

高速ビジョンチップの応用に関する研究

沓掛暁史*・佐藤辰雄**・小室孝†・鏡慎吾†・石川正俊†

*機械電子部・**大分県・産業技術総合研究所研究交流センター・

† 東京大学情報理工学系研究科

Study on Application of High Speed Vision Chip

Akifumi KUTSUKAKE*・Tatsuo SATO*・

Takashi KOMURO†・Shingo W. KAGAMI†・Masatoshi ISHIKAWA†

*Mechanics & Electronics Division・**Oita-AIST Joint Research Center・

† School of Information Science and Technology, University of Tokyo

要旨

様々な産業界において、目視による検査や計測処理の高速化が求められている。本研究では、ビジョンチップに代表される高機能視覚センサを検査や計測に応用し、CCD カメラなどを用いた既存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・計測装置の実現を目指している。

本年度は、S³PE 構造を有するビジョンチップの高速検査・高速計測への適用可能性確認のため、ビジョンチップが基本画像処理に要する処理時間の確認と、高速移動する対象物に応用した場合の問題点を抽出する実験検討を行った。

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いる。これまでに、CCD カメラやラインカメラを利用した各種自動化システムが開発されてきた。一方、近年になって製品などの多品種大量化と高品質化の需要から、検査や計測に要する時間と工数が増大したため、自動化システムの高速化に対する声が高まっている。

既存の検査・計測システムは、CCD カメラなど視覚センサの画像情報を、ビデオ信号の伝送速度(ビデオレート)で画像処理装置に取り込んで処理するのが一般的である。この場合、演算部が高速処理を行えたとしても、ビデオレートがボトルネックとなり、それ以上の高速化は望めない。このボトルネックを解消する技術が、近年注目されている超並列・超高速ビジョンチップシステム¹⁾である。このシステムは、ビジョンチップ内で画像特徴量などの演算を高速に実行できるため、伝送速度のボトルネックが問題とならない。

本研究で用いるビジョンチップは、汎用かつ高速視覚を実現するために、光検出器 (PD) と汎用処理要素 (PE) を画素ごと 1 対 1 に直結し集積化するアーキテクチャ S³PE (Simple and Smart, Sensory Processing Element) を採用している²⁾³⁾ (Fig.1)。S³PE 構造を有するビジョンチップ(以下、S³PE-VC)の各 PE は SIMD 型制御で動作し、濃淡画像の処理も可能な 1bit×32 のローカルメモリと、ビットシリアル ALU を持つコンパクトな回路構成である。また、それぞれの PE はその 4 近傍と接続されており、局所並列処理を高速に実行できる。光入力部は、PD の光蓄積時間が可変なため、入射光の強度に応

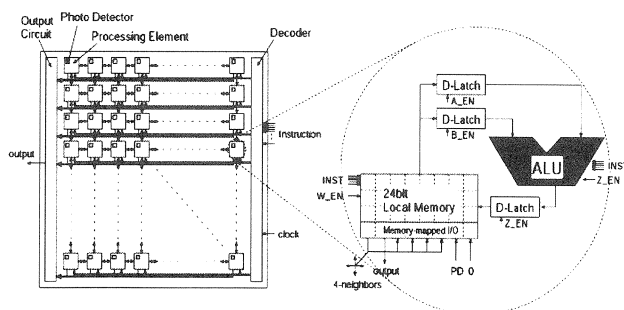


Fig. 1 S³PE ビジョンチップの構造

2. ビジョンチップの検査・計測への適用

2.1 ビジョンチップ

じて検出感度を調整可能である。S³PE-VC は、処理の種類を外部制御部からの制御が可能な、汎用高性能視覚センサである。

2.2 検査・計測と S³PE-VC

検査・計測システムの産業応用分野には、主に形状や表面検査、組み立てロボットの視覚処理、部品の選別や仕分けなどが挙げられる。いずれの分野でも、前処理としてノイズ除去や2値化、特徴抽出としてエッジ抽出や細線化、モーメント演算、認識においてパターンマッチングといった基本処理手法が多用される。

検査・計測システムの中で、これら基本的処理を視覚センサに分担させることは、画像処理装置で複雑になる一方の処理を簡素化できるだけでなく、全体の処理時間の短縮に効果的であるといえる。

2.3 評価実験 I (静止した対象物への適用)

局所並列処理を中心に数種類の画像処理手法について、64×64画素を集積化した S³PE-VC の画像処理速度を評価する。処理の対象画像は2値画像である。今回実験対象としたのは、以下の処理である。

