

有効な従来型及び ディープラーニングに基づく 検査システム的设计

デビッド・L・デホー、アンドリュー・ン

視覚検査システムは、従来型のものか、ディープラーニングに基づくものかにかかわらず、あらゆる種類の業界を対象に、製品品質を確保しつつ顧客需要に対応できるように支援することができる。

マシンビジョン技術は何十年間にもわたって、欠陥検出、不具合解析、アセンブリ検証、仕分け、計数などの自動検査作業を、産業環境において遂行してきた。最近のコンピュータビジョンソフトウェアの進歩と処理手法により、そうしたイメージングシステムの能力は、ますます拡大する新たな用途においてさらに強化されている。イメージングシステムそのものが、非常に重要なビジョンコンポーネントであることに変わりはないが、その役割と実行は、過小評価されたり誤解されたりすることがある。

適切に設計されて正しく実装されたイメージングシステムがなければ、ソフトウェアによって確実に欠陥を検出することは難しい。例えば、図1(左)のイメージング装置は、歯車の画像を美しく表示しているが、くぼみをはっきりと示しているのは右側の画像だけである。ベストプラクティスに従えば、マシンビジョンとディープラーニングに基づくイメージングシステムによって有効な視覚検査が可能で、効率とスループットの向上と収益の増加がもたらされる。本稿では、反復設計のベストプラクティスについて詳しく解説し、それぞれのタイプのシステムを適切に設計するための明確な道筋を示したいと思う。

イメージングシステムの性能が 十分かどうかの判断

イメージングシステムは、照明、光学系、カメラで構成され、高品質のパーツ画像を確実に得るには、これらのコンポーネントの仕様を慎重に定めて実装する必要がある。ここでの「高品質」とは、正常または期待される外観と比べた場合の許容できないフィーチャ(くぼみなど)を、強調するための十分なコントラストを持つ画像という意味である。画像は、フィーチャ間の違いを示すための適切な解像度も備えなければならない。

検査システムによって生成された画像を確認する人間の検査員が、自信をもって欠陥を特定できない場合は、ソフトウェアでもそれはできない可能性が高い。逆に、人間の検査員が画像の中の欠陥を特定できるという場合でも、イメージング手法によって類似の対象物に対する欠陥検出が、確実かつ反復的に実行できるという保証はない。(ソフトウェアではなく)イメージングシステムに工夫が必要であると考えられる状況には、以下のような場合がある。

・検査員は、実際のパーツを見れば欠陥が存在することを確実に判定でき

るが、撮影された画像を見るだけでは確信を持つことができない。

・実際のパーツを見た2人の検査員の判定結果は概ね一致するが、一方の検査員が実際のパーツを見て別の検査員が画像のみを見る場合は、判定結果が一致しないことがよくある。

よくある誤解の1つは、人間の検査員がフィーチャを裸眼で確認できるならば、それと同じフィーチャを適切にとらえる画像を生成するようにイメージングシステムを設計することができるというものである。しかし、人間の検査員は、パーツを複数の方向から見たり、異なる照明条件の下で見たりして、適切な判定を下すことができるが、静的なイメージングシステムは、それと同じだけ広範囲にわたるさまざまな方向と照明で、画像を取得できるとは限らない。従って、物体を手を持った人間の検査員がフィーチャを強調するのと同じようにして、イメージングシステムによってフィーチャを強調するのは難しい可能性がある。また、透明なパーツの引っかき傷を検出する場合はさらに複雑になる可能性がある。

人間の視覚系は何万年もの時間をかけて、画像データを非常に効率的かつ

正確に処理するように進化した。人間の画像処理能力を上回るソフトウェアシステムを構築するのは、とてつもなく難しい作業であり、検査員が検出できない欠陥を検出できるソフトウェアシステムの構築も同様である。最も高度なビジョンシステムも、魔法ではない。あまりにも不鮮明であいまいな画像を与えられれば、どのようなビジョンシステムでも、確実に欠陥を判定することはできない。

従来型イメージングシステム設計のチェックリスト

システムインテグレーターとOEMは、有効なイメージングシステムを設計する際に、複数の項目を検討する必要がある。その項目には、以下のよう

なものがある。

コントラスト：対象用途と、コントラストを生成するフィーチャの種類に応じて、特別に選択した専用照明と光学系を創造的に使用することが、マシンビジョンの重要な要素である。

