

CG 動画の効果的圧縮に関する研究

山田哲生 大野義夫
{yamada,ohno}@on.cs.keio.ac.jp
慶應義塾大学理工学研究科

大山公一
oym@gctech.co.jp
(株)グラフィックス・コミュニケーション・ラボラトリーズ

概要

CG 動画は、自然画像に比べ、空間周波数の高い成分を含んだ絵柄が、複雑に動く画像が作られることが往々にしてある。しかし、CG 作成過程で、自然画像では得られない画像の動きについての情報を得ることができる。

本研究では、国際標準動画画像符号化方式である MPEG の符号化対象として CG 動画画像を選び、これらを用いて、低レートで画質劣化を少なく抑えるアルゴリズムを検討する。従来のテストモデルに比べて、動きベクトルの探索で効果があるという結果が得られた。

Effective compression of computer graphics animation

Tetsuo Yamada and Yoshio Ohno
Faculty of Science and Technology,
Keio University

Koichi Oyama
Graphics Communication
Laboratories

Abstract

In computer graphics animation, textures with spatial high-frequency components often moves in very complicated way. But information on the move of the texture can be obtained for CG animation. Such information is not available for natural images.

This paper proposes an algorithm for MPEG coding using the move information obtained through CG image generation and for keeping the image quality in low bit rates. This algorithm turned out to be more effective for searching moving vector than Test Model.

1 はじめに

近年、文字、静止画像、動画像、音声情報などの、各種形態の情報を一体化して取り扱う技術が、マルチメディアとして注目されている。動画像は、情報量が非常に多いため、他のメディアと共に扱うには、符号化による圧縮が不可欠である。

画像の圧縮方式には様々なものが提案されているが、動画としては MPEG が国際標準符号化方式の1つとして規格化された。MPEG では、符号化ビットストリームの復号器での仕様のみが定義されている。したがって、ビットストリームさえ規格に一致すればよいため、符号化の方法には自由度があり、より高圧縮で画質劣化の少ない方法が研究されている。

自然画像には、一般的に画像の時間的、空間的な相関が比較的高く、空間周波数の高周波成分が少ない、という性質がある。そのため、動画像の符号化は、画像の持つ時間的、空間的な冗長性の削減と、視覚特性を利用した不可逆圧縮の利用が核となっている。

一方、計算機によって作成された CG 動画像では、空間的に高い周波成分を含んだ絵柄が、複雑に動く画像が作られることが往々にしてある。その場合、画質劣化を低く抑えるためには、自然画像より高い伝送レートが必要になる。

本研究では、CG 動画像に動画像の標準圧縮方式である MPEG2 符号化を適用させる。その際、CG 画像の作成過程で得られた画像の動きについての情報を、符号化時に用いることで、画質劣化を少なく抑えるアルゴリズムを検討する。

2 本研究の手法

2.1 アプローチ

MPEG の符号化は、

- 画素の時間的な高い相関関係 (P, B ピクチャ)
- 視覚特性による、DCT 変換後の、高周波成分の除去

が核となっている。

これは、動きのゆっくりした、テクスチャも込み入っていない、自然画像のように、隣接する画素間、あるいはフレーム間の相関関係が高い場合には非常に有効である。

しかし、CG 画像は、この限りでないため、

- 動きが速いフレームで、最適な動きベクトルの探索の失敗による、予測誤差の増大
- DCT による、高周波成分の係数の増大

による、符号量の増加が予想される。その結果、出力される符号量を許容量以下に保つために、DCT 変換後の高周波成分を除去する必要があり、復号化の際、量子化ノイズが大きくなり、画質が大きく劣化してしまう。

しかし、CG 画像は、その作成過程で、撮影した自然画像では得られない、画像の2ないし3次元的な情報を得ることができる。これを符号化の過程に、それぞれ反映させ、動きベクトルの検出精度の向上を行ない、低レートで画質の向上を図ることを検討する。

