位で扱うことはできず、奇数の場合でも、フレーム内の偶数奇数が反転するため不都合である。

また、P(I)ピクチャーと共通の処理とすることが望まれる。そこで、すべてのフィールドが順次走査変換して、画像間予測までの処理を順次走査で行い、Bピクチャーの予測残差を飛越し走査に間引けば良い。

2) 予測残差符号化処理

P(I)ピクチャー符号化はMPEG-2順次符号化と同じで、8×8DCTである。Bピクチャー符号化では垂直方向に半分になった8×4DCTを用いる。8×4DCTは、配列変換とゲイン補正を行うことで8×8DCTを用いて実現できる。8×4DCTの量子化マトリックスは、8×8DCTの偶数行目の値を用いた。

4 従来の符号化手法との比較

4.1 予測のみによる符号化との比較

1) 画像間処理形態の違い

飛越し走査画像を符号化する際は、その走査線構造に対応するため、順次走査画像符号化に対して追加機能が必要になる。

MPEG-2等の従来手法は、予測の適応化により対応しており、提案手法は画像自体の順次走査変換でこれを実現している。⁶⁾⁷⁾ 従来手法の場合、予測への追加処理となるため付加情報が必要とする。提案手法の場合は、画像自体を変換しているため付加情報はないが、被符号化走査線自体が増加する。ただし、画像間予測が行われるので情報量は走査線数に比例するわけではない。

動き補償の性能面で見ると、予測では付加情報伝送の必要があるため、小ブロック化や高精度化が難しい。一方、画像自体の変換では付加情報が必要ないので、それらが容易になる。動き補償処理の予測と走査変換での違いを表1に示す。

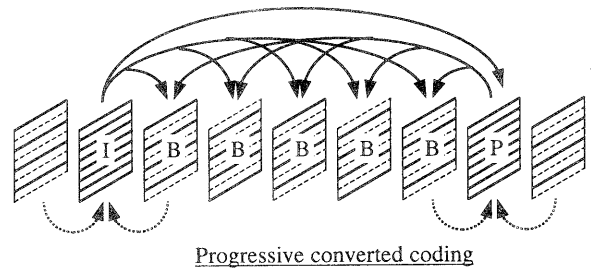
順次走査変換は、画像間予測性能に大きな影響を与えるが、予測符号化のループには入っていない。従って、処理内容を変更しても復号化処理はそのまま、放送実施後に性能改善することも可能である。

2) ピクチャー構成

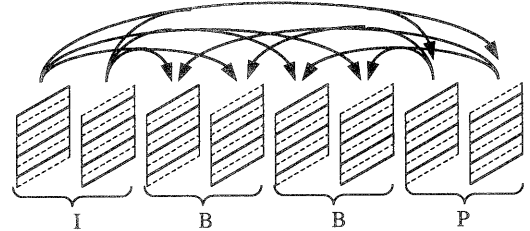
GOP (Group of Picture) 構造を比較すると、図4のように提案手法はBピクチャーが増加することになる。しかし、Bピクチャーの符号量はPピクチャーの3分の1程度であり、順次走査化でPピクチャーの符号量は半減する。従って、Pピクチャーで削減される符号量が、ひとつのBピクチャーの符号量より多く、これだけでも順次走査変換を行った方が有利となる。

Table 1 Motion compensation of prediction and conversion

Item	P-picture	B-picture	Conversion
Size	16×16 / 16×8pel		4×4pel
Accuracy		0.5pel	0.25/1pel
Distance	4~6field	1~5field	1field
Direction	Forward	Bi-direction	Bi-direction
Adaptive	16×16 / 16×8pel		1pel
MV info.	1or2/MB	2or4/MB	None



Progressive converted coding



MPEG-2 Interlaced picture coding (frame picture type)

Fig.4 Comparison of inter-picture processing

3) 走査構造と画像間予測

P(I)ピクチャーを順次化した場合、すべての画像間予測が順次走査状態で行える。飛越し走査との最も顕著な違いは、参照画像に含まれる折返し歪成分の有無であるが、他にも次のような違いがある。

垂直方向の動き補償精度は、飛越し走査の場合はフィールドで0.5画素、順次走査の場合はフレームで0.5画素であり、順次走査の場合は実効的に半分の精度となる。

MV情報は差分を取らない場合は等価である。しかし、MVは隣接差分情報を伝送するので、ブロック毎に偶数フィールドと奇数フィールドが切り替わる飛越し走査の方がかなり不利である。

