

# ビジョンチップによるマルチターゲット トラッキングと視覚計測への応用

## 高速ビジョン応用の新たな展開

東京大学

渡辺 義浩・石川 正俊

ビジョンチップは、ビデオレート (NTSC 30Hz) を大幅に上回る高いフレームレートを実現する視覚デバイスである。このビジョンチップの導入によって、高速に運動をする対象に対しても、正確に観測を行うことが可能となる。また、外界の変化にも敏速に対応可能なシステムを構築することができる。これらの利点は、ロボット制御や検査応用などのリアルタイムアプリケーションにおいて効果が大きい。

本稿では、ビジョンチップを用いた新しい画像処理アルゴリズムとして、高フレームレートの動画像において利用可能なマルチターゲットトラッキングを紹介する。本アルゴリズムを用いた多数対象の高速な観測によって、ビジョンチップ応用の幅がさらに広がることが期待できる。このようなトラッキングを用いた視覚計測として、対象数計測と回転計測の2つを紹介する。

### はじめに

これまでの視覚システムは、撮像を担うカメラと処理を担う計算機の組み合わせで構成されていた。このようなシステムは、転送ボトルネックを回避することができない。このため、フレームレートをビデオ信号以上に上げることができないという制約を抱えていた。このことは、視覚計測などのアプリケーションにおいて顕著な問題となる。

これに対し、従来をはるかに上回るフレームレートを実現する視覚デバイスの開発が近年なされている。その代表的な例として、ビジョンチップがある。ビジョンチップは、センサと処理回路を各画素内に搭載することで、自らが処理能力を備えたセンサである。このような構成によって、1秒間に1000フレーム以上の高速な画像処理を可能とする。

ビジョンチップを利用することで、視覚計測はいくつかの優れた利点を備えることができる。例えば、対象の高速かつ不規則な運動も高精度に観測できることが挙げられる。また、外界の変化に対して、従来よりも敏速にシステムを応答させることも可能となる。これらの特徴は、特にロボット制御や検査応用などの分野において効果が大きい。

これまでのビジョンチップ応用では、単一の対象を扱うトラッキングが主に用いられていた。これに対して、多数の対象を高いフレームレートで観測することで、様々な処理が可能となり、アプリケーションの幅がさらに広がることが期待できる。

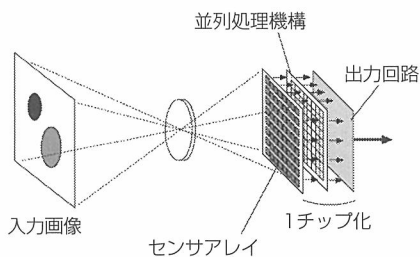
このような背景のもと、ビジョンチップの応用展開に役立つ処理として、マルチターゲットトラッキングを紹介する。これは、高フレームレートや画素並列処理などの機能を活用したアル

ゴリズムとなっている。これにより、高フレームレート下の動画像においても、リアルタイムでの複数対象の観測を実現することができる。

さらに、マルチターゲットトラッキングの応用例として、対象数計測と回転計測の2つの視覚計測を紹介する。対象数計測は、画面上に出現する領域の累積数をカウントするものである。また回転計測は、運動物体の回転軸、回転速度を計測するものである。いずれも高速な計測を実現する点で実用性が高く、様々なシステムへの適用が期待できる。

### ビジョンチップとそのアプリケーション

本章では、高速な視覚処理を実現するビジョンチップのハードウェアとアプリケーションについて解説する。



第1図 ビジョンチップのモデル

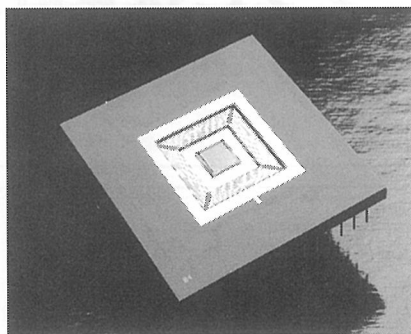
第1図に示すように、ビジョンチップは画素ごとに光検出器と処理回路を搭載した視覚デバイスである。従来は分離されていた撮像素と処理系の2つを同一のチップ上に統合することで、次の点において優れた特徴を備えている。