2.2 従来の動きベクトル探索法

CG 作成時に得られた情報を、符号化の際の、動きベクトルの探索に反映させる。図1にその仕組みを示す。

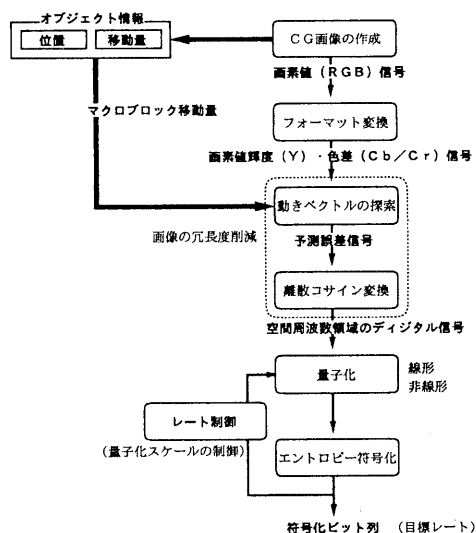


図1 MPEG符号化の流れと描画データの反映

動きベクトルの探索 図3に示すように、次に符号化するフレームを、 16×16 のマクロブロック単位で、既に符号化したフレームを参照して予測し、その予測誤差を符号化する。図2に示すように、Bピクチャと呼ばれるフレームでは、前後近傍のI, Pピクチャを参照フレームとして用いる双方向

符号化を行ない、符号化効率を高めている。これは、一般に動画では、近傍のフレームでは信号が似通っているため、時間的な冗長性が高いことに基づいている。予測が一致する程、情報量を削減することができるため、図3に示したように、参照フレームにおける最も信号に近い部分を探し出すことが、圧縮率を高める鍵となる。その空間的なずれは、動きベクトルと呼ばれ、予測誤差信号と同時に符号化される。動きベクトルの探索は、符号化側の処理であるため、その探索方法はMPEGでは規定されていない。

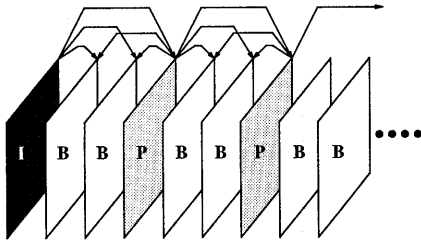


図2 グループオブピクチャ (GOP) の構成

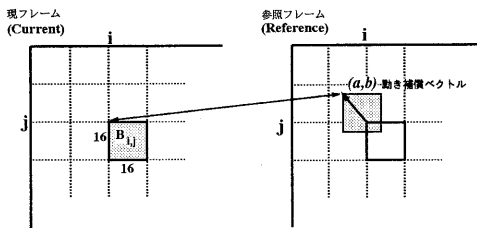


図3 参照フレームと動きベクトル

テストモデルの動きベクトルの探索標準化の過程で用いられてきたテストモデル (TM5) [1] では、参照フレームにおける、現ブロックの近傍を探索範囲とした、ブロックマッチング法による全探索で探索する。その際、画素の輝度信号の予測誤差を評価関数として用いている。

階層的な動きベクトルの探索 図4に示すように、入力画像を階層化し、各階層でのマッチング画素数 (解像度) を変えながら、低解像度から順に動きベクトルの候補を求める方法が提案されている [2]。これにより、探索範囲を広げても、探索回数が少なくなる。したがって、フレーム間距離が大きい

場合は、近傍だけでは最適な動きベクトルは発見できない、といったテストモデルの欠点も補うことができる。

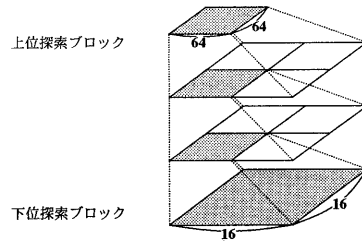


図4 階層的な動きベクトルの探索

2.3 CG 作成時の情報取得と反映

本研究では、CG 作成の過程で得られた動き情報を、符号化の過程の動きベクトルの探索に反映させ、動きベクトルの精度向上を図ることを検討する。

そのために、符号化に先だって、図5に示すように、描画したオブジェクト毎に、投影されたときの2次元スクリーン座標を、各フレームについてレンダリング時に取得する。これをオブジェクト描画範囲リストとする。これを用いて、各フレームの各マクロブロックについて、次の3つのパラメータを得る。

- 占有しているオブジェクト
- オブジェクトの移動量 (1 フレーム間での動きベクトル)
- オブジェクトの大きさ (占有画素数)