- ネガポジ変換：入力画像の階調値を反転
- 平行移動：注目画素と4近傍とで画素値を通信し、入力画像を上下左右へ移動
- エッジ抽出：4近傍画素値を参照し、近傍の少なくとも一つが背景画素ならば注目画素は図形画素として抽出。その他は背景画素に変換
- 膨張：4近傍画素値を参照し、近傍に図形画素が存在すれば注目画素を図形画素値に変換
- 孤立点除去：4近傍画素と通信し、注目画素の8近傍画素値を取得後、8近傍がすべて背景画素であれば注目画素を孤立点として除去
- 膨張収縮法による欠陥検出：膨張処理 n 回、その後収縮処理 n 回実行し、入力画像との排他的論理和演算により穴/欠けの欠陥を検出
- トポロジーを保存する単点縮退：8近傍画素を参

照し単点(孤立点)へ縮退。単点へ縮退可能な図形の大きさは最大街区画距離 d

- ◆ 物体検出：行方向、後に列方向射影演算を用い、視野内の図形画素の有無を検出
 - ◆ 視野内図形画素の総和演算：すべての画素を走査し、累積加算
- ※ ●：局所並列処理 ◆：局所並列でない処理

S³PE-VC による画像処理例を Fig.2 に示す。いずれの処理も、所望の動作を行っていることを確認した。

各処理の実処理時間の評価は、S³PE-VC のインストラクション数を計数することにより行う。ここでは、S³PE-VC 制御信号の送信レートを 10MHz とした。また PD の光蓄積時間は、実験環境の照明条件により 1.4ms(固定)としている。

S³PE-VC は基本演算として AND, OR, EXOR, 全加算など 10 種の論理演算と 8 種の算術演算を有する。これら基本演算の実行時間を評価すると、同一 PE 内ローカルメモリ 1bit 同士の演算の場合は約 2μs、PE 内ローカルメモリ 1bit と近傍画素値 1bit との演算の場合は約 10μs であった。同様に、対象である画像処理の処理時間を評価した結果を Table1 に示す。

Table1 S³PE-VC の処理時間

処理	処理時間
● ネガポジ変換	0.0022 ms
● 平行移動 (10 画素)	0.012 ms
● エッジ抽出	0.043 ms
● 膨張 (1 回)	0.043 ms
● 孤立点除去	0.13 ms
● 膨張収縮法 (n=5)	2.1 ms
● 単点縮退 (d=32)	4.7 ms
◆ 物体検出	1.3 ms
◆ 総和演算	4.8 ms

※ 実験条件の更新により、最大 10 倍の高速処理可能

Table1 より S³PE-VC は、局所並列処理にてサブミリ秒オーダーの高速処理が行えることが分かる。局所並列でない、例えば物体検出の場合も、本実験条件で視野を 64mm 四方と仮定したときに検出可能な物体の移動速度(推論値)は、

$$(視野[mm]/2)/(PD 蓄積時間[ms]+処理時間[ms]) = (64mm/2)/(1.4ms+1.3ms) = 12m/s = 42km/h$$

と算出でき、S³PE-VC の画像処理速度の点からすると、高速物体検出装置は実現可能であるといえる。

総和演算など全画素の走査が必要な処理は、局所並列処理に比べ処理時間が増えるものの、ビデオレート(33ms)と比較すると依然高速である。特にモーメント演

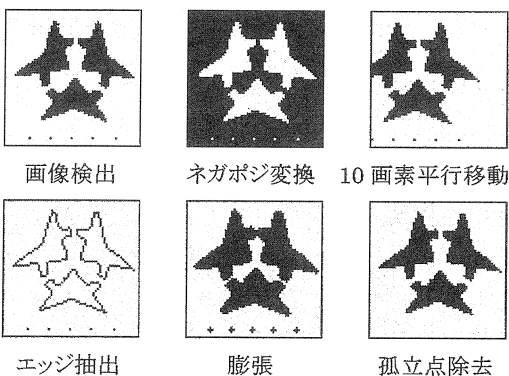


Fig.2 評価実験 I (64×64 画素 2 値画像) 例

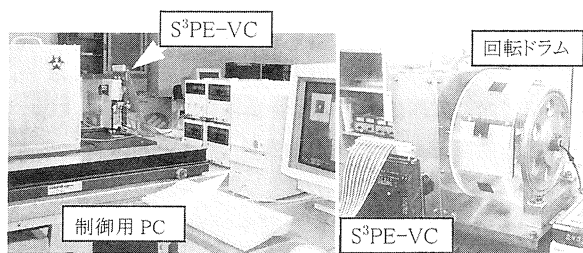


Fig.3 実験装置外観(左)と装置の回転ドラム(右)