- 撮像と処理の1チップ化による高いフレームレートの実現
- 1チップ化によるシステムの小型化
- 情報転送量の縮小に伴う消費電力の小規模化

従来のビジョンチップは、アナログ処理回路によって構成されたものが多かった。このようなアナログビジョンチップは、必要となるトランジスタ数が少ないため、各画素の回路規模が小さい。そのため、高集積の利点を持つが、一方で機能を多様化できない欠点を持っていた。

これに対し、近年の半導体集積化技術の発展に伴い、デジタル回路で構成されるビジョンチップの実現が可能となった。デジタルビジョンチップは、回路規模が大きくなる問題を含んでいるものの、様々な機能を備えることができる。このように、汎用性が高いため、アプリケーションにおいて、高度かつ柔軟な処理を行うことが可能である。

本稿で紹介する視覚計測では、筆者らの研究室で開発した汎用デジタルビジョンチップを用いている<sup>1) 2)</sup>。第2図にその写真を示す。画素数は64×



第2図 汎用デジタルビジョンチップ

64である。プログラムを与えることで、様々な処理を実行することが可能である。また画面全体の総和や重心を高速に演算することができる点でも優れている。

ビジョンチップの導入によって、高速な画像処理が可能となる。これを活用したアプリケーションは、ロボット制御、顕微鏡応用、製品検査などの広い分野にわたっている。

ロボット制御においては、急激な環境変化にも敏速に機器が対応できることが、様々なタスクを実現する上で重要である。これは、ビジョンチップの高いフレームレートでの外界の観測によって可能となる。これまでに、キャッチング<sup>3)</sup>やバッティング<sup>4)</sup>のタスクに関して、大きな成果を上げている。

顕微鏡応用においては、ゾウリムシなどの対象の運動が高速であるため、従来は観測が困難であった。これに対して、ビジョンチップの導入により、高精度な計測が可能となることが期待されている。これまでに、ゾウリムシをリアルタイムでトラッキングするシステムが開発されている<sup>5)</sup>。

工業製品や農作物などに関する検査応用においては、超高速なオンライン計測によって、検査に要する時間を大幅に短縮することができる。実際に、評価システムが構築されており、ビジョンチップが重要な役割を果たすこと

が示されている<sup>6)</sup>。

これらの応用例は、視覚処理として、トラッキングを利用している。高いフレームレートで行われるトラッキングは、精度の高い観測を可能とするため、アプリケーションにおいて有用性の高いものである。一方で、上記の応用例で用いられていた手法は、単一対象のみを扱うものであった。これに対し、多数の対象を追跡できる新たな手法を導入することで、ビジョンチップを利用した応用の幅をさらに広げることが期待できる。

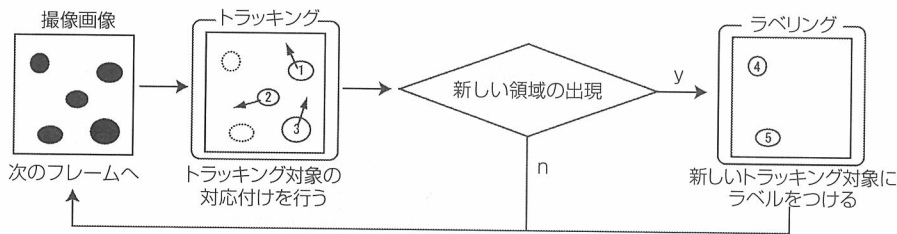
## ビジョンチップのためのマルチターゲットトラッキング

高いフレームレートで撮像を行うことで、フレーム間の画像変化は小さくなる。従来のビジョンチップによるトラッキングは、この特徴に基づいたシンプルな手法<sup>7)</sup>を用いていた。一方で、この手法は単一の対象に対してのみ成立するものである。多様なアプリケーションのためには、多数対象の観測を可能とする新しい手法への拡張が必要である。

