

画像処理システム/画像センサ

技術導入ガイド パターンマッチングアルゴリズム 形状サーチIII



Technology
Introduction
Guide



オムロンでは、画像処理技術や機械学習技術、数値最適化技術、実装技術を応用した、人の視覚情報処理を超える、高速かつ高精度な画像センシング技術を開発しています。これらは、工場自動化 (Factory Automation) のみならず、図1に示すように、映像監視 (Video Surveillance)、高度交通システム (ITS: Intelligent Transport Systems)、PCやモバイル機器における顔画像処理など、様々な分野にわたって社会基盤となるアプリケーションを生み出し続けています。オムロンでは、これらの源泉となる強力なコア技術をThink & Seeテクノロジーと呼んでいます。

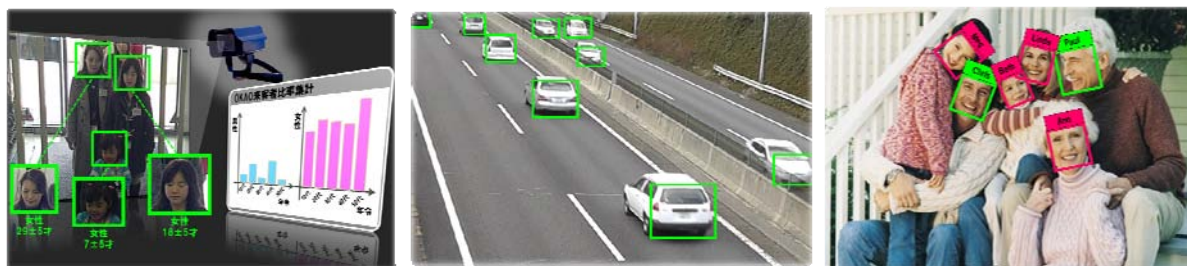


図 1. (左)映像監視システム、(中)ITS、(右)PC やモバイル画像における顔画像処理

パターンマッチング技術の進化

生産ラインや製造装置において、製品の不良判別や位置決め用途に画像センサが広く用いられています。画像センサの基本機能であるパターンマッチングは、登録したパターンに一致するものを画像中から探索し位置と姿勢を算出する機能であり、主に、外観検査の前処理としての対象物の位置ずれ修正、極性・表裏・有無などの良否判別、機械制御のための対象物の位置・姿勢の検出に用いられます。

製造装置の例としては、半導体製造プロセスにおけるパターン蒸着や、液晶製造プロセスにおけるガラス基板貼り合せが挙げられます。これらのアプリケーションでは、プロセスの微細化が進み、位置合わせの精度として μm オーダーが要求されます。また、基板上に形成される薄膜や透明部材の積層により発生するパターン同士の重なりや低コントラスト、焦点ずれなど、過酷な環境下でアライメントマークをロバストに検出することが要求されます。さらに、装置の生産性向上のためにmsオーダーでの高速な処理速度が求められています。

また、生産現場における大きな変化として、部品の組み付けや製品の整列を行うための産業用ロボットの普及が挙げられます。この中でもパラレルリンクロボットは、シンプルな機構で高速制御が可能であり、多くの産業用ロボットメーカーが参入し急速に普及しつつあります。しかしながら、このアプリケーションにおいてはロボットに部品を認識させるための画像センサの役割が重要であり、対象物の位置や姿勢、照明による影やムラ、鏡面反射によるハレーション、対象物同士の接触や重なりなどの環境変動に対してロバストに検出することが求められます。また、毎分200～400個のライン速度に対応するための高速性も同時に求められます。

このような要求に応えるためオムロンが開発したのがThink & Seeテクノロジーによる形状サーチⅢです。

FA におけるパターンマッチングアルゴリズムは大きく、対象パターンを高速に見つけるサーチ技術と、対象パターンの位置・姿勢をサブピクセルの精度で推定する位置決め技術からなりますが、これ

らは、図 2 に示すような進化を遂げて来ました。最近の研究成果により、対象形状全てを用いるのではなく安定的に検出できる特徴的な部分のみを用いる手法が、高速化および高精度化の観点から有効であることがわかってきています。これをオムロンではスパース(疎:密の対義語)な特徴と呼んでいます。形状サーチⅢでは、独自に開発したエッジベースのスパースな特徴量を用い、対象となるパターンを記述するのに最も適したエッジのみを選び出すことで、高速かつノイズに影響を受けないサーチを実現しています。また、モデル上の複数点で計測対象における対応点との誤差を求め、その和を最小にするようなモデルの回転・平行移動パラメータを計算することにより、エッジの欠損や歪みに影響を受けにくい、高精度な位置決めを実現しています。

