位相相関を用いた被写体変位と輝度、コントラスト変動の推定

正会員 渡 辺 裕[†], 矢 口 博 之^{**}

あらまし 本文では、輝度、コントラスト変動と画像変位が並存する場合にもこれらを推定できる変位ベクトル推定法を提案する。変位量および輝度、コントラスト変動の推定には位相相関法と最小2乗近似を用い、雑音環境下でも有効であることを実験により示す。

1. ま え が き

動き補償フレーム間予測におけるブロックマッチングを用いた動ベクトル推定法では、入力画像に輝度変化がある場合には、実際の動きを反映しないベクトルが選択されることが指摘されている¹⁾。この問題を解決するために、輝度シフト補償したブロックをマッチングに加える手法¹⁾が提案されているが、輝度変動と動きが同時に発生した場合には、動ベクトルの推定が不可能であった。一方、位相相関法²⁾³⁾を用いれば、輝度、コントラストの影響を受けずに変位ベクトルを推定できるが、従来輝度、コントラスト変動の推定は行われていなかった。そのため、蛍光灯フリッカの影響の強い環境下でのビデオ符号化やステレオ画像符号化において、フレーム間予測の効率低下を招いていた。本文では、位相相関法を用いた輝度、コントラスト変動の推定を含んだ変位ベクトル推定法を提案する。

2. 位相相関による変位ベクトル推定²⁾³⁾

信号 $x(n)$ ($n=0, 1, \dots, N-1$) を α サンプルだけ変位 (シフト) させた信号を $y(n)$ ($n=0, 1, \dots, N-1$) とする。それぞれのフーリエ変換を $X(k)$, $Y(k)$ ($k=0, 1, \dots, N-1$) とし、次式で表す。

$$X(k) = |X(k)| \exp(j\theta_x(k)) \quad (1)$$

$$Y(k) = |Y(k)| \exp(j\theta_y(k)) \quad (2)$$

位相相関による変位の推定は、位相差のフーリエ逆

変換

$$d(n) = F^{-1}[\exp(j\theta_x(k)) \exp(-j\theta_y(k))] \quad (3)$$

により求められる。信号の周期性を仮定したとき、

$$d(n) = \begin{cases} 1 & \text{for } n = \alpha \\ 0 & \text{for } n \neq \alpha \end{cases} \quad (4)$$

となり、位置 α でインパルスが得られる。周期性が仮定できない場合には、 $d(n)$ ($n=0, 1, \dots, N-1$) の振幅に対して、最大値の検出によって α が求められる。

3. 輝度、コントラスト変動の推定

信号 $y(n)$ の振幅が次式のように変動する場合を考える。

$$z(n) = ay(n) + b \quad (5)$$

ここに a, b はそれぞれコントラスト、輝度変動を表すパラメータである。 $x(n)$ と $z(n)$ の位相相関関数は (3) 式で与えられる。したがって、位相相関法を動画の動き補償に用いた場合、入力信号レベルが線形に変化する場合にも動ベクトル推定が可能である。また、異なった特性のカメラにより撮像されたステレオ画像間の視差ベクトルの推定も可能である。

信号 $z(n)$ に対して、変位量がすでに推定された信号 $x(n+\alpha)$ の輝度およびコントラストの最良近似を行う。最小2乗近似のための評価関数 J を次式で定義する。

$$J = (Z - (\bar{a}X + \bar{b}U))^T (Z - (\bar{a}X + \bar{b}U)) \quad (6)$$

ここに、 Z, X は比較すべき信号のベクトル表示であり、 $U = [1 \ 1 \ \dots \ 1]^T$ である。 T は行列の転置を表す。

(6) 式を $\bar{a}, \bar{b}$ で偏微分して 0 と置けば、

$$\begin{bmatrix} \bar{a} \\ \bar{b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X^T X & X^T U \\ U^T X & U^T U \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X^T Z \\ U^T Z \end{bmatrix} \quad (7)$$

[†] NTT ヒューマンインタフェース研究所

竹 長岡技術科学大学

"Displacement and Brightness Contrast Fluctuation Estimation Using Phase Correlation" by Hiroshi Watanabe (NTT Human Interface Laboratories, Yokosuka) and Hiroyuki Yaguchi (Nagaoka University of Technology, Nagaoka)

図1 信号 $x(i, j)$ ($S/N=40$ dB).
Signal $x(i, j)$ ($S/N=40$ dB).

