

高速ビジョンチップの応用に関する研究

— 高速ビジョンチップのためのぶれ画像復元の一手法 —

沓掛暁史・佐藤辰雄

大分県・産業技術総合研究所研究交流センター

Study on Application of High Speed Vision Chip

— A Method of Restoring Images Blurred by Moving for High-Speed Vision Chip —

Akifumi KUTSUKAKE・Tatsuo SATO

Oita-AIST Joint Research Center

要旨

高速ビジョンチップを応用した超高速検査・計測装置の実現を目指している。これまでの研究により、高速移動する物体をビジョンチップで撮像したときに発生する“ぶれ”の影響のため、ビジョンチップの演算能力から予想される処理時間で物体の検査・計測処理ができないことが明らかになった。本年度は、一方向に移動する物体を撮像した場合のぶれ画像に対して劣化過程を単純な線形結合によりモデル化し、ぶれ画像から原画像の推定を試みた。実験の結果、提案するモデルを用いた復元処理が可能であることが明らかとなった。

1. はじめに

目視検査・計測の自動化技術は、工業製品の製造分野だけでなく、農海産物の選別や交通量計測など様々な産業分野で必要とされており、かつオンラインでの高速処理が可能なシステムの需要が高まっている。

近年、リアルタイム処理が可能なデバイスとして、光検出器と処理回路を1チップに集積化したビジョンチップが注目されている。その中でも特に、 S^3PE アーキテクチャに基づくビジョンチップ（以下 S^3PE-VC ）は、画像処理の汎用性を有しながら1,000 フレーム/秒の高速処理が可能な高機能視覚センサである⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。我々は、 S^3PE-VC を用いた高速移動する物体の検査・計測装置の実現を目指しているが、装置の実現に際し、得られた画像にぶれによる劣化が生じ、これが高速検査・計測システム構築の障害要因となることが明らかになった⁽⁴⁾。

そこで本研究では、 S^3PE-VC への機能搭載を目的とした、ぶれ画像復元処理の一手法を提案し、計算機を用いた復元実験によりその効果を確認する。

2. ぶれ画像の復元

2.1 復元の必要性

Fig. 1 に、劣化画像の一例を示す。これは市販のデジタルカメラで撮影した画像であるが、 S^3PE-VC で高速移動する物体を撮像する際も、Fig. 1 (b)のようなぶれによる劣化が発生する。このままFig. 1 (b)を二値化した場合、Fig. 1 (c)のように物体中に存在する穴は消滅し、

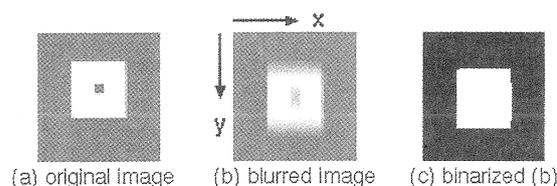


Fig. 1 ぶれによる劣化画像の例

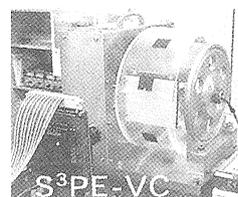


Fig. 2 実験装置外観

正確な検査や計測処理は行えない。高速移動する対象物に対して S^3PE-VC を用いたシステムを構築する場合、 VC の画像演算時間は十分速いため、フレームレートは画像取り込み時の画像の状態に依存する。

劣化画像の復元については、これまでに様々な手法が提案され成果が挙げられている⁽⁵⁾が、それらは計算機上で複雑な演算と多くのメモリ領域を必要とする。 S^3PE-VC は、汎用 CPU と比べて単純な演算しか実行できず、かつ限られたメモリ量しか持たないため、 S^3PE-VC で実現するシステムに、既存の復元処理は適用できない。

2.2 劣化モデル

本研究では、Fig. 2 に示す実験装置を用いて検証を行う。装置は、回転可能な透明アクリルドラムと赤色

LEDの透過照明により構成されており、ドラムを高速回転させることにより、ドラム上に描画した対象物が高速移動する様子をシミュレートする。本装置を用いることで、物体の移動は単一方向のみ(Fig.1 (b)においてはy軸方向)を考える。