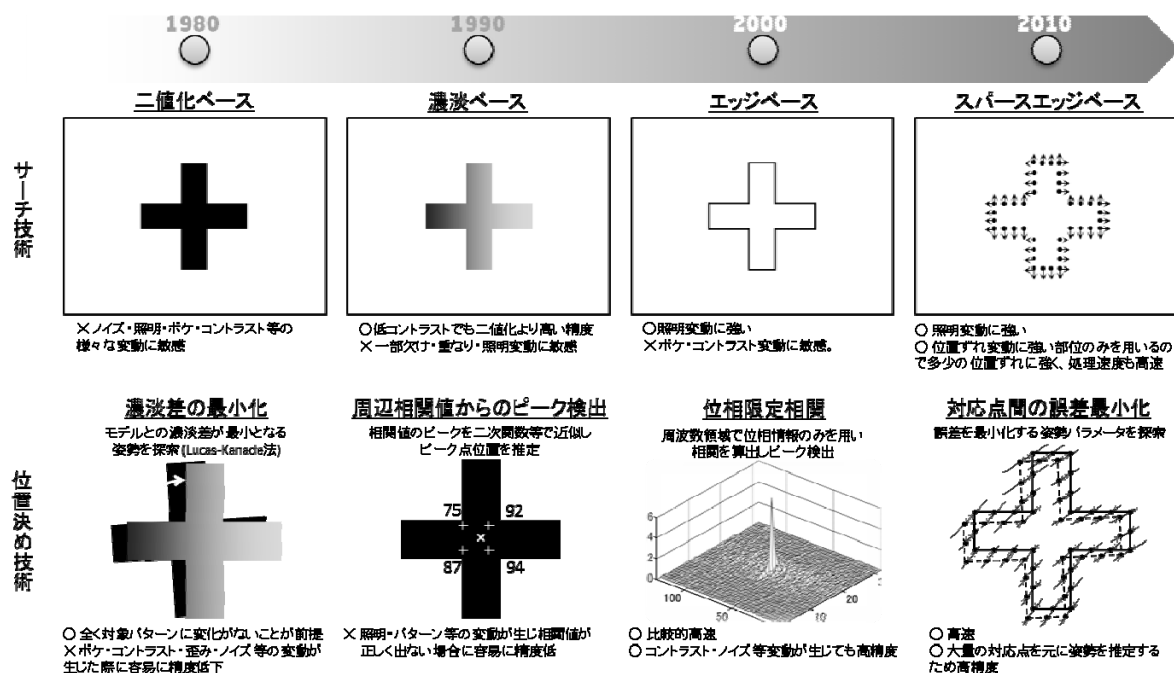


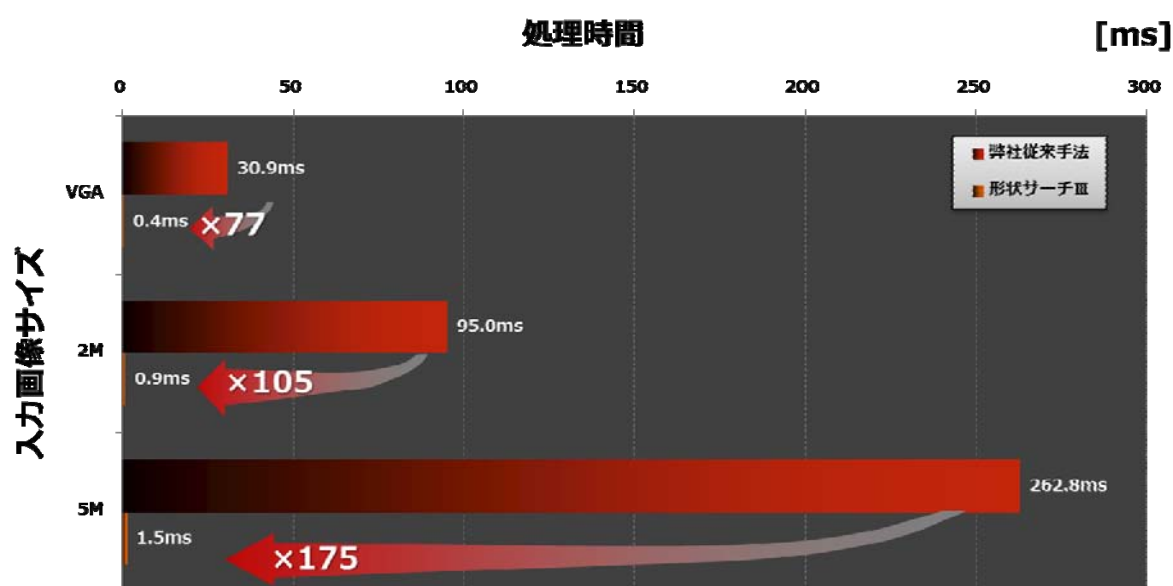
図 2. FA におけるパターンマッチングアルゴリズムのパラダイムシフト

新パターンマッチングアルゴリズム 形状サーチⅢの特徴

1. 高速なマッチング

形状サーチⅢは、弊社の従来アルゴリズム(エッジベース)を大幅に高速化します。図3は処理時間の一例を示しています。特に、高解像度カメラを用いた時には、従来に比べ100倍以上の高速化が実現できます。またVGAサイズの場合には、超高速な処理が可能であり1秒間に1000回もの計測が可能です。