空間分解能：イメージングシステムの空間分解能とは、欠陥などのフィーチャをカバーするピクセル数のことである。ピクセル数が少なすぎると、パーツ表面からフィーチャを確実に検出するのは不可能である。画像の焦点が合っていると仮定して、少なくとも5ピクセル幅の欠陥を、システムによって検出可能な最小欠陥とすることを推奨する。

画像の一貫性：自動化プロセスでは、パーツ位置のばらつきやパーツそのもののばらつきなど、多くの要因によっ

て画像内にばらつきが生じる。そうしたばらつきによって、グレアや光源が当たらない箇所が生じ、フィーチャがあいまいになる場合がある。あるいは、パーツのばらつきによって反射が生じ、キズや欠陥として誤って判定される可能性もある。例えば、透明な自動車ヘッドライトの欠陥を検査するマシンビジョンシステムの場合、照明条件が異なれば、生成されるグレアの量も異なる。同じ照明と同じ背景の同じ角度からの画像を取得するシステムの能力が高いほど、欠陥を検出するソフトウェアの構築は容易になる。

露光：露光過多または露光不足の画像からは、多くの細部が失われる。露光レベルが適切であれば、システムによって明瞭な欠陥画像が取得されるはずである。

アンドリュー・ン (Andrew Ng) は、米ランディングAI社 (Landing AI) の最高経営責任者 (CEO) で創設者。デビッド・L・デホー (David L. Dechow) は、米インテグロ・テクノロジーズ社 (Integro Technologies) の主席ビジョンシステムアーキテクト。

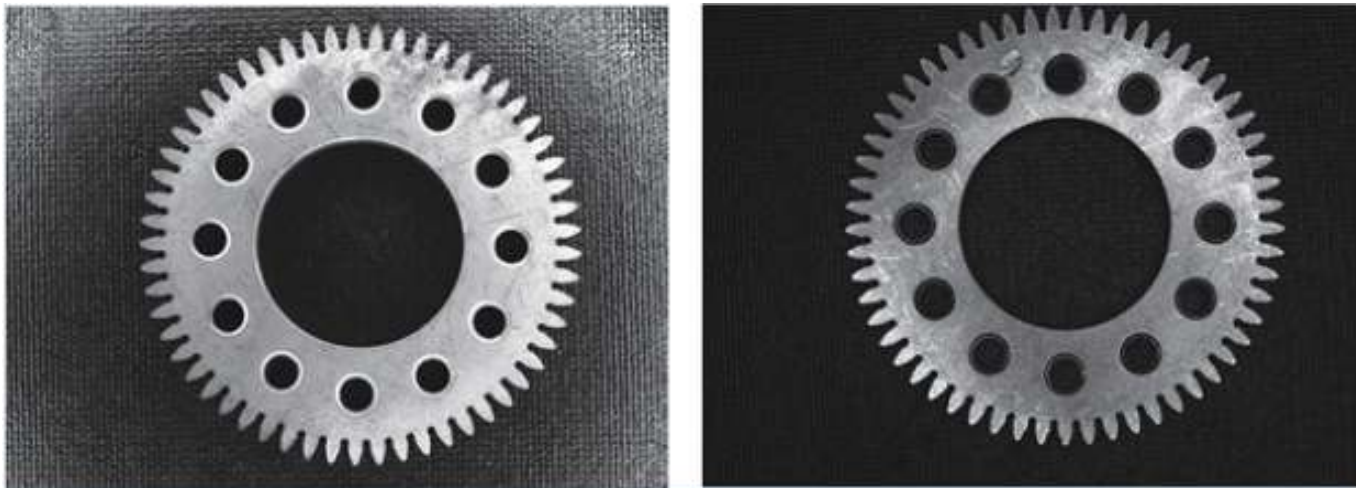


図1 左の画像にはキズのない歯車が示されているが、右の画像には欠陥がはっきりと示されている。(写真提供:ランディングAI社)

イメージングシステム設計の 反復プロセス

マシンビジョンシステムのイメージングアーキテクチャの仕様定義は、全体的な統合プロセスの1つの重要なステップにすぎない。自動ビジョンシステムを適切に統合するには、コンポーネントの設計と仕様定義の前に、徹底かつ十分な分析と計画が必要である。その後の作業は、効率的な実装、設定、システム起動と続く。

