カメラの動き情報を用いた動き補償の改良

非会員 佐藤 武 (日立エンジニアリング)

正 員 杉浦彰彦 (豊田工業大学)

An improvement of motion compensation by using camera position information

Takeshi SATO, Non-member (Hitachi Engineering Co., Ltd)

Akihiko SUGIURA, Member (Toyota Technological Institute)

This study describes a new method of global motion compensation for highly efficient video coding. We propose a method to extract pan-tilt vector quantity of image sequence by using camera position information. But as global motion compensation, the synthetic picture is distorted because by optical aberration, and this distortion stand out at joint of picture.

In this paper, we propose a picture compensation processing makes use of linear approximation function for image restoration. As a result of computer simulation, we reduced the distortion within 1 pixel and confirmed improvement of picture quality.

キーワード：動き補償，合成画像，光学的歪み，レンズ収差，画像補正

1. まえがき

近年、デジタル画像情報圧縮方式は、J P E G、M P E Gなどの国際規格^{(1) (2)}について検討がなされ、実用化の段階に入っている。例えばM P E G 2は、デジタル放送やDVDビデオ等で採用され、専用のL S Iや周辺機器の開発も進んでいる。しかし一方では、将来のハード技術進歩⁽³⁾の期待のもとに、より高い圧縮率で画質劣化の少ない符号化方式の可能性を求めて、様々な研究が行われている。例えば、標準化が進められているM P E G 4⁽⁴⁾では、画像の種類や動きに応じて、圧縮方式を切り換えることが容認されており、色々な圧縮手法の組み合わせが検討されている。我々もこの点に着目し、動画像に適応した符号化方式^{(5) (6)}について検討を進めてきた。ここでは、適応型符号化に用いる動き補償方式として、カメラ側の情報の利用を検討する。

本研究では、画像の高能率符号化に向けて、動き補償方式の改良を提案する。我々はこれまでに、カメラの動き情報（回転量、ズーム量、フォーカス）を用いた、動画像のパン・チルト、ズームベクトルの検出法を提案してきた。しかしこれらの動き補償において、現画像と動き補償した画像の合成画像は光学的収差^{(7) (8)}により歪みを生じ、この歪みは画像の接合部分において目立ってしまう欠点があった。ここでは動き補償の改良を目的に、合成画像の画質向上のために線形近似関数を用いた画像補正処理を提案する。計算機シミュレーションによる実験の結果、パン・チルトベクトルの検出演算量を低減し、原画像と合成画像

の歪みを1画素以内に抑えることができ、さらに画質の向上も確認した。

2. カメラの動き情報とグローバル動き補償

M P E G 1、2の圧縮方式では、動き補償を用いてフレーム間（時間軸方向）の冗長度の削減を行い、続いてD C Tにより2次元空間の冗長度の低減を図る、いわゆるハイブリッド方式^{(1) (2)}が主流である。これらの方式では、動き補償の探索範囲を限定した場合でも、動ベクトル検出には膨大な演算を必要とし、現行のM P E G用L S Iでは、動ベクトル検出を簡略化するための様々な工夫がなされている。

M P E Gなどの現行方式では、数画素から構成されるブロック単位で動き補償が行われる。これに対して、画像シーンが変化するような場合に、背景の画像全体で動き補償を行う、グローバル動き補償^{(1) (3) (4) (7)}についても検討がなされている。放送用T V画像においては、パン・チルト等のカメラワークによる画像シーンの変化が多く見られる。これらの画像シーンでは、前後のフレーム間の画像において平行移動が生じる。そのため後画像は、前画像を平行移動した画像と、後画像で新たに出現した部分を合成することで、動き補償を行うことができる。この場合、画像間の平行移動量（パン・チルトベクトル）を、画像情報の代わりに伝送することで、符号化効率の向上が実現される。