図2 信号 $z(i, j)$ ($S/N=40$ dB)
Signal $z(i, j)$ ($S/N=40$ dB).

表1 変位ベクトルおよび輝度、コントラストの推定結果

Estimation result of displacement vector and brightness-contrast fluctuation.

S/N (dB)	$\max d(i, j)$	$(\hat{a}i, \hat{a}j)$	$\hat{a}$	$\hat{b}$
∞	0.98	(9.9)	0.90	-5.00
45	0.67	(9.9)	0.90	-4.77
40	0.52	(9.9)	0.89	-4.43
35	0.38	(9.9)	0.87	-3.45
30	0.25	(9.9)	0.83	-0.87

図3 位相相関関数 $d(i, j)$ ($S/N=40$ dB)
Phase correlation function $d(i, j)$ ($S/N=40$ dB).

となり、最小値 $\min J$ を与える $\hat{a}, \hat{b}$ が得られる。(7)式の逆行列演算は2行2列であるから容易に求められる。

4. 実験

図1にランダム雑音を加えた2次元信号 $x(i, j)$ ($i, j = 0, \dots, 63$) を示す。ダイナミックレンジは $[0, 255]$ であり、図中の3段階のレベルは200, 100, 50である。図2は、図1の原信号に対してサンプル変位 (ai, aj)

$= (9, 9)$ と輝度、コントラスト変化 ($a=0.9, b=-5$) を施し、雑音を加えた信号 $z(i, j)$ である。(3), (7)式によりサンプル変位と輝度、コントラスト変動の推定を行った。表1に $x(i, j)$ と $z(i, j)$ の S/N を同時に変えたときの推定結果を示す。表1より、 $S/N=30$ dB の場合、 $d(i, j)$ の最大値は0.25まで減少するが、変位ベクトル(2次元変位量)は正しく推定されている。また、 $S/N=40$ dB 以上では比較的正確に輝度およびコントラスト変動が推定されている。図3に $S/N=40$ dB の場合の位相相関関数 $d(i, j)$ を示す。最大値抽出による変位ベクトルの検出に対して充分先鋭なピークが得られていることがわかる。以上の実験より、提案した手法は輝度、コントラストが変動しても、それら変動量と変位ベクトルを正確に推定できることがわかる。

5. むすび

位相相関を用いた変位ベクトル推定法は、輝度、コントラスト変動のある場合にも有効に動作し、それら変動量を雑音環境下でも推定できることを示した。信号に周期性のない場合あるいは複数の動きが並存する場合にも、適当なブロックサイズを選択により良好な特性が得られる可能性があり、今後の課題である。本手法は時間的輝度変化の推定を含んだ動き補償アルゴリズム、および、空間的輝度変化の推定を含んだステレオ画像間の視差補償アルゴリズムに適すると考えられる。

(1989年2月8日受付, 1989年3月27日再受付)

【参考文献】

- 1) 木本, 安田: “動画像のフレーム間予測符号化のための輝度シフト補償について”, 信学大全, D-73 (1988)
- 2) C. D. Kuglin, D. C. Hines: “The Phase Correlation Image Alignment Method”, Proc. IEEE, Int. Conf. on Cybernetics and Society, pp. 163-165 (Sep., 1975)
- 3) M. Götze: “Generation of Motion Vector Fields for Motion Compensated Interpolation of HDTV Signals”, Int. Workshop on Signal Processing of HDTV, L'Aquila, Italy (Feb., 1988)

わたなべ ひろし
渡辺 裕 昭和60年、北海道大学大学院博士課程修了。同年、NTTに入社。画像信号の高効率符号化方式の研究に従事。現在、NTTヒューマンインタフェース研究所主任研究員。工学博士。正会員。

ふしき けんじ
矢口 博之 現在、長岡技術科学大学電気電子システム工学課程在学中。デジタル信号処理の研究に従事。