ソフトウェアについても、イメージングシステムの設計時に検討する必要がある。従来のルールに基づくマシンビジョンアルゴリズムで使用される画像が、ディープラーニングアルゴリズムを採用するシステムに適切な画像とは異なるという可能性がある。図2の左の図は、それよりも適切に照らされた中央の図よりも、はるかに難しい検出問題を示している。右の図は、背景

が暗いために欠陥がよりはっきりと照らされている。この場合は、より良い画像設計により、どちらの検査システムもはるかに確実に実装することができる。

イメージングシステムの設計は、かなりの反復を必要とする作業である。最良のマシンビジョンソリューションは、時間とともに進化し、信頼性と性能が高まっていく。「完璧な」照明とカメラに基づいてシステムを設計し、それを前もって構築するのは、不可能かもしれない。しかし、用途のニーズを徹底的に分析することにより、イメージングのコンポーネントや手法に関するいくつかの知識を持ち合わせた開発者は、適切な初期設計を生み出すことができる。

ソフトウェアシステムを開発する際にインテグレータやOEMは、最初の数日間にスマートフォンのカメラでい

いので、サンプル画像を収集するとよいだろう。それによって、ソフトウェアの実行可能性を検証するための初期データを取得する。この概念検証が良い結果を生むか悪い結果を生むかわからず、それとは別に実環境対応のイメージングシステムを設計しなければならないことを心に留めておく必要がある。複数の角度への素早い切り替えなど、スマートフォンのカメラ機能は、実環境システムでは実行可能ではないかもしれない。代表的な欠陥を持つサンプルパーツを静的なイメージング装置で処理してみるのも有効かもしれないが、その場合もやはり、最終的なイメージングシステム構成について考察する必要がある。

「完璧な」画像によるソフトウェアのテストは、実環境における実際の能力を正しく表してはいない可能性がある。実環境対応のイメージングシステ

2A

2B

2C



図2 左の図は中央の図よりも、難しい検出問題を示している。一方、右の図には、欠陥がさらにはっきりと示されている。

ムの設計においては、十分な考察に基づく設計が、長期的な成功につながる。一般的な工程として、以下の作業を行うべきである。

- ・ 自動化とパーツの取り扱いに伴う制約を考慮して、イメージング対象のフィーチャ／物体／欠陥の種類に対する仕様を作成する。例えば、高速に移動するパーツ、見る方向によって外観が変わるパーツ、グレアが生じるパーツなどについて考察する。
- ・ 欠陥のあるパーツと許容できるパーツのサンプルを収集する。
- ・ 検査対象パーツのニーズと、実環境の物理的制約及び仕様を満たす、最初のイメージングシステムを設計する。
- ・ パーツサンプルをそのシステムにかけて、すべての欠陥が、対象とするソフトウェアソリューションに適し

た形で、はっきりと画像にとらえられるかどうかを確認する。

- ・ 性能が満足できるレベルになるまで、ステップ3と4を繰り返す。

ディープラーニングに基づくイメージングシステムを開発する場合も、既存のマシンビジョンシステムにディープラーニング機能を実装する場合も、類似の手順を踏む必要があるが、いくつかの主要な検討項目に違いがある。次のセクションでは、イメージングシステムにディープラーニングを導入するためのプランを示す。

ディープラーニング開発のチェックリスト

離散解析に基づくマシンビジョンアルゴリズムでは十分ではないかもしれないケースが、複数存在する。例えば、半導体／電子部品の検査、鉄鋼検査、

溶接検査など、欠陥が検出しにくい検査や、「良好な」パーツや製品の外観にばらつきがある検査が、そうしたケースに相当する。ディープラーニングソフトウェアソリューションの開発は、従来のルールに基づくシステムの構築に似ているかもしれないが、いくつかの主要な検討項目に違いがある。そのような検討項目としては、以下のようなものがある。

クリーンなデータの配備：「Garbage in, garbage out」(ゴミを入力するとゴミが出力される)という格言がある。データは、人工知能(AI)システムの栄養となる食糧なので、ディープラーニングモデルのトレーニングには、質の高いデータを使用することが不可欠である。最もよく練られたモデルであっても、不正確または不完全な情報を与えられれば、標準を下回る結果しか生成できない。高品質のディープラー