このような飛躍的な高速化は、スパースエッジ特徴量と並列化処理により可能となりました。これらについて解説します。



※ 対象：画像サイズの30%程度の十字パターン、サーチ範囲：画面全体、回転範囲：回転±10°

図3. 処理時間計測結果（インテル® Core™ i7 3770K上で評価）

スパースエッジ特徴量による高速マッチング

形状サーチⅢでは、対象形状全体を特徴として用いるのではなく、ノイズや変動に強い部分のみを選択的に特徴として用い、高速化とノイズや変動に対する耐性を同時に実現しています。また特徴選択には、特にFAでよく見られる人工物に適した選択手法を用いています。図4において緑色の点で示したものが、選択されたエッジ特徴量です。従来法では、左図のように、パターン汚れやノイズに起因する大量の不安定なエッジを含んだ特徴量が抽出され、速度・精度共に低下します。これに対して、スパースエッジ特徴量は、右図のように、そうしたエッジを効果的に除去することができるので、高速な処理と、高い精度が同時に実現できます。

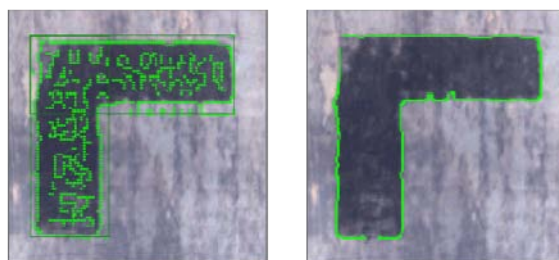


図4. (左)ノイズであるエッジを含む特徴量、(右)スパースエッジ特徴量

PC アーキテクチャの並列処理を活かした高速処理

近年の計算機のクロック周波数の向上やマルチコア・マルチスレッド化など演算処理能力の進化には目覚ましいものがあります。形 FH は最新の PC アーキテクチャを採用しており、形状サーチⅢでは、マルチコア・マルチスレッド、SIMD 命令を活用した並列処理プログラミングにより、PC アーキテクチャのポテンシャルを最大限に引き出すことに成功しています。特に画像処理のように各ピクセルに対して同じ計算を繰り返す処理においては、こうした並列演算は絶大な威力を発揮します。

2. 高い検出精度

半導体製造装置や液晶貼り合わせ装置における位置決めアプリケーションにおいては、焦点ボケ・コントラスト・欠け・隠れ・背景・複数のワーク重なりなど、様々な悪条件が起こり得ます。しかし、形状サーチⅢは、図 5 に示すように、これら悪条件でも高い検出精度を実現します。