画像の劣化は、原画像を f 、劣化画像を g として、次の様に線形結合モデルで表す。

$$g = Bf + n \quad (1)$$

ここで B は劣化過程、 n はノイズである。簡単化のため、ここではノイズを無視できる ($n = 0$) と仮定する。式(1)より、原画像を復元した画像は、 B が逆行列を持つ場合には式(2)で表される。

$$\hat{f} = B^{-1}g \quad (2)$$

ただし、一般には次式で表される。

$$\hat{f} = B^+g \quad (3)$$

ここで、 B^+ は疑似逆行列である。

劣化モデル B は、Fig.3 に示すようなぶれ画像の発生過程を基に設定する。

物体が静止しており、ぶれが発生しないときに Fig.3 (a)のような画像が得られる例で考える。このとき、静止する物体の投影点である画素 $i-3, i-2, i-1, i$ の位置に階調値が一様に $a_1 + a_2 + a_3 + a_4$ の画像となる。このような物体が撮像中に移動することによるぶれの劣化

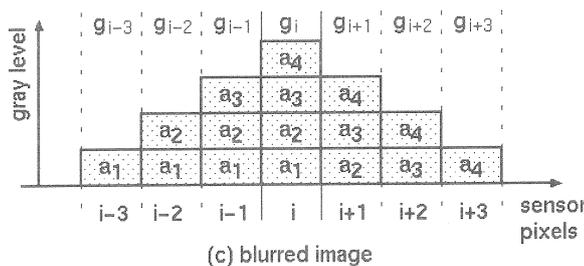
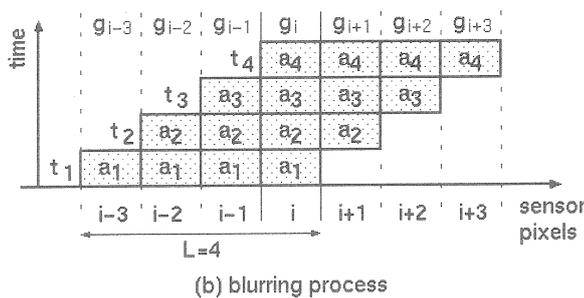
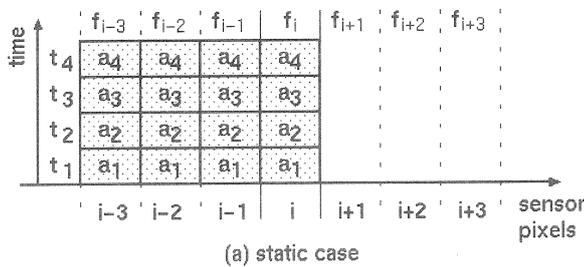


Fig. 3 ぶれ画像の発生する過程

モデルを考えるため、1フレーム処理の中で単位画素のぶれ量を L [pixel] とし、これが既知であるとする。Fig.3 (b)は、ぶれが発生する過程を模式的に示したもので、 $L = 4$ としている。劣化モデルは、時刻が t_1, t_2, t_3, t_4 と進む毎に物体の投影点が1画素ずつ均等に、物体の移動方向 (Fig.3 右方向) へずれていく様を想定する。初期位置から $L-1$ 画素分ずれたところで1フレーム分の劣化過程は終了し、終了時点での物体投影点の総和が、画素に対応する光センサの出力階調値となる (Fig.3 (c))。これが、ぶれによる劣化画像である。この場合、例えば画素 i における劣化画像の階調値 g_i は次のように示すことができる。

$$\begin{aligned} g_i &= a_1 + a_2 + a_3 + a_4 \\ &= \frac{f_{i-3}}{4} + \frac{f_{i-2}}{4} + \frac{f_{i-1}}{4} + \frac{f_i}{4} \end{aligned}$$

このモデルでは、例えば Fig.3 (b)の画素 i が画像の端点、つまり $i = 0$ の場合、 $i-1$ 以下のデータは画像領域外となり適用できない。そのため、画素 i が $0 \leq i \leq L-1$ の場合は境界条件として特別に扱うこととし、 B の要素を次式のようにモデル化する。

$$g_i = \begin{cases} \frac{1}{i+1} \sum_{n=0}^i f_n & \text{if } 0 \leq i \leq L-1 \\ \frac{1}{L} \sum_{n=i-L+1}^i f_n & \text{if } L \leq i \leq N-1 \end{cases} \quad (4)$$

N は対象画像の y 軸方向の画素数である。式(4)より、例えばぶれの長さ $L = 3$ のときの劣化関数 B は、式(5)のようになる。このような劣化関数の逆行列 B^{-1} を算出し、式(2)により復元画像 \hat{f} を求める。