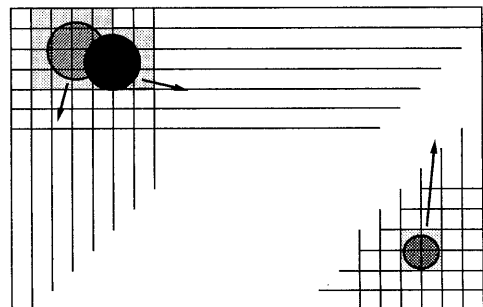


図5 CG 作成時の取得情報

これによって、マクロブロック単位に、そのマクロブロックに描画されたオブジェクトの、参照フレームにおける位置が予め分かる。この差から求まるベクトルを動きベクトルとする。

この手法では、確実に同じオブジェクトを参照することが保証されるため、

- フレーム間距離が離れても、動きベクトル検出のミスマッチがない
- テストモデルでは考慮されていない色差信号の予測誤差を減少させることができる

といった利点がある。

しかし、マクロブロックが完全にオブジェクトに占有されていない場合や、参照フレームに目的のオブジェクトが存在しない、または他のオブジェクトに隠されてしまっている場合は、この方法では動きベクトルは求めることができない。そこで、従来法によってまず全てのマクロブロックについて動きベクトルを求め、さらに本手法により、改善を図る。

2.4 動きベクトルの改善

オブジェクトの位置情報から、動きベクトルを求めるために、具体的に次のような処理を施す。

まず、各フレームの各マクロブロックについて、オブジェクト描画範囲リストを、視点からの距離が小さい順に検索することによって、その範囲を満たすオブジェクトの有無、種類を求める。これをマクロブロック占有オブジェクトとする。

- マクロブロックを全て含むようなオブジェクトが存在するとき (図 6)
 - 占有オブジェクトを決定する
- 一部分を含むようなオブジェクトが存在するとき (図 7)
 - 半分 (128 画素) 以上を占めるオブジェクトならば占有オブジェクトとして決定する
 - それがない場合は占有オブジェクトはないものとする

占有オブジェクトとして決定したものには、そのオブジェクト内におけるマクロブロック中心の位置、 S_x 、 S_y も、同時

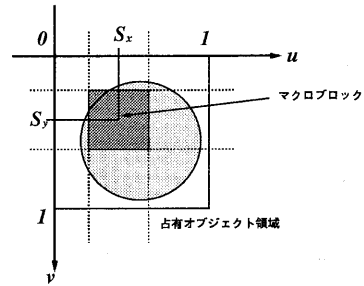


図 6 オブジェクト領域で占有される場合

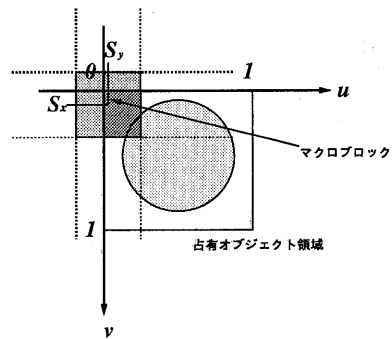


図 7 オブジェクト領域がはみ出す場合

に記録する。これをマクロブロック占有オブジェクトリストとする。これを動画の全てのフレーム、全てのマクロブロックについて、符号化に先立って行なう。

次に、予測符号化を行なうフレームの各マクロブロックについて、占有オブジェクトが存在すれば、同一のオブジェクトの参照フレームにおける位置をオブジェクト描画範囲リストから検索し、動きベクトルを求める。

したがって、マクロブロックがそれより大きなオブジェクトで満たされていて、かつ参照フレームに同じオブジェクトが描画されている場合、この方法は有効になる。

動きベクトルの探索は、先に従来の階層的探索によって、各参照方向について求めておく。その動きベクトルと、本手法により求めた動きベクトルによる予測誤差を比較し、本手法の方法の方が小さい場合、順次置き換える。