4.2 元から順次走査の符号化との比較

順次走査変換された画像は、元からの順次走査画像と若干異なるが、その違いが画像間予測符号化にどのように作用するか検討する。

適応順次走査変換では、動きによる変形が大きい部分はフィールド内補間となる。この場合、垂直方向に高い周波数成分は存在しない。また、真の動きと動きベクトルで誤差がある場合、フィールド間内挿補間は空間フィルタとして作用する。従って、順次走査変換された画像は動きによる変形が大きい部分で高い周波数成分が少なくなる。

一方、画像間予測符号化でも、動きによる変形

が大きい部分は適切に予測できず、予測残差を生じやすい。ここで、順次走査変換されている画像の方が高い周波数成分が少ないので、予測残差の符号量は減少する。つまり、順次走査変換された画像の方が符号化に適することになる。

5. 符号化実験

5.1 実験構成

提案システムにおいて、順次走査符号化と飛越し走査符号化の符号化効率を図6の評価系で比較する。原画像は480p及び480i、評価画像は480iである。p→i変換は垂直フィルタと走査線間引きにより、適切な解像度の飛越し走査画像を得る。フィルタの特性は、170cphで-6dBとなるものである。

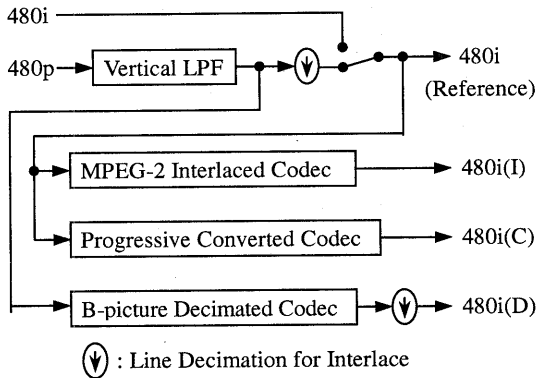


Fig5. Evaluation system of coding efficiency

5.2 符号化方法

符号化復号化実験は、MPEG-2飛越し走査符号化としてフレームピクチャーによるもの(I-Fr符号化)とフィールドピクチャーによるもの(I-Fi符号化)、MPEG-2順次走査符号化をベースとし、先に提案したBピクチャー間引きを行うもの(D符号化)、そして今回提案した順次走査変換を行うもの(C符号化)について行った。

Pピクチャーの周期(M)は、I符号化は一般的な3フレーム間隔、D符号化とC符号化は同一時間とするため6ピクチャー間隔とした。Iピクチャーの周期(N)は、I符号化で15フレーム、D符号化とC符号化は30ピクチャーで、いずれの場合も0.5秒に1回リフレッシュされる。

動き探索範囲はフレーム時間密度を考慮して、

I符号化は±31画素/フレーム、D符号化とC符号化は半分の±15画素/ピクチャーとした。予測モード判定等はTM5の手法を用いた。⁸⁾

各マクロブロックの量子化は、固定値とし、I:P:Bが1.0:1.1:1.5となるように設定した。マトリックスはMPEG-2規格のデフォルト値とした。

5.3 符号化対象画像

対象とする480p画像で“Boy”は動いている玩具や子供のいる部屋のゆるやかなパンである。“Dance”はセット上のダンスシーンの複雑なパンである。“Volley”は背後に多くの観客を含むバレーボール試合の早いズームングである。いずれも480pカメラで撮像された画像である。

さらに480iのITU標準画像“Bicycle”、“Football”、“Mobile & Calendar”を用いて、I-Fr/Fi符号化とC符号化について実験した。

5.4 実験結果と考察

1) 結果

480i基準画像と、各符号化系で得た再生画像の間の最大振幅値(255)と誤差量の比(S/N)を、画像毎に求めた。480p画像を信号源とした場合の輝度信号のS/N値を図6に示す。同様に480i画像を符号化した場合を図7示す。

図6よりD符号化(Decimated)は、先の報告の通りI-Fr/Fi符号化比較より優れる。今回の提案手法であるC符号化(Converted)は、このD符号化よりすべての画像及びレートでさらに優れる。

一方、図7では、I-Fr/Fi符号化と比較して、すべての画像及びレートでC符号化が大幅に優れ、1dB~2dB程度改善されている。

2) 方式の比較検討

S/N値より、提案手法であるC符号化はI-Fr/Fi符号化より大幅に効率が高いといえるが、MB構造が異なるので主観画質が異なり、S/N値がそのまま最終評価とはならない。