これを実現するアルゴリズムとして、ビジョンチップによるマルチターゲットトラッキングを紹介する。本手法は、従来のトラッキング処理に、ラベリング処理を新たに加えることで、複数対象の追跡を可能とするものである<sup>8)</sup>。

ビジョンチップのためのラベリング処理として、2分探索による手法を採用する。この手法は、画素数が増えた場合にも、画面全体の探索を効率よく行い、高速にラベリングを行うものである。

第3図に、本マルチターゲットトラッキングの概要を示す。図に示すように、既にトラッキング対象としてラベ



第3図 ビジョンチップのためのマルチターゲットトラッキングの概要

ル付けされているものには、トラッキング処理を適用し、フレーム間の対応付けを行う。さらに、画面内の対象数に変動があるなど、新たにトラッキング対象を生成するフレームでは、ラベリング処理が適用される。

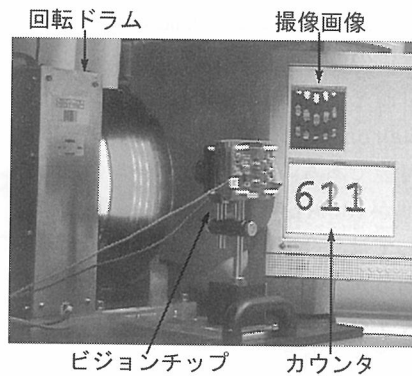
トラッキング対象の誤対応、対象同士の衝突、分離に関しても、観測しているトラッキング対象の面積や軌跡の変化を利用することで、検出が可能である。

ビジョンチップによるマルチターゲットトラッキングによって、高速な運動をする複数の対象を正確に捉えることができる。次章以降では、実用的なアプリケーションとして、対象数計測と回転計測の2つを紹介する。いずれも、非接触かつ、高速な計測を実現し、またビジョンチップ上の画像処理を併用することで、柔軟な計測を可能とするものである。

## 対象数計測

対象数計測は、画面中に出現する分割領域の累積数をカウントするものである。高いフレームレートでカウントを行うため、画面内を高速に移動する対象に対しても適用が可能である。また、新たに画像処理を加えることで、特定の形状、大きさを備えた対象のみをカウントすることも可能である。

このような対象数計測によって、画面内の対象の移動を従来よりも大幅に高速化することができる。例えば、稚



第4図 対象数計測

魚などの小動物群や、ラインを流れる農作物などの対象に関して、短時間かつ高精度に検査することができ、産業分野において効果が大きいアプリケーションである。

本対象数計測は、マルチターゲットトラッキングを利用し、画面内に新たに出現した領域をフレームごとに検出することで実現できる。このように、トラッキングを利用することで、画面内を縦横無尽に移動する対象に対して

も、重複してカウントしてしまうなどの誤処理を防止し、正確な計測を行うことができる。

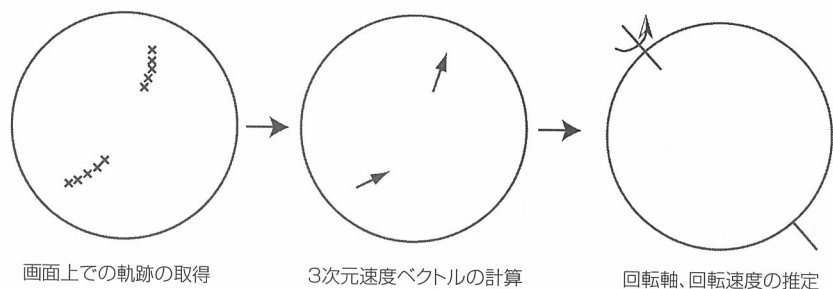
上記手法をビジョンチップに実装し、計測実験を行った。第4図にその様子を示す。計数対象を高速に回転するドラム上に設置し、フレームレート500Hz (1フレーム時間2ms) で累積数をカウントしている。ビジョンチップで得られた計測結果は外部の計算機が取得し、撮像された画像と計数結果を表示している。