全体の主な処理は、図 8 に示した。

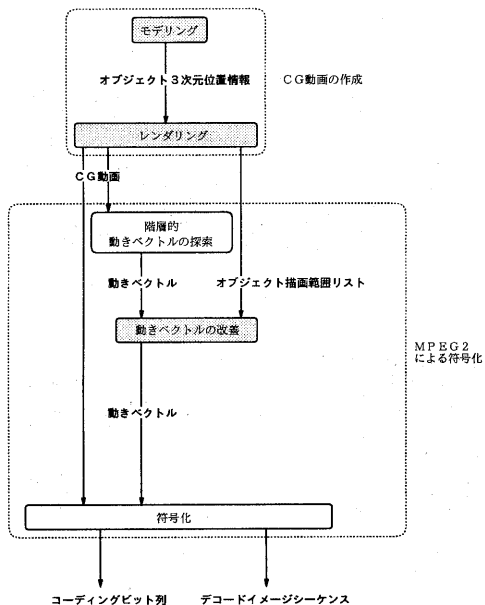


図 8 処理の流れ

3 実験と結果

3.1 実験

テスト用に、画像サイズ 1920×1036、毎秒 60 フレームの順次走査で、CG 動画を作成した。描画オブジェクトは全て球とし、光源は 1 箇所にした。各球は、フオンシェーディングを施したレンダリングを行なった。各オブジェクトは、初期位置から視点方向へ回転運動をしながら移動させた。オブジェクトの総数は約 6000 個である。

なお、この動画の作成にあたっては、高速化のために、図 9 に示すように、オブジェクトのバウンディングボックスをスクリーンに投影した部分を囲む範囲のみで、交点計算を行なった。

各オブジェクトの 2 次元的な情報を得るために、レンダリング時に各オブジェクトについて交点計算を行った部分を、そのオブジェクトの描画範囲とした。各フレームにおいて、この描画範囲を、レンダリング順、すなわち、視点からの距離をキーに降順のリストとして作成した。これをオブジェクト描画範囲リストとした。

実験に用いた CG 動画のうち、1GOP に相当する 30 フレ

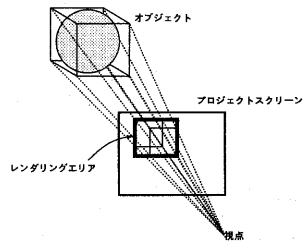


図 9 レイ発射範囲

ムについて、

- レート制御を行ない、出力ビットを 30 Mbit/sec と 60 Mbit/sec の一定にした場合のデコードイメージの作成
- レート制御を行わず、量子化スケールを一定とした時の発生ビット量の測定

を、従来法によって定めた動きベクトルと、本手法によって求めた動きベクトルそれぞれを用いて符号化を行なった。

3.2 結果

3.2.1 節は評価したフレームについて、3.2.2 節以下は評価した 1GOP についての結果である。

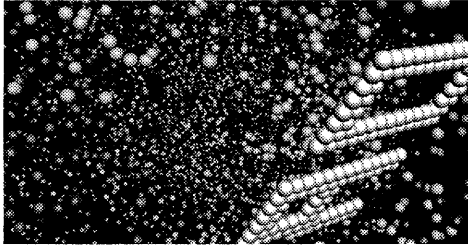
3.2.1 デコードイメージの比較

評価動画中の 1GOP の中の最終 B ピクチャのデコードイメージを比較した。

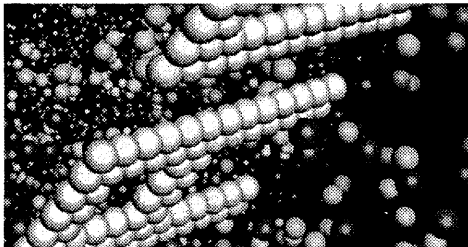
- 原画像 (図 10)
- 動きベクトル (図 11)
- 30Mbit/sec デコードイメージ (図 12)
- 60Mbit/sec デコードイメージ (図 13)

3.2.2 改善されたマクロブロック数

符号化に先だつてフレーム毎に行なう、本手法による動きベクトルが採用されたマクロブロック数を、図 14 に示す。なお、本実験における 1 フレームのマクロブロック数は 7680 である。