これまでも、パン・チルトベクトルの抽出に関しては、数多くの方式が提案されてきた。例えば、全探索方式に代

表されるパン・チルトベクトル抽出法では、前後の画像に対してテンプレートマッチングを施し、上下左右の数十画素の範囲にわたって、画像全体の動いたベクトル量を探索する。しかし、画像全体の大きな動きの場合には探索範囲が拡大し、動ベクトル抽出の演算量が膨大になる。一方、探索範囲を限定した場合、探索範囲外におけるベクトル検出誤りが発生し、動き補償の符号化効率を低下させてしまう。ここでは、カメラの動き情報から概ねのパン・チルトベクトルを予測することで、前述の探索範囲を縮小し、動き補償の効率化を図る。

カメラの種類には固定式とハンディ式があるが、ここでは放送用に多く利用されている固定式に対して、図1に示すようなカメラの回転モデルを適用し、パンとチルトの2種類のカメラワークについて検討する。実際に利用されている固定式カメラでは、結像点の20～30cm下部を回転動作の中心としているため、チルト回転(β)によりY軸とZ軸方向にズレが生じる。本研究では幾何学的な補正処理を加えることで、図に示すように、結像点を中心に設定している。具体的には、y₀cmだけ下部に回転の中心が存在する場合、回転±βに対しての視野平面の中心のズレ量y'(cm)とz'(cm)は、次式より簡単に求めることができる。

$y' = y_0 - |y_0 \cos \beta| \quad z' = \pm y_0 \sin \beta$ (1)

図中の視野平面とは、カメラからf[m]離れた場所で、実際に撮影される面の大きさを示すもので、レンズの種類や組み合わせ(撮像系)、可変ズームレンズの設定値(ズーム値)、被写体距離などによって変化する。本研究で使用した撮像系について、ズーム値と被写体距離(フォーカス値)を変化させた場合の視野平面のサイズ(縦・横の長さ)を図2に示す。この値は実験に用いたレンズの製造メーカーから提供された理論値(光学シミュレーション)である。

図1 カメラの回転モデル
Fig.1 Model of rotating camera.

ここでは被写体に合焦した状態を想定し、カメラ側の焦点目盛りから被写体距離を求め、同時にズーム値を得ることにする。図より、ズーム値が小さいほど、また被写体距離が大きいほど視野平面は大きく、その変化はズーム値が小さいほど急峻であることが確認できる。また、フォーカス値(被写体距離)と視野平面サイズが、比例関係から若干ズレており、f=1.0mを基準に見て、f=2.0m, 3.0m...とした時、視野平面のサイズも2倍, 3倍...になると考えられるが、図中のズーム値9mmで見ても、比例関係より若干大きい値になっていることがわかる。パンやチルト等のカメラワークにより画像シーンが変化する場合に、画像(背景)全体で動き補償を行うグローバル動き補償では、この視野平面サイズのズレも含めて動き補償をする必要がある。

(1) size of vertical field picture

(2) size of horizontal field picture

図2 視野平面のサイズ
Fig.2 Size of field picture.

カメラの動き情報を利用したグローバル動き補償では、ズーム値や被写体距離を初期値として視野平面を設定し、パン・チルトなどのカメラワーク量から、カメラの回転モデルを用いて視野平面を回転・移動させる。例えば、カメラを左右に回転させるパンでは、Y軸を中心にX軸方向に回転させ、カメラを上下に回転させるチルトでは、X軸を中心にY軸方向に回転させる。これらの回転の計算は、次式に示すような3次元アフィン変換⁽¹⁾により容易に実現することができる。

$$\begin{bmatrix} X & Y & Z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X & Y & Z \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ 0 & \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

X Y Z : 回転前の視野平面の中心座標 (0, 0, -f: フォーカス距離)
X Y Z : 回転後の視野平面の中心座標
 α : カメラのパン方向の回転量
 β : カメラのチルト方向の回転量