結果として、人間の目では追えないほど高速に移動する対象に対しても、計数が正確に行えることを確認した。具体的には、進行方向約1.0cm (10pixel) の大きさの対象を、最大移動速度0.55cm/ms (5.5pixel/ms) まで計数可能であった。なお、これ以上の速度では、フレーム間の画像変化が大きいため、トラッキング対象の誤対応が生じる。

## 回転計測

回転計測は、回転する球の回転軸、回転速度をリアルタイムに取得するものである。高いフレームレートで観測するため、高速かつ不規則に運動状態を変化させる物体に対しても、正確に計測を行うことができる。

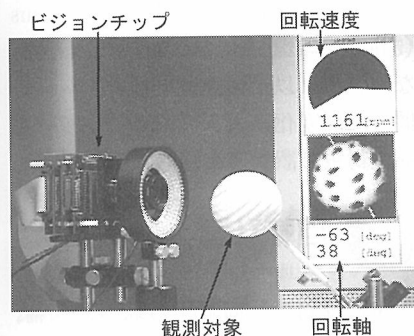
このような利点を備えた回転計測の応用として、球技におけるボールの計測が考えられる。例えば、サッカーの



第5図 回転計測のための手順

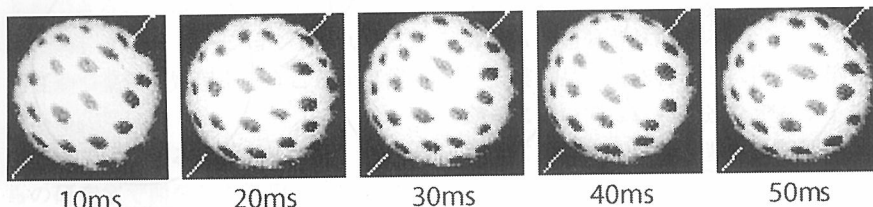
場合はフリーキック時の回転速度が約600rpm、野球の場合は投球時の回転速度が約1800rpmにまで達するとされている。このため、既存の視覚システムでは実現不可能なアプリケーションであるといえる。

本回転計測では、第5図に示すように、運動物体表面における速度ベクトルがどのように分布しているかを観測することで、回転情報を推定している。具体的には、(1) マルチターゲットトラッキングを用いた軌跡の取得、(2) 3次元速度ベクトルの計算、(3) 回転軸、回転速度の推定の3段階の手順からなる。



第6図 回転計測

上記手法を実装し、第6図に示すような環境で回転計測を行った。ビジョンチップが取得した速度ベクトル分布は、外部の計算機に送られ、回転情報の推定に使われる。今回の計測では、フレームレートを1kHz (1フレーム時間1ms) とした。10個の領域を追



第7図 回転軸の計測結果画像

跡し、回転軸、回転速度を計測している。

第7図には、計測した回転軸情報を撮像画像上に描画した画像列を示している。この図からも安定して回転軸の計測が行われていることがわかる。

結果として、今回の実験で用いた環境では、回転速度1200rpmまでの物体に対しては、回転軸、回転速度を正しく計測することが可能であった。

このことから、前述の球技における計測を考えると、ボールの回転速度が600rpmのサッカーへの適用は十分に可能である。一方で、ボールの回転速度が1800rpmにまで達する野球に対しては、今回の環境では計測が困難であるが、トラッキングの対象数を少なくすることなどで、計測は可能になると考えられる。

回転計測の今後の課題として、対象の位置を固定することなく、自由に運動する物体に対しても、計測が可能なシステムを構築することが挙げられる。また今回は、観測対象を球に限定していたが、形状に依存しない手法を導入することも、応用性の高い計測を行う上で重要である。