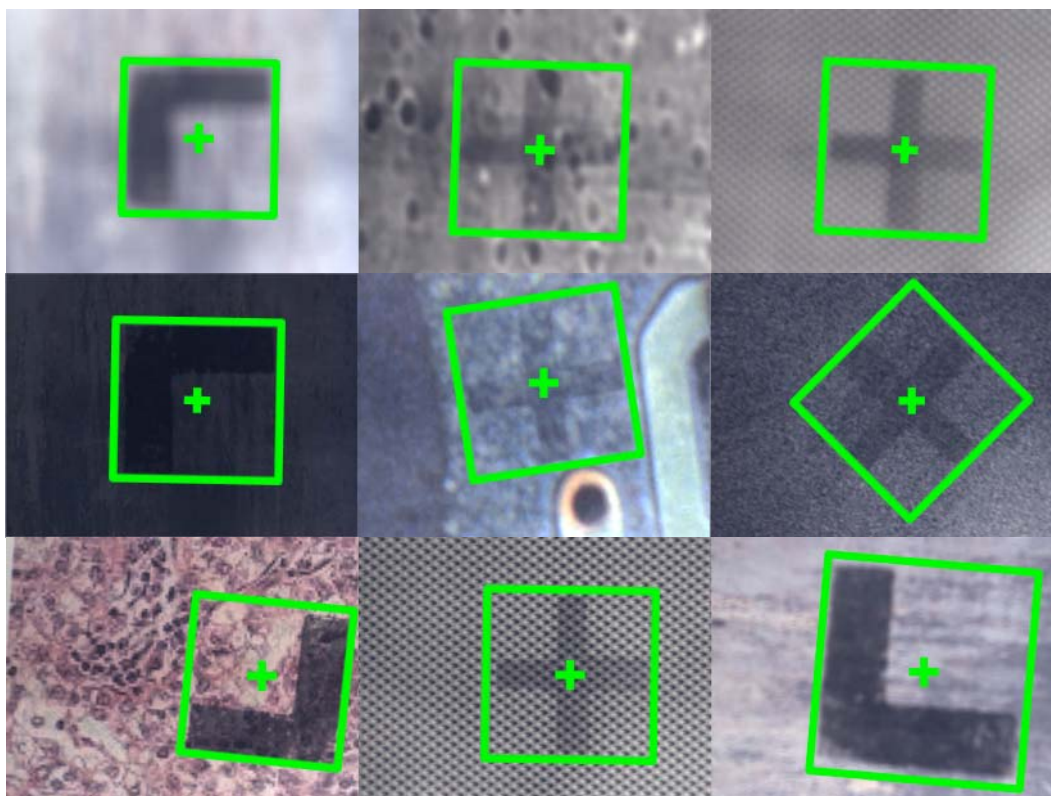


図 5. 悪条件における検出結果の例：

上段はボケ、中段は低コントラスト・ノイズ、下段は複雑背景・大きさ変化

より定量的な検出精度の評価結果として、図 6 に検出率を示します。検出率は対象のうち、正しく検出できたサンプルの割合を示すので、大きな値であるほど、検出精度が高くなります。評価の際に利用した画像は、評価結果と共に図 7 に示します。視認性の都合上、比較的分かりやすい条件のみを掲載しており、例えばコントラストなどでは、対象パターンと背景の輝度差が 1 しかない場合なども評価しています。これらの結果を見ると、対象パターンが何らかの理由でぼけた場合や、コントラストが低下した場合、サイズの変化が生じた際に、大幅に性能が改善され、利用できるシーンが拡大していることがわかります。