また、カメラの動き情報を利用した動きベクトル検出では、ズーム値や被写体距離を初期値として、パン・チルトなどのカメラワーク量から、パン・チルト（動き）ベクトルを求める必要がある。ここでは、前述の方法で求めた視野平面のX方向（パン）とY方向（チルト）への移動量を画素数に変換することで、動き（パン・チルト）ベクトルを求める。本研究で使用した撮像系について、ズーム値と被写体距離を変化させた場合の単位回転角（1度）当たりの、パンベクトル（画素：pel）を図3に示す。図の上段が視野平面の変化から予測した理論値で、下段が実際に撮影した画像から測定した実測値である。ここで理論値とは、縦・横それぞれの画素数を縦・横の視野平面サイズ（図2）で割り、単位長さ当たりの画素数を算出し、これに(2)式中 $\beta = 1^\circ$ （または $\alpha = 1^\circ$ ）、 $z_1 = f \text{ cm}$ とした時の移動量 $Y \cdot X$ を乗算し、求めることができる。また、実測値は実際にメジャー目盛を撮影しながら、カメラをチルト（またはパン）させ、平行移動した画素数を数えた。図より予測精度を評価した結果、予測誤差が大きい部分で7～8画素程度であることがわかった。全探索方式に代表されるパン・チルトベクトル抽出法では、大きなカメラワークに適應するためには、探索範囲を大きくする必要がある。しかし本方式では、カメラの動き情報から予測したパン・チルトベクトルを用いることで、カメラワークの大きさに関係なく、探索範囲を前述の予測誤差の範囲内程度に小さくすることができ、探索のための演算を大幅に削減することができる。

3. レンズの特性と合成時の歪み

撮像系のレンズ面は曲面になっているが、画像が入力される撮像面は平面であるため、レンズにより撮像面に写し出される像には、光学系の収差によって図4に示すような歪み（たる型、糸巻き型）が生じる。例として、代表的な光学的収差である、たる型歪みと糸巻き型歪みを含んでいる画像を図5に示す。

図3 パンベクトルの予測値と実測値
Fig.3 Predictive and observed pan vector.

図4 たる型歪みと糸巻き型歪み
Fig.4 Distortion barrel and distortion pincushion.

図5 歪み画像の例

Fig.5 Example of distortion image.

これらの歪みは、画像の中心では小さく、周辺部分に離れるほど大きくなっていく。画像処理において、これらの歪み画像 (x', y') は、原画像 (x, y) から次式により近似できる。⁽⁸⁾

$$\begin{aligned} x' &= \{1 + k_1(x^2 + y^2)\} x \\ y' &= \{1 + k_2(x^2 + y^2)\} y \end{aligned} \quad (3)$$

なお、この近似式は凸凹レンズの組み合わせにより生じるたる型歪みと糸巻き型歪みに対応しており、基本的な撮像系をカバーできる。ここでのXY座標系は、原点 $(0, 0)$ を画面中心とした座標系で、 $(x, y) \sim (-x, -y)$ までを示す。また k_1 と k_2 は、画像中のX方向とY方向それぞれの歪みの大きさを示す係数（レンズ収差係数）である。このレンズ収差係数が正の場合には糸巻き型歪みになり、負の場合にはたる型歪みとなる。

この様に、レンズの特性により生じる歪みは、画面内の場所（画素）により大きさが異なっている。通常のグローバル動き補償における合成（後）画像は、原（前）画像を平行移動した動き補償画像に、新しく出現した部分の画像を加えることで合成される。この時、原画像の一部分はこ

図6 グローバル動き補償の歪み

Fig.6 Distortion of global motion compensation.

れらの歪みを含んだまま合成されるため、図6に示すように合成画像の結合部分でズレが生じ、視覚的に目立つ画質劣化が発生することがある。本研究では、この画質劣化を低減するための補正（グローバル動き補正）を行うことで、グローバル動き補償時の画質改善を図る。

4. レンズ収差を考慮した動き補償

本研究では、グローバル動き補償における合成画像の歪みを低減するために、画面全体を 16×16 画素のブロックに分割し、このブロック単位でたる型歪みや糸巻き型歪みを補正した画像を合成する。以下で計算される補正值は、画素値（デジタル）ではなく、アナログ値であるため、画素位置と丁度重なることは無く、0.5画素以内の誤差が存在する。例えば、単純に四捨五入でデジタル化し画素位置にヒットさせてもズレが生じるし、近傍画素値の平均などで内挿しても画質が低下してしまう。本方式では、ブロック単位で補正をし、これらのデジタル化の演算（誤差）問題を低減している。ここでは、ブロックの左上角の画素値をブロックの位置として以後の処理を進める。