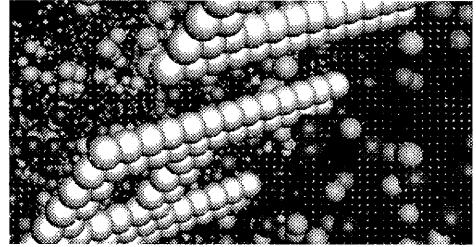


(a) 全体

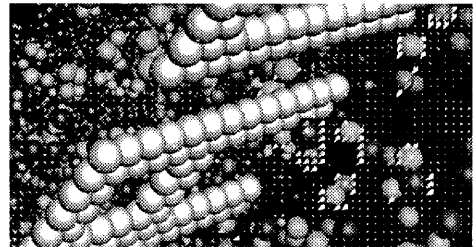


(b) 評価部分

図 10 原画像

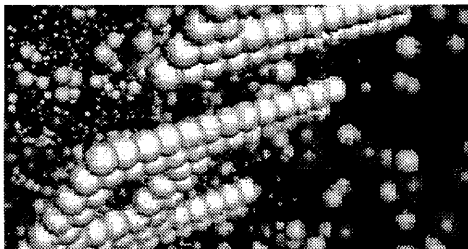


(a) 従来法

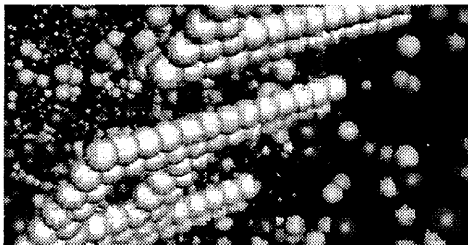


(b) 本手法

図 11 動きベクトルの表示

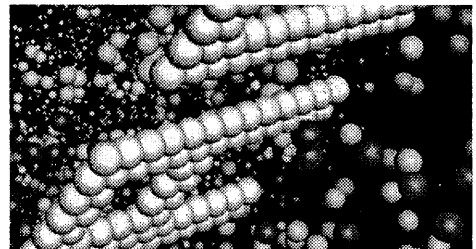


(a) 従来法

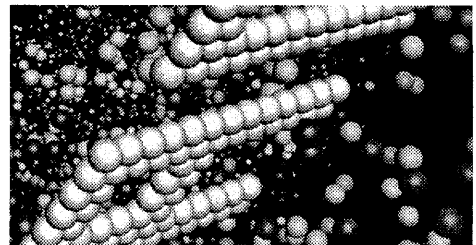


(b) 本手法

図 12 B ピクチャ 30Mbit/sec



(a) 従来法



(b) 本手法

図 13 B ピクチャ 60Mbit/sec

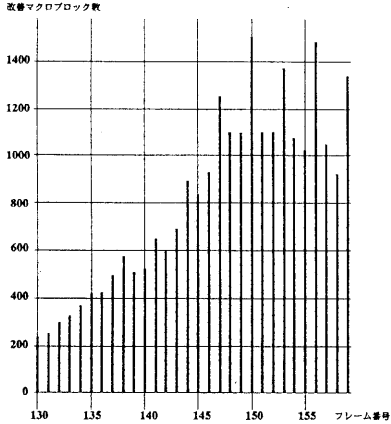


図 14 フレーム毎の、改善マクロブロック数

3.2.3 発生符号量の比較

量子化スケールコードを一定とし、レート制御を外した時の、量子化スケールコードと発生する符号量の関係を図 15 に示す。

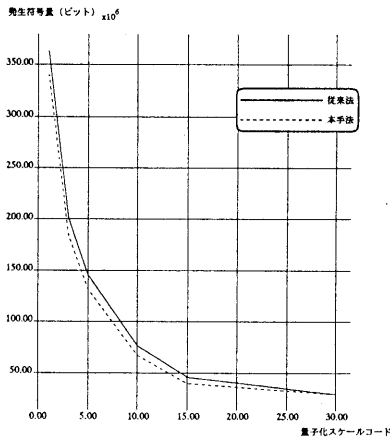


図 15 発生ビットと量子化スケールコード

3.2.4 イントラ符号化を行なうマクロブロック数

表 1 に、1GOP 内での、各ピクチャノフレーム内符号化 (イントラ符号化) を行なったマクロブロック数を示す。

表 1 フレーム内符号化となったマクロブロック数

符号化ビットレート	B ピクチャ		P ピクチャ	
	30M	60M	30M	60M
従来法	774	28086	31035	35112
本手法	240	20921	27421	31018