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \end{pmatrix} \quad (5)$$

2.3 実験結果

復元処理について計算機による実験を行った。Fig.4 において、市販のデジタルカメラを用いて撮影した画像 (a) ($L=0$) に対し、モデル式(4)に基づきぶれの長さ $L=11$ で劣化させた画像 (b) を、式(2)で復元した画像が (c) である。それぞれの画像は 64×64 画素、8bit 階調である。また同図 (d), (e) は劣化画像 (b) と復元画

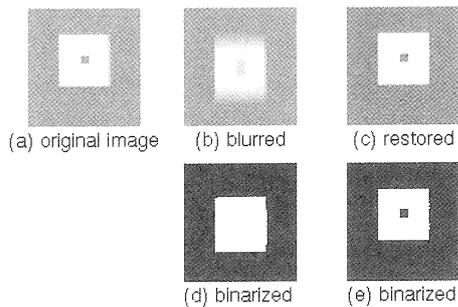


Fig. 4 理想画像の復元処理実験結果
 (a) 原画像(L=0), (b) (a)の劣化画像(L=10)
 (b)の復元画像, (d) (b)の二値化画像,
 (e) (c)の二値化画像

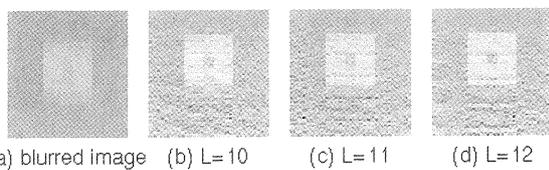


Fig. 5 実画像にてぶれ長 L を変化させたときの復元画像

像(c)をそれぞれ閾値 160 で二値化したもので、これを見て明らかなおおりに、画像を復元したことにより原画像中の穴が復元されている。Fig.5 に、実際に物体を高速移動させて撮影した画像について復元処理した結果を示す。L=11(Fig.5 (c))が、復元画像として妥当である。

しかし Fig.5 (b) (c) (d)の画像には、縞模様の構造的なノイズが見てとれる。実験により、提案したモデルによる復元処理の欠点が見明らかとなった。

5. おわりに

本年度の研究では、S³PE-VC を用いた検査・計測装置の構築のために、ぶれ画像から原画像を復元するモデルを提案し、計算機による復元実験によりその有効性を検証した。ノイズ成分を無視し、簡単なモデルを用いたにも関わらず、復元処理は可能であることが確認できた。次のステップとして、復元画像に存在する構造的なノイズを抑制または除去する手法を検討すること、およびビジョンチップへの復元処理の実装と検証の必要がある。

ビジョンチップを応用することで、CCD カメラなどを用いた既存の画像処理システムの処理速度(例えば1秒間に30フレームの処理を前提としたビデオレート)を超える高速検査・計測装置の実現が可能となる。

本研究の遂行にあたり、懇切丁寧なご指導を賜りました東京大学情報理工学系研究科 石川正俊教授に深く感

謝の意を表します。また、研究に対し貴重なアドバイスと便宜を図って頂きました石川橋本研究室ビジョンチップ研究グループの小室孝氏と鏡慎吾氏、および様々な面でご協力頂いた石川橋本研究室の皆様に、心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 小川一哉, 小室孝, 石井抱, 石川正俊 : “S³PEアーキテクチャに基づくデジタルビジョンチップとその集積化”, 信学技報, pp. 7-13, 1999.
- 2) 鏡慎吾, 小室孝, 小川一哉, 石井抱, 石川正俊 : “64×64 PE を集積した超並列ビジョンチップとそのシステム開発”, 第4回システムLSI琵琶湖ワークショップ, pp. 271-274, 2000.
- 3) 小室孝, 石川正俊 : “PE結合機能を持つ汎用デジタルビジョンチップの設計”, 信学技報, pp. 9-16, 2001.
- 4) 杓掛暁史, 佐藤辰雄, 鏡慎吾, 小室孝, 石川正俊 : “ビジョンチップの高速検査計測への適用”, 第19回日本ロボット学会学術講演会, 1F31, 2001.
- 5) 藤田和弘, 阪本禎宏, 吉田靖夫 : “非一様画像モデルを基礎とした運動劣化領域の抽出と復元”, 電子情報通信学会論文誌, D-II, No. 3, pp. 573-580, 1992.
- 6) 杓掛暁史, 佐藤辰雄, 鏡慎吾, 小室孝, 石川正俊 : “高速ビジョンチップのためのぶれ画像復元の一手法”, 第20回日本ロボット学会学術講演会, 1A31, 2002.