本方式では、グローバル動き補償方式として、図7に示すように、このブロック単位でパン・チルトベクトルの補正を行う。ここでは、先に示した歪みの近似式を適用し、原画像の平行移動によって変化する画素位置から、合成画像における画像のズレ量を求め、パン・チルトベクトルの補正を行う。具体的には、画面内の画素位置における歪みの大きさ (r_x, r_y) を、歪みの近似式から

$$\begin{aligned} r_x &= k_1(x^2 + y^2) \\ r_y &= k_2(x^2 + y^2) \end{aligned} \quad (4)$$

として、原画像の画素位置が (x_a, y_a) 、平行移動後の画素位置を (x_b, y_b) とすると、それぞれの画素位置における歪みの大きさは、前式より

$$\begin{aligned} r_{xa} &= k_1(x_a^2 + y_a^2) \\ r_{ya} &= k_2(x_a^2 + y_a^2) \\ r_{xb} &= k_1(x_b^2 + y_b^2) \\ r_{yb} &= k_2(x_b^2 + y_b^2) \end{aligned} \quad (5)$$

となり、合成画像における画像間のズレ量 (x_c, y_c) は、

$$\begin{aligned} x_c &= r_{xa} - r_{xb} \\ y_c &= r_{ya} - r_{yb} \end{aligned} \quad (6)$$

となる。ゆえに、平行移動後の画素位置 (x_b, y_b) を次式の通り補正することで、歪みを低減した動き補償画像 (x, y) が得られる。この補正式は、歪みの近似式が有効な範囲において成立する。

$$\begin{aligned} x &= (1 - x_c) x_b \\ y &= (1 - y_c) y_b \end{aligned} \quad (7)$$

なお、補正流れに沿って、原（前）画像のブロック位置から合成（後）画像の位置を補正する処理を示したが、実際の処理では、従来からのブロックマッチング型の動き補償と同様に、後画像のブロック位置に合うものを前画像から切り出し、内挿し合成画像を得る。

図7 パン・チルトベクトルの補正
Fig.7 Correction of pan-tilt vector.

図8 レンズ収差係数
Fig.8 Lens aberration coefficient.

ここで、レンズ収差係数 k_1 , k_2 は、カメラの被写体距離やズーム値によって変化する。しかし、放送などに用いられる撮像系のレンズは、沢山のレンズの複雑な組み合わせで構成されているため、理論的に定量化することは難しい。本研究では、撮像系の状態を変化させながら、前述のパン・チルトベクトルの補正を行い、得られた入力画像に対して最適なレンズ収差係数を手作業で求める。具体的には、被写体距離とズーム値毎に、収差係数を変化させ合成した画像の画質 (S/N) を評価し、最適な値を求める。実験の結果、3桁精度で合成画像全体の補正ズレが1画素

以内になったので、ここでは5桁精度で係数を求めることにした。本実験で使用した撮像系について、被写体距離とズーム値を変化させた場合、合成画像の歪みが最も小さくなるレンズ収差係数を図8に示す。以上、本方式におけるグローバル動き補正の処理の流れを図9に示す。

図9 処理の流れ
Fig.9 Algorithm of this method.

カメラの動き情報からグローバル動き補償を行い、さらに合成時に図8に示したレンズ収差係数を用いてグローバル動き補正を施した合成画像を図10に示す。ここではパン画像を用いており、合成時の歪みが目立つように横縞模様の背景の画像で実験を行った。図より、グローバル動き補正により、合成画像の結合部分のズレが低減され、自然な補正画像が得られていることがわかる。この実験の結果、本方式により、合成画像における結合部分のズレを1画素以内に低減できることがわかった。

5. むすび

本研究では、グローバル動き補償において、カメラの動き情報からパン・チルトベクトルを予測することで、そのベクトルの大きさに関係なく、全探索範囲を一定量 (7~8画素) 以下に抑えることができ、動きベクトル抽出の演算量を低減することができた。また、グローバル動き補償により合成される画像では、その結合部分に光学系の収差による歪みが生じる。本研究では、画像処理によりレンズ系の収差を近似し、このズレを低減するグローバル動き補正を提案し、その有効性を実験により確認した。

今後の課題として、ズーム画像やフォーカス値が変化する画像についても、本方式の適用を検討したい。

original image

global motion compensation image

global motion correction image

図10 合成画像

Fig.10 Composed image.