4 評価

4.1 発生符号量について

図 15 より、本手法では動きベクトルの改善によって、発生ビットが約 1 割減少したことが確認できた。実際の符号化では、量子化スケールを制御して、発生ビットを目標レートに一致させる。その際減少させるビットが少ない方が、画質劣化が少なくすむ。

4.2 画質について

4.2.1 静止画

MPEG のテストモデルでは、誤差伝搬がある P ピクチャに優先してビット量を与えるよう、量子化スケールを下げるという、量子化制御を行なうため、少々の予測誤差の改善では、P ピクチャの画質改善は目立たなかった。

一方、誤差伝搬を考慮する必要のない B ピクチャでは、特に低レートの場合、割り当てるビット量が飽和してしまうため、どのマクロブロックも最大の量子化スケールで量子化しなければならない。そのため、予測誤差の減少が直接画質の改善につながる。

本手法では、予測誤差を減少させるために、確実に同じオブジェクトを参照することを目指した。従来の探索では追いきれなかった動きも捉えていることが図 11 から分かる。

また、本来予測符号化を行なう P, B ピクチャにおいて、予測の効率が悪い時には、マクロブロック単位でフレーム内符号化を行なうことができるが、その数が減少したことも、表 1 から確認できた。

また、図 12 から、DCT 係数の切り落としによるブロック歪みがかなり改善されていることが分かる。さらに、従来法ではオブジェクトの色が異なっている部分が多く発生したが、本手法によりそのような部分は激減した。特に CG では形状が似ていて色が異なるオブジェクトが現れることがある。その際、異なったオブジェクトを予測のために参

照すると、輝度信号の予測誤差は小さくなるが、色差信号の予測誤差は大きくなってしまいます。そのため、ブロック歪みが目立つばかりでなく、ビット量が足りずに色差値の誤差が補正されずに、画質劣化が非常に大きくなってしまおうと考えられる。この点も改善されていることが確認できた。

4.2.2 動画

MPEG は、速い動きに対する知覚が鈍いという視覚特性を利用しているため、少々の B ビクチャの画質改善では、CG 動画全体では、視覚上、著しい改善は見られなかった。4.2.1 節より、多くの係数切捨てが起こる低レートの方がより改善効果が目立ったが、さらに低レートにすると、P ビクチャのビットも飽和して量子化誤差が伝搬し、どちらもブロック歪みが目立ってしまった。

5 結論

実験の結果、

- CG レンダリング時の取得情報によるオブジェクトの
確実な参照
- 動きベクトルの改善による、予測誤差の減少で、特に
予測符号化を行なうフレームについて画質の改善

を図ることができた。

しかし、動画像で見た場合には、明らかな画質改善につながる程の効果は得られなかったこと、用いたシーケンスのオブジェクトが単純な形であったことから、今後解決すべき課題として次の 2 点が挙げられる。

複雑なオブジェクトに対する処理 オブジェクトの形状が複雑な場合や、マッピングが施されている場合、単純に 2 次元的な投影面だけでは最適な動きベクトルを求めることができない。本手法で、おおよその見当をつけてから、周辺の探索を行なうことなどを考える必要がある。

レンダリング時の情報の反映 特に実験で用いたシーケンスは、各オブジェクトの動きが速いことが、低レートでの符号化の障害の 1 つであった。そこで、レンダリング時の取得情報を、このレート制御に反映させ、動画としての画質改善を検討する必要がある。

参考文献

- [1] ISO-IEC/JTC1/SC2/WG11. “CD 11172-2 Coding of Moving Picture and Associated Audio for Digital Storage Media at About 1.5Mbit/s”
- [2] 佐藤, 花村, 大山, 森田, 山田. “HD/UD TV 符号化用 ME アーキテクチャ,” オーディオビジュアル複合情報処理, pp. 7-12, 1995.
- [3] 中島, 尾高, 田原. “ビデオ圧縮,” テレビジョン学会誌, Vol. 49, pp. 435-466, 1995.
- [4] 安岡. “マルチメディア符号化の国際標準,” 丸善, 1993.
- [5] 米満. “MPEG 標準案ビデオパート (ISO 11172 Video),” 画像電子学会誌, Vol. 20, No. 4, pp. 306-316, 1991.