算などで多用する総和演算については、今回使用しなかった S³PE-VC の総和機能⁴⁾を使用することで本実験結果以上の高速処理が期待でき、S³PE-VC の応用範囲はさらに拡大する。

2.4 評価実験 II (高速移動する対象物への適用)

2.3 節で S³PE-VC の高速並列処理能力が明らかになったが、これを高速移動する対象物に適用する評価実験を行った。Fig.3 に実験装置外観を示す。この装置は、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。S³PE-VC はパラレル I/O ボードを介して接続された PC からダウンロードした制御プログラムによって動作し、S³PE-VC から出力された画像は PC モニタに表示される構造⁵⁾となっている。

2.3 節で得られた結果から推測される検査システム検出可能速度と、装置を用いた実験結果を Table2 に示す。ここでは正誤判定の行いやすい膨張収縮法による欠陥検出と物体検出を例とした。また、欠陥検出に用いた欠陥は 5mm 四方の大きさのピンホールを、物体検出においては一辺 3mm の正方形物体を実験対象とした (Fig.4)。

この実験により、高速移動する対象物に対しては

Table2 S³PE-VC 計測システムの動画像処理実験

処理	処理可能速度	
	推測値	実測値
● 膨張収縮法 (n=5)	9.1m/s	3.8m/s
◆ 物体検出	12m/s	4.3m/s

※ 実測値は 10 回測定した中での最小の値

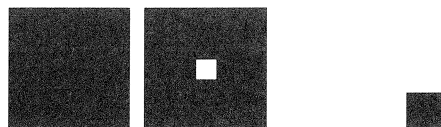


Fig.4 評価実験 II で用いた対象物

[左] 欠陥検出の合格対象物と不合格対象物
[右] 物体検出で用いた対象物 (一辺 3mm)

S³PE-VC の画素並列処理能力を最大限利用できていないことが分かる。これは S³PE-VC に最初に画像を取り込む際に発生する問題であり、S³PE-VC が持つ PD の感度により光蓄積時間が長い (本実験では 1.4ms) ため、画像を取り込んでいる間に対象物が移動して像がぼけたり、2 値化処理時に消失する画素が生じたことが原因と考えられる。

S³PE-VC の高速な画素並列処理能力を活かし、これまでにない速度での検査・計測システム構築のためには、撮像時に対象物がぼけることが大きな壁となる。問題解決のためには例えば、①高速移動する対象物のぼけた像を S³PE-VC の演算機能により復元する、②光源を強力にして S³PE-VC の光蓄積時間を短くする、などの手法が挙げられ、これら手法を含めて有効な解決法についての検討を現在進めている。

3. おわりに

本年度の研究では、検査・計測に用いられる基本的な画像処理に対して S³PE 構造のビジョンチップを適用し、その処理時間の視点から高速検査・計測への有用性を明らかにした。局所並列処理を行う S³PE-VC は、ビデオレートの数十から数百倍の高速処理を行うことができる。なお実験では周辺回路の都合上、制御信号の送信レートを 10MHz としたが、実験に用いた S³PE-VC は 100MHz まで動作可能であり、周辺回路の改良により最大 10 倍の高速化が見込まれる。

また本研究により、高速移動する対象物に対し検査・計測応用する際の問題点が明らかになった。この問題については、来年度も引き続き解決法についての研究を進めていく。併せて S³PE-VC の特徴を活かした検査・計測処理アルゴリズムを確立することで、新しい超高速検査・計測システムの実現を目指す。

平成 13 年度、S³PE-VC 開発元の東京大学ではビジョンチップ協議会を発足した。これに十数社の民間企業が参加しているという動向からも、S³PE-VC は実用化の段階に入ってきたと言える。本研究についても、技術移転が視野に入るレベルまで早急に引き上げたい。

謝辞

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すべての皆様に、心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 石川正俊：“超並列・超高速視覚情報処理システム-汎用ビジョンチップと階層型光電子ビジョンシステム-”，応用物理，第67巻，第1号，pp33-38，1998.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 鏡慎吾，小室孝，中坊嘉宏，石井抱，石川正俊：“ビジョンチップ評価システムとソフトウェア開発環境”，第19回日本ロボット学会学術講演会，1F34，2001.
- 6) 杳掛暁史，佐藤辰雄，鏡慎吾，小室孝，石川正俊：“ビジョンチップの高速・検査計測への適用に関する検討”，第19回日本ロボット学会学術講演会，1F31，2001.