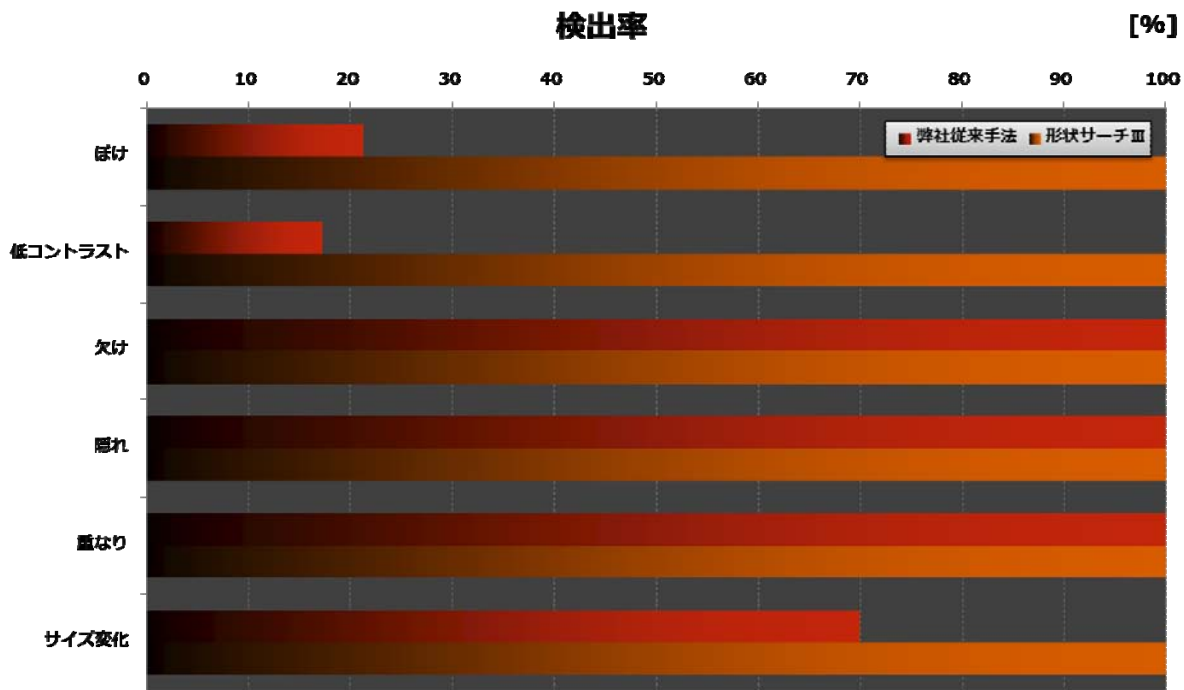


図 6. 検出率評価結果



図 7. 悪条件における評価画像の例

このような高い検出精度は、変動吸収テンプレートにより可能となりました。これについて以下に解説します

変動吸収テンプレート法によるかつてない高い検出精度の実現

単純なエッジ情報を特徴とする従来のサーチ手法では、モデル画像と計測対象画像のエッジの位置変動の影響を受けやすいという課題がありました。このため、コンベアのばたつきやワークの寸法公差により、検出が不安定になることがありました。これを解決するには、従来は複数のモデル画像を登録し、複数回のマッチングを行う必要がありましたが、これらは処理時間の増大につながり、精度と速度のトレードオフが発生します。形状サーチⅢでは変動吸収テンプレート法（特許出願中）により、この問題を解決しました。変動吸収テンプレート法は、図 8 に示すように、モデル登録時におけるたった一枚のモデル画像から、予測される対象の変動バリエーションを表現する数万枚のテンプレート画像を生成し、それらをモデルに反映することにより、変動が生じた時にも高い検出精度を実現する手法です。一方、大量のテンプレートはインテリジェントに統合することで 1/100 から 1/1000 の情報量に集約します。このように、予測される変動を非常にコンパクトにモデル化することにより、高精度な検出精度と高速な処理を同時に実現しています。

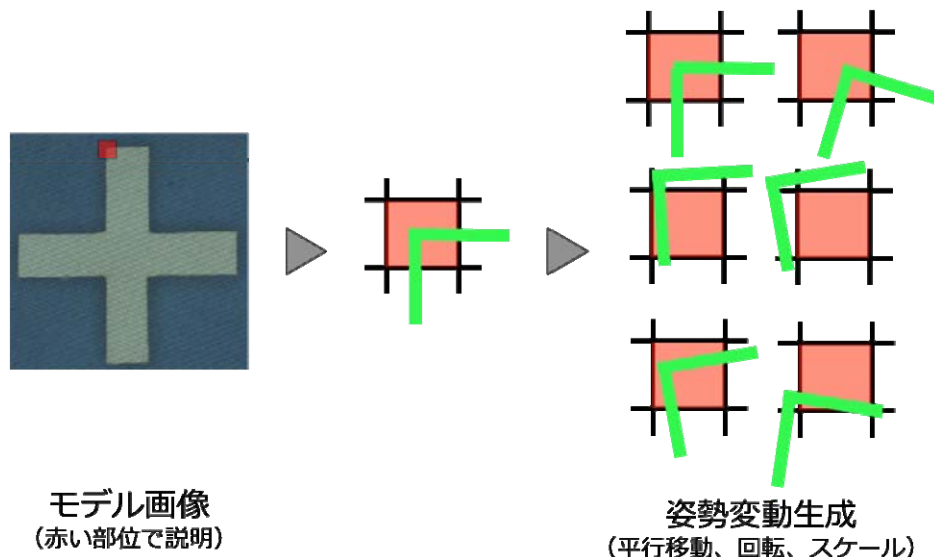
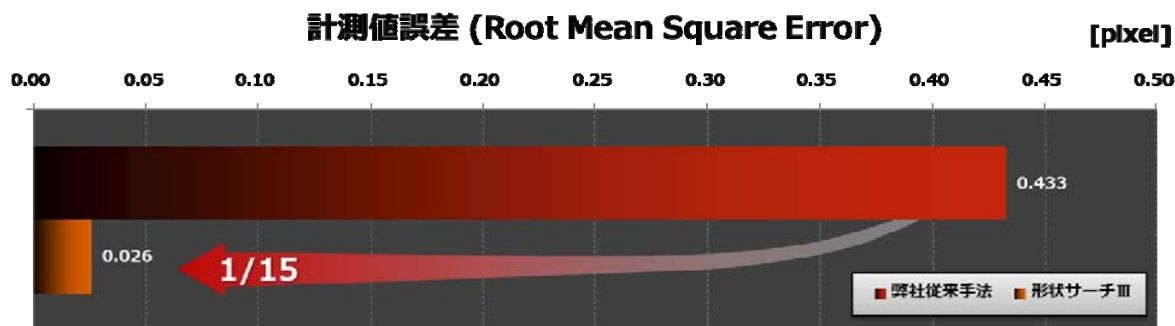


図 8. 変動吸収テンプレート法

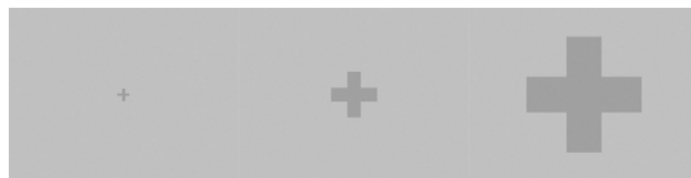
3. 高い位置決め精度

一方、位置合わせ精度に関しても、対応点間の誤差を最小化する姿勢パラメータを求める方式を開発し、従来の周辺相関値からのピーク点検出方式に比べ、1桁高い 1/100pixel 精度を実現しています。図 9 に精度の比較結果を示します。アルゴリズムによる精度向上を正確に把握するため、評価においては図 10 に示すような、比較的単純な条件で評価しました。