## 参考文献

- 1) 小室孝、石川正俊：“ビジョンチップの概要と応用”、画像ラボ、Vol.13, No.7, pp.1-4, 2002
- 2) 鏡慎吾、小室孝、石川正俊：“デジタルビジョンチップを用いた実時間視覚処理システム — 小型化・高速化と感度特性制御の実現 —”、ロボティクス・メカトロニクス講演会'03講演論文集、2P2-1F-D8, 2003
- 3) 今井睦朗、並木明夫、橋本 浩一、石川正俊：“高速多指ハンドによる柱状物体のキャッチング動作”、第4回計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会 (SI2003) (東京、2003.12.19) /講演論文集、pp.121-122
- 4) 妹尾拓、並木明夫、石川正俊：“多関節ミニピュレータを用いた高速打撃動作の研究”、第4回計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会 (SI2003) (東京、2003.12.19) /講演論文集、pp.123-124
- 5) 奥寛雅、石井抱、石川正俊：“マイクロビジュアルフィードバックシステム”、電子情報通信学会誌、D-II, Vol.84-D-II, No.6, pp.994-1002, 2001
- 6) 香掛晁史、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 (東京、2001.9.20) /予稿集、pp.381-382
- 7) 石井抱、石川正俊：“高速ビジョンのための Self Windowing”、電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J82-D-II, No.12, pp.2280-2287, 1999
- 8) 渡辺義浩、小室孝、鏡慎吾、石川正俊：“ビジョンチップのためのマルチターゲットトラッキングとその応用”、電子情報通信学会論文誌、D-II, Vol. J86-D-II, No.10, pp.1411-1419, 2003

## 【筆者紹介】

### 渡辺義浩

東京大学  
情報理工学系研究科 大学院学生  
(博士課程)  
〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1  
TEL: 03-5841-6937  
FAX: 03-5841-6952

### 石川正俊

東京大学  
情報理工学系研究科 教授  
〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1  
TEL: 03-5841-8602  
FAX: 03-5841-8604

ビジョンチップの高速な画像処理は、視覚を用いたアプリケーションを大幅に発展させる可能性を持っている。

これまでは、視覚処理として、単一対象のトラッキングが主に用いられていたが、トラッキング対象数を単一から多数へと拡張することで、アプリケーション分野のさらなる拡大が期待できる。本稿では、そのためのアルゴリズムとして、ビジョンチップによるマルチターゲットトラッキングを紹介した。

また、マルチターゲットトラッキングを利用したアプリケーションとして、対象数計測と回転計測を紹介した。これらの視覚計測は、高速な運動対象の計測を高い精度で行うことができる点で優れている。トラッキングの他にも画像処理を加えることで、様々な要件に柔軟に対応することができる。

アプリケーションにおいて、ビジョンチップを利用した高速な視覚計測の果たす役割は重要である。今後も、様々な分野への展開が期待できる。

<b>Keyword</b>	高速ビジョン	ビデオ信号 (NTSC 30Hz) を越える高いフレームレートでの撮像を可能とする視覚デバイス。
	ビジョンチップ	画素ごとに光検出器と処理回路を搭載したデバイス。高速ビジョンの代表例。
	マルチターゲットトラッキング	画像内の複数対象を同時に追跡し、各対象の移動情報を取得する処理。
	視覚計測	視覚情報を利用して、外界の状態を測定すること。

## あなたのご意見をお聞かせください

ふだん思っていること、感じていること、または情報交換等 あなたのご意見なんでも結構ですので当社へお寄せください。

◎内容

- 本誌への意見
- 情報の呼掛け、困っていること
- 経験者から若い人への注文、逆に上司への提言
- 売りたい、買いたい、譲る、貸して下さい
- テクノ俳句 テクノ川柳 短歌、写真 (特に技術に関わりなくとも結構です)

◎掲載料

- 無料…尚、掲載採用文には薄謝進呈致します。

◎署名原稿または匿名希望も受け付けます。

- 執筆文字数は200字前後として下さい。

パソコン、ワープロ等で作成し、テキストファイルにてお送り下さい。

◎締切

- 毎月末日です。順次掲載を致します。

◎住所、TELなどご記入の上、e-mail又は、FAX・郵送で本誌編集部宛お寄せ下さい。

■ 問い合わせ先 / 日本工業出版(株) 編集部まで

〒113-8610 東京都文京区本駒込6-3-26 TEL : 03-3944-1181 FAX : 03-3944-6826

e-mail : info@nikko-pb.co.jp