再生画像の主観画質は、動き補償やDCTのブロックサイズの関係から、同等S/NではI-Fi/Fr符号化よりC符号化及びD符号化の方が良好である。

C符号化がD符号化より優れるのは、順次走査化により、動きによる変形が大きい部分で、高い周波数が少なくなるためと考えられる

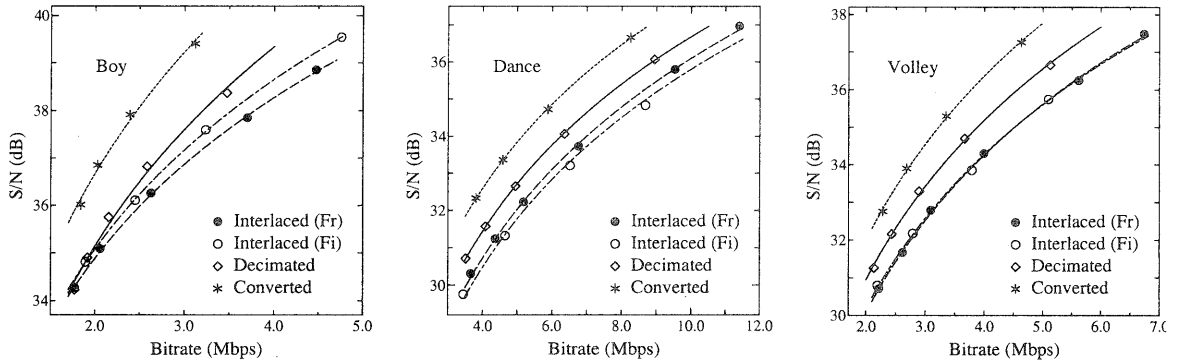


Fig.6 Coding efficiency of progressive scanning pictures

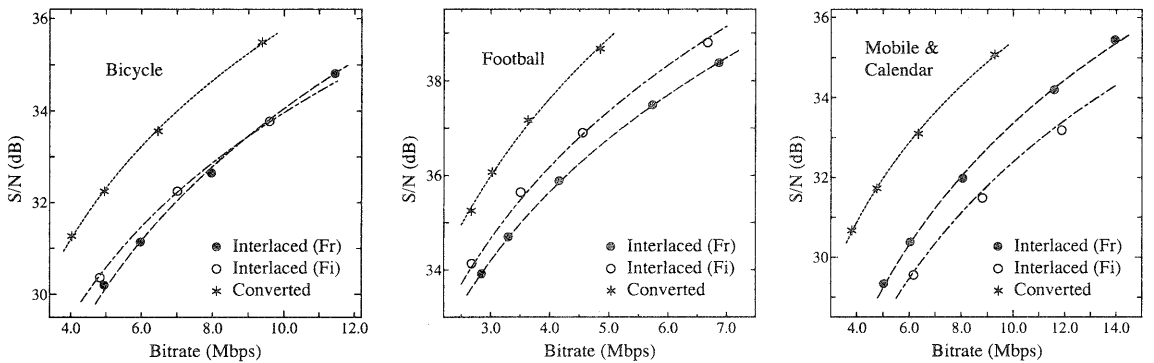


Fig.7 Coding efficiency of interlaced scanning pictures

6. むすび

信号源を順次走査画像及び飛越し走査画像とし、共通の符号列で伝送され、復号側は飛越し走査で再生する動画像伝送システムを提案した。そこで、先に報告した順次走査画像用の符号化手法と互換性を持ち、飛越し走査画像を符号化する手法として、P(I)ピクチャーのみ順次走査変換を行う手法について検討した。

符号化処理構造を従来の手法と比較し、画像間処理構造、動きによる変形部分での周波数特性などが、画像間符号化に非常に好都合であることを示した。

符号化実験で、先に報告した手法、MPEG-2 飛越し走査符号化と号化効率を比較した結果、提案手法は、先の純粋な順次走査画像の符号化より優れ、MPEG-2 飛越し走査符号化より1dBから2dB程度改善できることが解った。これは3割程度の符号量削減に相当する。

最後に画像を提供して頂いた日本テレビ放送

網株様、研究を進めるに当たりご指導御助言頂いた関係諸氏に感謝する。

<参考文献>

- 1) 比嘉他：“インターレース／プログレッシブ変換とMPEG-2符号化効率”，1997年信学総全大，D-11-2，pp.2 (Mar, 1997)
- 2) G.D. Hann, et al. “On Video Formats and Coding Efficiency” IEEE 1999ICCE, THPM18.1 (Aug, 1999)
- 3) 杉山他：“飛越し走査での再生を目的とした順次走査画像符号化手法”，テレビ学技報，24, 25, pp.1-6 (Mar, 2000)
- 4) Sugiyama, Nakamura, “A Method of De-interlace with Motion Compensated Interpolation”, IEEE Trans. on CE, Vol.45, No.3, pp.611-616 (Aug, 1999)
- 5) 杉山他：“高レート動画像符号化に適したフィールド間予測方法”，画像符号化シンポジウム，9-8，pp.263-266 (Nov, 1991)
- 6) ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/N0400：“Test Model 5” (1993)