※計測対象：2M ピセル画像上で十字パターンを 0.1pix ずつ移動させ評価、評価基準：真値と計測結果の平均二乗根誤差

図 9. 標準的な条件における、真値との誤差測定結果（平均二乗根誤差）

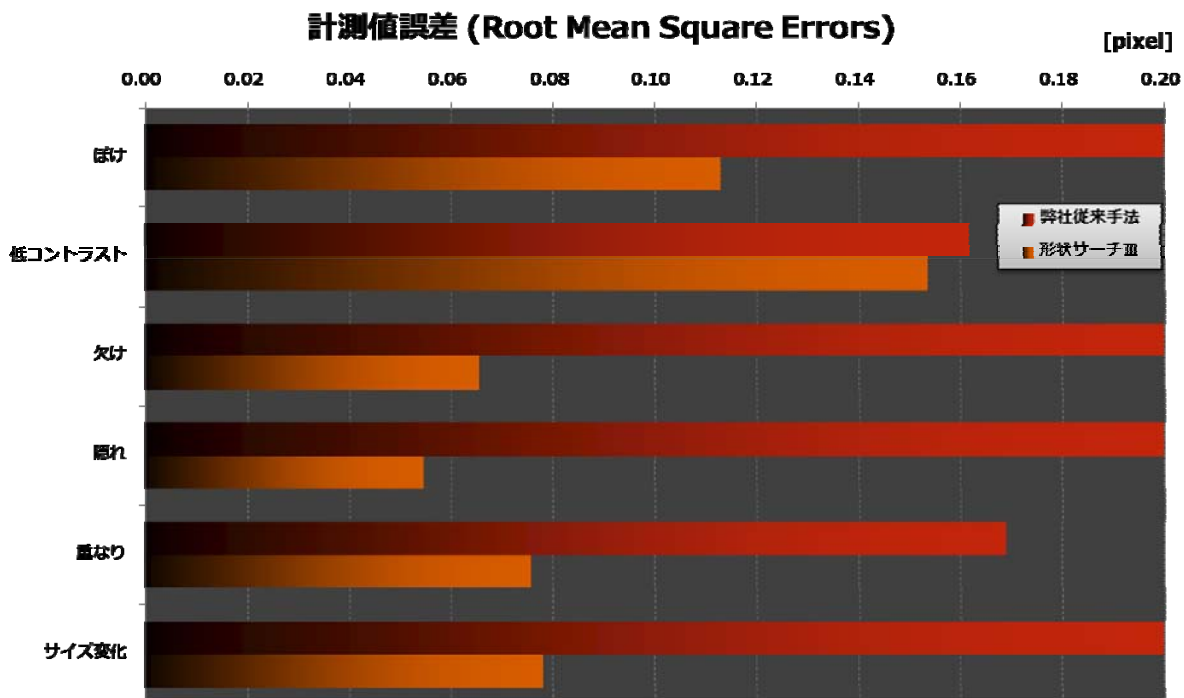


※対象画像は人工画像でありシミュレーションしたカメラノイズのみを負荷

図 10. 標準的な条件の評価画像

上記の結果は、理想的な条件における精度ですが、実際のアプリケーションにおいては、焦点ボケ・コントラスト・欠け・隠れ・背景・複数のワーク重なりなど、様々な悪条件が起こり得ます。図 11 は、図 7 に示したような悪条件に対して、形状サーチⅢが高い精度を実現できることを示しています。弊社従来手法は、図 6 に示すように、ぼけ、低コントラスト、サイズ変化などの条件で検出率が大幅に

低下しており、検出された対象のみを母数として図 11 に示した結果を算出しています。この結果、例えば低コントラスト条件においては、それほどの精度向上がないように見えますが、弊社従来手法は評価データの中でも比較的コントラストが明瞭なもののみを母数とした評価になっており、精度が高く見積もられています。そのような効果を考慮すると大幅な精度向上が実現できていることがわかります。



※VGA 画像で評価、各条件において十字パターンを 0.1pix ずつ移動させ評価、評価基準：真値と計測結果の平均二乗根誤差

※検出が成功したもののみを母数として評価

図 11. 悪条件発生時の精度変化

4. 性能を引き出すのを容易にする可視化機能

従来の製品では、アルゴリズムの性能を引き出すためには、設定者が試行錯誤により多くのパラメータおよびその組み合わせを最適化する必要がありました。形状サーチⅢではこれを解決するために、アルゴリズムの内部処理を可視化する表示機能(特許出願中)を備えています。例えば、図 12 に示すように、モデル画像と計測すべき対象画像の部分的な照合結果を可視化できるので、照合できていない部分のエッジが正しく出るようにエッジレベルを設定するなど、結果を見ながら調整をすることができ、アルゴリズムの性能を引き出すのが容易になりました。