謝辞 本研究を進めるにあたり、適切なご教示を頂いた東京大学工学部電子情報工学科 原島博教授、同 相澤清晴助教授、および貴重な助言を下されたKDD研究所 金子正秀様に心から感謝致します。本研究の一部は文部省科学研究費（奨励研究(A)）ならびに中部電力基礎技術研究所研究助成の補助を受けて行われた。ご援助頂いたことを感謝致します。

（平成8年12月4日受付、同9年8月11日再受付）

参考文献

- (1) 原島博: "画像情報圧縮", オーム社 (1991).
- (2) 安田浩: "マルチメディア符号化の国際標準", 丸善 (1991).
- (3) 吉本雅彦: "画像圧縮用LSI", テレビ誌, 46, 3, pp253-260 (1992).
- (4) 三木俊雄, 河原敏郎, 大矢智之: "MPEG4の標準化動向", 信学技報, RCR95-164 (1996).
- (5) 杉浦彰彦, 稲津稔: "適応型3次元走査を用いた画像変換符号化の検討", 信学論, Vol. J78-A, No. 7, pp. 839-847 (1995).
- (6) 杉浦彰彦, 稲津稔: "輪郭適応1次元ブロック型画像符号化方式の検討", 電学論, Vol. 116-C, No. 3, pp. 325-330 (1996).
- (7) 林正樹, 中村一二: "パノラマ画像を再現する仮想映像システム", 1991信学春季全大, D467 (1991).
- (8) 長尾真: "画像認識論", コロナ社 (1983).
- (9) 庄司実: "写真技術マニュアル", 写真工業出版社.
- (10) 廣瀬通孝: "バーチャルリアリティ応用戦略", オーム社 (1992).
- (11) K. R. Rao/P. Yip: "画像符号化技術-DCTとその国際標準", オーム社 (1993).
- (12) J. A. Rose: "Interframe Cosine Transform Image Coding", IEEE, Trans. Comm., COM-25, 11 (1977).
- (13) 八木伸行, 田中勝行, 榎並和雅: "映像合成のための動ベクトル検出法に関する一検討", テレビ誌, Vol. 45, No. 10, pp. 1221-1229 (1991).
- (14) 大田睦, 宮本義弘, 清水孝: "拡張されたグローバル動きベクトルの検出方式", 1990信学秋季全大, D224 (1990).
- (15) M. HOETTER: "Differential Estimation of The Global Motion Parameters Zoom and Pan", Signal Processing, No. 16 (1989).
- (16) 杉浦彰彦, 稲津稔: "画像シーン適応型符号化方式におけるシーン解析", 信学技報, IE92-13 (1992).
- (17) 田中信吾, 杉浦彰彦, 稲津稔: "パンチルト画像における動き情報抽出", 1991テレビ学全大, 16-5 (1991).
- (18) 山口富士夫: "コンピュータディスプレイによる図形処理工学", 日刊工業新聞社 (1989).

佐藤 武 (非会員) 1967年7月25日生まれ、平成元年
日立京浜工業専門学校卒業。同年日立エンジニアリング(株)就職。平成4～5年 豊田工業大学受託研修員。現在 日立エンジニアリング(株) 応用情報システム部勤務。地図・動画等を使用した情報提供システムの開発に従事。

杉浦 彰彦 (会員) 1965年10月16日生まれ、平成2年
東京農工大学大学院修士課程了。同年豊田工業大学制御情報工学科 伝送・画像研究室助手。現在 同 講師。動画像の高効率符号化、画像応用、スペクトル拡散、CDMA方式、デジタル放送方式の研究に従事。工博、電子情報通信学会、IEEE会員。