ニングソフトウェアソリューションは、継続的にデータを収集しつつ、開発者がAIモデルの進化を把握して制御できるように支援するツールによって、データと各ソフトウェアコンポーネントを体系的に開発、配備、追跡、維持、及び監視できるようにする必要がある。データには、製品、欠陥、ラベルまたはタグ、データの一貫性、関連モデルに関する情報が含まれている必要がある。

欠陥の定義：多くの産業環境において、人間の検査員がパーツ欠陥の定義を書面に記録して管理する方法をとる企業は多い。ディープラーニングシステムをトレーニングする際には、それらの欠陥を事前に定義して、ソフトウェアが欠陥パーツを認識できるようにしておく必要がある。

タグとラベルの付与：ディープラーニングの導入を検討する企業は、データに正確なラベルやタグを付ける必要がある。一貫性なくこの作業を行うと、AIモデルは不正確になる可能性がある。欠陥を明確に定義し、代表的なデータセットに明確であいまいさのないラベルを付与することにより、企業は少量のデータによって、視覚的プロジェクトを進めることができる。より正確なモデルを生成するための迅速かつ正確なラベル付けが確実に行われるように、社内の専門家が協力して、作業の割り当て、管理、実行、確認を行う必要がある。

反復による改善：最良のAIモデルが得られているかどうかを、実際の生産ラインに配備する前に、専門知識を持つ人間の検査員が評価する必要がある。特に、その生産ラインが世界規模の展開に向けた試験運用になる場合は、それが重要である。ディープラーニングソフトウェアは、モデルの性能

を評価し、モデル精度の低下につながる可能性のあるデータを特定し、適切な指標レベルに届くように既存モデルを改良／拡張するための新しいデータセットを評価するためのツールを備える必要がある。また、過学習(overfitting)を防ぎ、トレーニング済みのモデルの性能を評価するためのツールも備える必要がある。

共通の落とし穴と課題

イメージングには多くの課題が伴うため、システムインテグレータやOEMは、最も基本的で初歩的ないくつかの落とし穴について考察し、システムを設計する前にそれらに対処する必要がある。そうした落とし穴としては、以下のようなものがある。

周辺光：周辺光とは、イメージングシステム用に設計された専用の照明コンポーネント以外の光源による光のことで、システムの不整合や誤判定の原因となる可能性がある。太陽光だけでなく天井照明も、シールド、または、可能であれば光学フィルタによって制御する必要がある。ある例では、検査システムの近くにいる製造作業員のユニフォームの色が変わったことで、反射光が追加されて検査結果に影響が生じたことがあった。多くの場合、イメージングシステム設計における周辺光の緩和は、比較的簡単に行うことができる。

機械的安定性：工場の振動によって、イメージングシステムの光学系に緩みが生じ、カメラ位置や照明コンポーネント、さらにはレンズ設定がずれて、イメージングの信頼性が低下する可能性がある。

外観のばらつき：検査対象パーツの素材、デザイン、全体的な外観は、ビジョンシステムの所有者が知らない

ちに、変更される可能性がある。例えば、製造エンジニアリングチームが、ネジの合金を安価なものに変えようと決断する場合がある。それにより、パーツの機能は変わらないが、外観は変わる可能性がある。そうした外的な影響が、時に知らぬ間に、システム性能を低下させる可能性がある。ソフトウェアによってこのような変化をチェックすることにより、ビジョンシステムの保守を行う適切なタイミングを、運用チームに通知することができる。

マシンビジョンとディープラーニングの進化

視覚検査システムは、従来型のものか、ディープラーニングに基づくものかにかかわらず、あらゆる種類の業界と企業を対象に、製品品質を確保し、生産性を高め、コストを削減しつつ、顧客需要に対応できるように支援することができる。より多くのプロセスの自動化を検討する企業も、次のシステムの仕様定義、設計、実装を控えるインテグレータやOEMも、すべての視覚検査システムに、テストと反復的で継続的な改善が必要だという事実を考慮してほしいと思う。

ベストプラクティスに従って、コントラスト、空間分解能、画像の一貫性、露光について考察することが、有効なイメージングシステムの設計に役立つことになる。ディープラーニングについては、クリーンなデータ、合意に基づくラベル付け、タグとラベルの付与、反復作業によるモデルの改善の必要性を考慮することが、高品質なAI視覚検査システムの生成につながる。継続的な改善により、視覚検査システムに付加価値を追加し続けることで、ビジネスを将来に向けて成長させることができる。