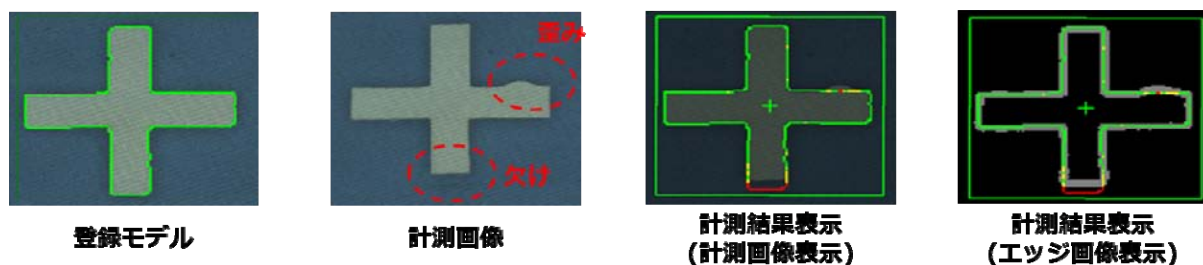


図 12. 部分的な照合結果の可視化

さらなる進化に向けて



Think & See テクノロジーによる形状サーチⅢは、高速性・正確性・適用範囲拡大の観点で、かつてない大幅な精度向上を成し遂げました。しかし、システム全体を考慮した性能最適化や、さらに安定検出できる対象を拡げ、形状や見え方の変化を伴う対象を高精度に検出できるようにすることなどが依然として大きな課題です。冒頭で述べたとおり、様々な分野で活躍する Think & See テクノロジーは、FA 分野でもさらなる進化を遂げていきます。

ご承諾事項

平素はオムロン株式会社（以下「当社」）の商品をご愛用いただき誠にありがとうございます。
「当社商品」のご購入について特別の合意がない場合には、お客様のご購入先にかかわらず、本ご承諾事項記載の条件を適用いたします。ご承諾のうえご注文ください。

1. 定義

本ご承諾事項中の用語の定義は次のとおりです。

- ① 「当社商品」：「当社」のFAシステム機器、汎用制御機器、センシング機器、電子・機構部品
- ② 「カタログ等」：「当社商品」に関する、オムロン総合カタログ、FAシステム機器総合カタログ、セーフティコンボ総合カタログ、電子・機構部品総合カタログ、その他のカタログ、仕様書、取扱説明書、マニュアル等であって電磁的方法で提供されるものも含まれます。
- ③ 「利用条件等」：「カタログ等」に記載の、「当社商品」の利用条件、定格、性能、動作環境、取り扱い方法、利用上の注意、禁止事項その他
- ④ 「お客様用途」：「当社商品」のお客様におけるご利用方法であって、お客様が製造する部品、電子基板、機器、設備またはシステム等への「当社商品」の組み込み又は利用を含みます。
- ⑤ 「適合性等」：「お客様用途」での「当社商品」の(a)適合性、(b)動作、(c)第三者の知的財産の非侵害、(d)法令の遵守および(e)各種規格の遵守

2. 記載事項のご注意

「カタログ等」の記載内容については次の点をご理解ください。

- ① 定格値および性能値は、単独試験における各条件のもとで得られた値であり、各定格値および性能値の複合条件のもとで得られる値を保証するものではありません。
- ② 参考データはご参考として提供するもので、その範囲で常に正常に動作することを保証するものではありません。
- ③ 利用事例はご参考ですので、「当社」は「適合性等」について保証いたしかねます。
- ④ 「当社」は、改善や当社都合等により、「当社商品」の生産を中止し、または「当社商品」の仕様を変更することがあります。

3. ご利用にあたってのご注意

ご採用およびご利用に際しては次の点をご理解ください。

- ① 定格・性能はか「利用条件等」を遵守しご利用ください。
- ② お客様ご自身にて「適合性等」をご確認いただき、「当社商品」のご利用の可否をご判断ください。
「当社」は「適合性等」を一切保証いたしかねます。
- ③ 「当社商品」がお客様のシステム全体の中で意図した用途に対して、適切に配電・設置されていることをお客様ご自身で、必ず事前に確認してください。
- ④ 「当社商品」をご使用の際には、(i) 定格および性能に対し余裕のある「当社商品」のご利用、冗長設計などの安全設計、(ii) 「当社商品」が故障しても、「お客様用途」の危険を最小にする安全設計、(iii) 利用者に危険を知らせるための、安全対策のシステム全体としての構築、(iv) 「当社商品」および「お客様用途」の定期的な保守、の各事項を実施してください。
- ⑤ 「当社商品」は、一般工業製品向けの汎用品として設計製造されています。
従いまして、次に掲げる用途での使用は意図しておらず、お客様が「当社商品」をこれらの用途に使用される際には、「当社」は「当社商品」に対して一切保証をいたしません。
 - (a) 高い安全性が必要とされる用途（例：原子力制御設備、燃焼設備、航空・宇宙設備、鉄道設備、昇降設備、娯楽設備、医用機器、安全装置、その他生命・身体に危険が及ぶ用途）
 - (b) 高い信頼性が必要な用途（例：ガス・水道・電気等の供給システム、24時間連続運転システム、決済システムほか権利・財産を取扱う用途など）
 - (c) 厳しい条件または環境での用途（例：屋外に設置する設備、化学的汚染を被る設備、電磁的妨害を被る設備、振動・衝撃を受ける設備など）
 - (d) 「カタログ等」に記載のない条件や環境での用途
- ⑥ 上記3. ⑤(a)から(d)に記載されている他、「本カタログ等記載の商品」は自動車（二輪車含む。以下同じ）向けではありません。自動車に搭載する用途には利用しないでください。自動車搭載用商品については当社営業担当者にご相談ください。

4. 保証条件

「当社商品」の保証条件は次のとおりです。

- ① 保証期間：ご購入後1年間といたします。（ただし「カタログ等」に別途記載がある場合を除きます。）
- ② 保証内容：故障した「当社商品」について、以下のいずれかを「当社」の任意の判断で実施します。
 - (a) 当社保守サービス拠点における故障した「当社商品」の無償修理（ただし、電子・機構部品については、修理対応は行いません。）
 - (b) 故障した「当社商品」と同数の代替品の無償提供
- ③ 保証対象外：故障の原因が次のいずれかに該当する場合は、保証いたしません。
 - (a) 「当社商品」本来の使い方以外のご利用
 - (b) 「利用条件等」から外れたご利用
 - (c) 本ご承諾事項「3. ご利用にあたってのご注意」に反するご利用
 - (d) 「当社」以外による改造、修理による場合
 - (e) 「当社」以外の者によるソフトウェアプログラムによる場合
 - (f) 「当社」からの出荷時の科学・技術の水準では予見できなかった原因
 - (g) 上記のほか「当社」または「当社商品」以外の原因（天災等の不可抗力を含む）

5. 責任の制限

本ご承諾事項に記載の保証が、「当社商品」に関する保証のすべてです。

「当社商品」に関連して生じた損害について、「当社」および「当社商品」の販売店は責任を負いません。

6. 輸出管理

「当社商品」または技術資料を、輸出または非居住者に提供する場合、安全保障貿易管理に関する日本および関係各国の法令・規制を遵守ください。お客様が法令・規制に違反する場合には、「当社商品」または技術資料をご提供できない場合があります。

本誌には主に機種のご選定に必要な内容を掲載し、ご使用上の注意事項等は掲載しておりません。
ご使用上の注意事項等、ご使用の際に必要な内容につきましては、必ずユーザーズマニュアルをお読みください。

- 本誌に記載の標準価格はあくまで参考であり、確定されたユーザー購入価格を表示したものではありません。本誌に記載の標準価格には消費税が含まれておりません。
- 本誌に記載されているアプリケーション事例は参考用ですので、ご採用に際しては機器・装置の機能や安全性をご確認の上、ご使用ください。
- 本誌に記載のない条件や環境での使用、および原子力制御・鉄道・航空・車両・燃焼装置・医療機器・娯楽機械・安全機器、その他人命や財産に大きな影響が予測されるなど、特に安全性が要求される用途に使用される際には、当社は当社商品に対して一切保証をいたしません。
- 本製品の内、外国為替及び外国貿易法に定める輸出許可、承認対象貨物(又は技術)に該当するものを輸出(又は非居住者に提供)する場合は同法に基づく輸出許可、承認(又は役務取引許可)が必要です。

オムロン株式会社 インダストリアルオートメーションビジネスカンパニー

- 製品に関するお問い合わせ先
お客様相談室

 **0120-919-066**

携帯電話・PHS・IP電話などではご利用いただけませんので、下記の電話番号へおかけください。

電話 **055-982-5015** (通話料がかかります)

■営業時間：8:00～21:00 ■営業日：365日

- FAXやWebページでもお問い合わせいただけます。

FAX **055-982-5051** / www.fa.omron.co.jp

- その他のお問い合わせ

納期・価格・サンプル・仕様書は貴社のお取引先、または貴社担当オムロン販売員にご相談ください。
オムロン制御機器販売店やオムロン販売拠点は、Webページでご案内しています。

オムロン制御機器の最新情報をご覧ください。

www.fa.omron.co.jp

緊急時のご購入にもご利用ください。

オムロン商品のご用命は